# การพัฒนาฟิล์มเคลือบฐานคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส/แคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบดัดแปรด้วยกรดไขมันสำหรับยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่

# Development of composite file based on carboxymethyl cellulose/modified calcium carbonate for extended shelf life of eggs

วิทวัส เปี่ยมพอดี[1], นิภารัตน์ ศรีธเรศ[2] และ ชิราวุฒิ เพชรเย็น[3*]

Witthawat Piampowdee[1], Niparat Sritharet[2] and Chiravoot Pechyen[3*]

[1,3]สาขาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[2]สาขาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

[1,3]Department of Materials and Textile Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

[2]Department of Agricultural Technology, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

*Email: chiravoot.p@gmail.com

Received: October 18, 2019; Revised: November 19, 2019; Accepted: November 26, 2019

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาสารเคลือบไข่ไก่คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ดัดแปรด้วยกรดไขมันปาล์มิติกและกรดสเตียริกความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล สารเคลือบนี้ใช้เพื่อชะลอการเสื่อมสภาพคุณสมบัติของไข่ไก่สดระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ คุณภาพและความสดของไข่ไก่วัดด้วยค่าฮอก สัปดาห์ที่ 1 ไข่ไก่ที่ผ่านการเคลือบคงคุณภาพไข่เกรด AA โดยกรดปาล์มิติกมีค่าฮอก 71.38 - 85.90 และกรดสเตียริกมีค่าฮอก 75.91- 85.90 ไข่ไก่ที่ไม่ได้เคลือบลดจากเกรด AA (ค่าฮอก 77.40) เป็นเกรด B (ค่าฮอก 31.0 – 59.0) สัปดาห์ที่ 2 ไข่ที่ผ่านการเคลือบเป็นเกรด B และไข่ที่ไม่ผ่านการเคลือบเป็นเกรด C (ค่าฮอก < 30) ในทางตรงข้ามไข่ที่เคลือบมีดัชนีไข่ขาวและดัชนีไข่แดงเพิ่มขึ้น ตามเวลาที่เก็บรักษา กรดปาล์มิติกมีดัชนีไข่แดง (35.69-43.38) กรดสเตียริกมีดัชนีไข่แดง (33.30 - 43.98) ซึ่งมีค่าดัชนีสูงกว่าไข่ที่ไม่เคลือบ ณ วันแรก (ดัชนีไข่แดง 21.23) กรดไขมันทั้งสองจึงไม่มีผลแตกต่างกัน ในขณะที่ไข่ที่ผ่านการเคลือบเป็นด่างสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$) จาก pH 8.0 - 8.8 เป็น pH 9.0 – 9.4 บนสารเคลือบนี้ปรากฏผลึกแคลเซียมคาร์บอเนตที่แทรกเข้าสู่รูพรุนของผิวเปลือกไข่และกรดไขมันมีผลให้ผลึกกระจายเคลือบเปลือกไข่ได้ทั่วถึงเป็นแผ่นฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ดังนั้น สารเคลือบที่พัฒนาขึ้นนี้จึงเป็นสารเคลือบผิวเปลือกไข่ที่สามา รถรักษา/ชะลอการลดลงคุณภาพของไข่ไก่สดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นานถึง 14 วัน

**คำสำคัญ:** คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส, กรดปาล์มิติก, กรดสเตียริก, สารเคลือบ, ไข่ไก่

## Abstract

Egg shell coating reagents were developed using carboxymethyl-cellulose (CMC) as basic mixed with calcium carbonate ($CaCO_3$) which modified with palmitic acid and stearic acid at 1, 3 and 5 %. The reagent

was aimed to prolong egg presentation at 30 °C and HR 50% for 2 weeks. The egg quality and the freshness were measured by Haugh unit. At week one coated eggs maintained their quality as grade AA with Haugh unit are the reagent containing palmitic acid 71.38 – 85.90 and stearic acid 75.91 – 85.90. The uncoated eggs with Haugh unit of 77.40, grade AA, were charged to grade B with Haugh unit of 31.0 – 59.0. At week two, the coated eggs were changed to grade B and the uncoated were changed to grade C (Haugh unit < 30). In contrast, the albumin and yolk index were increase as longer storage. The yolk indexes are the palmitic acid containing was 35.69 – 43.38 and of the stearic acid containing was 33.30 – 43.98. These yolk indexes were higher than that of the uncoated eggs, which was 21.23. That two acid are not different. Which pH of the coted eggs were significantly higher form pH 8.0 – 8.4 to pH 9.0 - 9.4 and of the uncoated eggs were higher the 9.13. It appeared that calcium carbonate formed crystal on the coating film and filled in the egg shell pores. The crystal was thoroughly disappeared on the CMC -based film by the fatty acid. Therefore, the coating reagent developed in the study was able to preserved / delay quality and fresh eggs during storage at 30 °C for 14 days.

**Keywords:** carboxymethyl cellulose, palmitic acid, stearic acid, coating, egg

## 1. บทนำ

ไข่ไก่เป็นผลผลิตทางธรรมชาติที่นำมาประกอบอาหารง่ายที่สุด เนื่องจากเป็นผลผลิตที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดหรือได้จากการเพาะเลี้ยง อีกทั้งไข่ไก่อุดมไปด้วยคุณค่าทางสารอาหารสูงที่จำเป็นต่อมนุษย์เช่น โปรตีน วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 แคลเซียม ไก่แต่ละตัวจะผลิตไข่เฉลี่ย 220 ถึง 300 ฟองต่อปีขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และวิธีการเลี้ยง ในภาคครัวเรือนการซื้อขายไข่ไก่เพื่อนำมาบริโภคตลอดถึงการจัดเก็บรักษามีช่วงระยะเวลาไม่นานประมาณ 7 – 14 วัน โดยไม่เกิดการเน่าเสียกรณีเก็บที่อุณหภูมิห้อง หากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ เช่น แช่ในตู้เย็นสามารถลดการเน่าเสียของไข่ได้อีกประมาณ 1 สัปดาห์ ซึ่งยังสามารถนำมาประกอบอาหารได้ จากภาพรวมอุตสาหกรรมไข่ไก่ของไทยในปี พ.ศ. 2555 - 2559 ประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยผลผลิตไข่ไก่ ประมาณ 39 - 41 ล้านฟองต่อวัน [1] ข้อมูลใน พ.ศ. 2557 - 2559 ของคณะกรรมการนโยบายพัฒนาไก่ไข่และผลิตภัณฑ์ คาดคะเนการผลิตไข่ไก่ในกลุ่มประเทศที่เป็นผู้ส่งออกไข่ไก่รายใหญ่ของโลกได้แก่ เนเธอร์แลนด์ ตุรกี โปแลนด์ เยอรมัน มาเลเซีย ประเทศไทยผลิตไข่ไก่เพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นตัวเลขที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไข่ไก่ทั่วทั้งโลก ถึงแม้ประเทศไทยจะมีแนวโน้มในการผลิตไข่ไก่ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี แต่ก็ยังไม่สามารถที่จะเทียบเคียงการผลิตไข่ไก่ของประเทศที่ผู้นำการส่งออกรายใหญ่ของโลกได้และมีปัจจัยในด้านอื่นที่มีผลกระทบต่อการผลิตและการตลาดของไข่ไก่ ที่อาจจะทำให้การผลิตและการส่งออกไข่ไก่ลดลง คือ สภาพอากาศที่แปรปรวนที่ส่งผลต่อสุขภาพของแม่ไก่ทำให้อัตราการให้ไข่ลดลง และมีอิทธิพลต่อไข่ไก่ได้ เช่น การซึมผ่านของอากาศ ความชื้น รวมถึง ปัจจัยด้านระยะเวลาในการรวบรวมจัดเก็บ การขนส่งและการจำหน่ายของผู้ประกอบการค้าไข่รายใหญ่และผู้ประกอบการค้าปลีกรายย่อย ซึ่งล้วนต้องแข่งขันกับระยะเวลาในการดำเนินการทั้งสิ้นเพื่อลดการลดลงของคุณภาพของเกรดไข่ ดังนั้น เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงมีแนวคิดใช้เทคโนโลยีเชิงวัสดุเข้ามาช่วยในการปรับปรุงคุณภาพและยืดอายุการจัดเก็บของไข่ไก่ให้เพิ่มขึ้น

บทความวิจัยที่ผ่านมามีการพัฒนาสารเคลือบไข่ที่ทำมาจากโปรตีนเพื่อยืดอายุไข่ไก่เช่นกัน เช่น โปรตีนจากถั่ว (Soy protein isolate), เวย์โปรตีน (Whey protein) [2] ซึ่งโปรตีนมีความไวต่อความชื้นสูง ทำให้มีโอกาสที่เชื้อราจะเจริญเติบโตได้ และยังมีการเคลือบผิวด้วยน้ำมันมิเนอรัล (Mineral oil) เพื่อยืดอายุไข่ไก่ [3] ด้วยความที่เป็นน้ำมันจึงส่งผลให้เปลือกไข่มีความเหนียวและสามารถเกิดการหลุด

ของหยดน้ำมันได้ง่ายจึงเป็นข้อเสียของการใช้น้ำมันมิเนอรัลในการเคลือบผิวไข่ไก่ [4] ใช้สารเคลือบไคโตซานร่วมกับกรดอินทรีย์ลดการแตกของเปลือกและปรับปรุงคุณภาพไข่ไก่ได้เช่นกัน

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นเพื่อพัฒนาสารเคลือบเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่ ด้วยสารเคลือบชีวภาพที่คาดว่าช่วยลดการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างอากาศภายในไข่และภายนอกไข่ ที่เป็นสาเหตุของการลดลงของคุณภาพของไข่ไก่ อีกทั้งยังเน้นวัตถุดิบที่มีราคาถูกเพื่อไม่ให้เกิดต้นทุนที่สูง สำหรับในภาคอุตสาหกรรมการค้าไข่ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ คือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซึ่งเป็นอนุพันธุ์ของเซลลูโลส สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม ที่รับประทาน (Edible film) มีสมบัติไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) เป็นพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) มีลักษณะสีขาวไม่มีกลิ่น เหมาะสำหรับในการนำไปใช้เป็นสารเคลือบ อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นวัตถุดิบที่สามารถหาทดแทนได้ (Renewable) [5]

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาสารเคลือบผิวเปลือกไข่ชนิดใหม่สำหรับการยืดอายุไข่ไก่โดยใช้สารคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสเป็นฐานผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนตและกรดไขมันและวิเคราะห์ขั้นตอนการเตรียมการเคลือบไข่ที่เหมาะสมต่อเกรดและอายุการเก็บรักษาของไข่ไก่เป็นเวลา 2 สัปดาห์และเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ

## 3. วัสดุและวิธีการทดลอง

ไข่ไก่สด เกรด AA : 60 – 70 กรัม, คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เกรดอาหาร (Carboxymethyl Cellulose, CMC) อนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต เกรดอาหาร ($CaCO_3$) กรดสเตียริก (Stearic Acid, SA) พอลิเอทิลีนไกลคอล 400 (Polyethylene Glycol 400), โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), และเอทานอล (Ethanol) ซื้อจากบริษัท เคมีภัณฑ์คอร์ปอเรชั่น(ประเทศไทย) จำกัด ,กรดปาล์มิติก (Palmitic Acid, PA) ซื้อจากบริษัท ซิกม่า-อัลดริช (ประเทศไทย) จำกัด

### 3.1 การดัดแปรอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยกรดไขมันโดยวิธีเปียกผิว

เตรียมผสมสารแขวนลอย ดังนี้

1. เติมกรดไขมันสเตียริก 1 กรัม ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ 79 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์พร้อมกวนสารที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 30 นาที

2. เติมอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนต 20 กรัม กวนจนให้สารกระจายตัวจนเป็นเนื้อเดียวกัน

ผสมรวมสารในข้อ 1 และ 2 กวนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 นาที พักให้สารละลายเย็นที่อุณหภูมิห้อง นำสารไปกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บรักษาในโถดูดความชื้น งานวิจัยนี้ ดัดแปรแคลเซียมคาร์บอเนตด้วยกรดไขมันปาล์มิติกและสเตียริก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล ดัดแปลงวิธีการจาก [6]

### 3.2 การเตรียมสารเคลือบไข่จากคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสและการเคลือบ

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 1.5 กรัม ถูกละลายด้วยสารละลายผสมน้ำกลั่น : เอทานอล (10 : 1) 96.5 มิลลิลิตร หยดพอลิเอทิลีน ไกลคอล 400 1 มิลลิลิตร ซึ่งทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ เติมอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตดัดแปรด้วยกรดไขมัน 1.5 กรัม กวนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พักสารเคลือบให้เย็น จากนั้น นำไข่จุ่มไว้ 1 นาที จำนวน 1 ครั้ง และพักให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง 3 - 4 ชั่วโมง เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยในงานวิจัยนี้ เตรียมสารเคลือบทั้งหมด 12 สูตร แสดงดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** แสดงอัตราส่วนของสารเคลือบสูตร ต่างๆ

| No. | CMC (g) | $C_2H_6O$ : DI (mL) | PEG-400 (mL) | $CaCO_3$ Modified (g) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.50 | 96.00 | 1.00 | 1% PA $CaCO_3$ 1.5 |
| 2 | 1.50 | 96.00 | 1.00 | 3% PA $CaCO_3$ 1.5 |
| 3 | 1.50 | 96.00 | 1.00 | 5% PA $CaCO_3$ 1.5 |
| 4 | 2.00 | 96.00 | 1.00 | 1% PA $CaCO_3$ 1.5 |
| 5 | 3.00 | 95.50 | 1.00 | 1% PA $CaCO_3$ 1.5 |
| 6 | 4.00 | 94.50 | 1.00 | 1% PA $CaCO_3$ 1.5 |
| 7 | 1.50 | 93.50 | 1.00 | 1% SA $CaCO_3$ 1.5 |
| 8 | 1.50 | 96.00 | 1.00 | 3% SA $CaCO_3$ 1.5 |
| 9 | 1.50 | 96.00 | 1.00 | 5% SA $CaCO_3$ 1.5 |
| 10 | 2.00 | 96.00 | 1.00 | 1% SA $CaCO_3$ 1.5 |
| 11 | 3.00 | 95.50 | 1.00 | 1% SA $CaCO_3$ 1.5 |
| 12 | 4.00 | 94.50 | 1.00 | 1% SA $CaCO_3$ 1.5 |
| 13 | Uncoated | | - | - |

### 3.3 เตรียมแผ่นฟิล์มจากสารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

รินสารเคลือบลงจานเพาะเชื้อเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สารเคลือบที่ขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มจะถูกทดสอบสมบัติด้วย XRD และ FT-IR

### 3.4 การวัดค่าฮอก (Haugh Unit)

ค่าฮอกเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพและความสดของไข่โดยคำนวณจากสูตร

$$HU = 100\log H - \frac{G\,(30W^{0.37} - 100}{100} + 1.9$$

โดยที่ H คือ ความสูงไข่ขาว หน่วยเป็นมิลลิเมตร
W คือ น้ำหนักของไข่ทั้งฟอง หน่วยเป็นกรัม
G คือ ค่าคงที่ Gravitation 32.2

ซึ่งเกณฑ์การเทียบคือ ค่า ฮอกมีค่ามากกว่า 72 เป็นไข่เกรด AA, 60 - 71 เป็นไข่เกรด A, 31 – 59 เป็นไข่เกรด B และน้อยกว่า 30 คือ ไข่เกรด C [4]

### 3.4 การวัดค่าดัชนีไข่ขาว (Albumin Index) และดัชนีไข่แดง (Yolk Index)

ค่าดัชนีไข่ขาวและดัชนีไข่แดงเป็นค่าที่บ่งบอกคุณภาพและความสดของไข่ ซึ่งค่าดัชนีไข่ขาว คำนวณโดยใช้

$$\textbf{Albumen Index} = \frac{H}{[L+W] \times 100}$$

โดยที่ H คือ ความสูงไข่ขาว หน่วยเป็นมิลลิเมตร
L คือ ความยาวไข่ขาว หน่วยเป็นมิลลิเมตร
W คือ ความกว้างไข่ขาว หน่วยเป็นมิลลิเมตร

และสูตรดัชนีไข่แดง คำนวณโดยใช้

$$\textbf{Yolk index} = \frac{h}{r} \times 100$$

โดยที่ h คือ ความสูงไข่แดง หน่วยเป็นมิลลิเมตร
r คือ เส้นผ่าศูนย์กลางไข่แดง หน่วยเป็นมิลลิเมตร

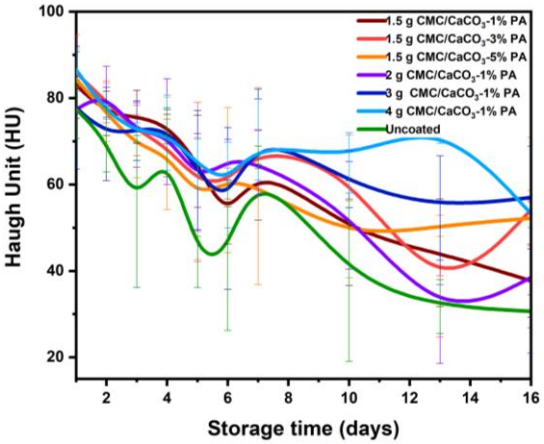
ความสูงของไข่แดงถูกวัดด้วย ไมโครมิเตอร์แบบสามขา (Tripod micrometer) และ ความกว้างของไข่ขาวจะถูกวัดด้วย เวอร์เนีย คาลิปเปอร์ (Vernier Caliper) [7]

## 4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

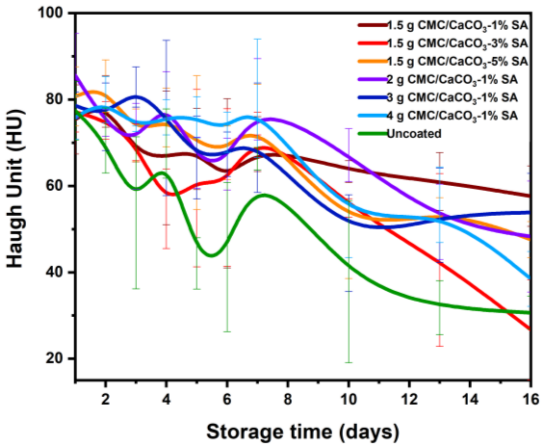
### 4.1 คุณภาพของไข่: ค่าฮอก (Haugh Unit ,HU)

ภาพที่ 1 กราฟ ก. แสดงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไข่ด้วยค่าฮอก พบว่า ไข่ที่ผ่านการเคลือบผิวมีแนวโน้มการลดลงของคุณภาพไข่น้อยกว่าไข่ไก่ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ช่วงสัปดาห์ที่ 1 ไข่ที่ผ่านการเคลือบในทุกสูตรมีค่าฮอก อยู่ในช่วง 60 - 85 เป็นเกรด A และเกรด AA แต่ไข่ไก่ที่ไม่ผ่านการเคลือบอยู่เกรด B ช่วงสัปดาห์ที่ 2 ไข่ที่ผ่านการเคลือบในทุกสูตรมีค่าฮอก อยู่ในช่วง 31.0 - 59.9 เป็น เกรด B แต่ไข่ไก่ที่ไม่ผ่านการเคลือบจะอยู่เกรด C ดังนั้น สารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตดัดแปรด้วยกรดปาล์มิติกและสารเคลือบสารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตดัดแปรด้วยกรดสเตียริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล ไม่มีความ

แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่สด และสารเคลือบนี้มีผลต่อการยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่ได้ดีกว่าไข่ไก่ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว




ก.




ข.

**ภาพที่ 1** กราฟแสดงข้อมูลค่าฮอก

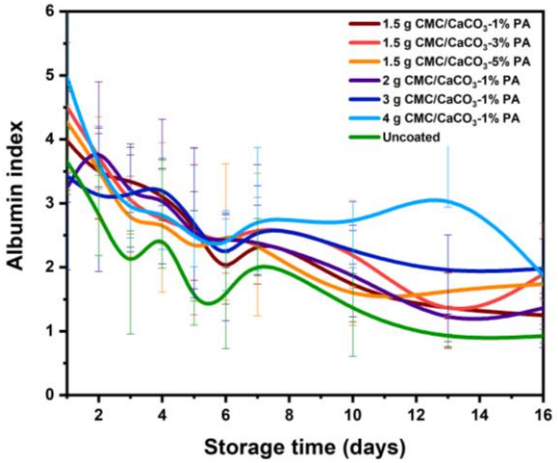
ก). เปรียบเทียบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดปาล์มิติก ความความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล และเปรียบเทียบน้ำหนักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดปาล์มิติก ร้อยละ 1 โดยมวล

ข). เปรียบเทียบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดสเตียริกความความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล และเปรียบเทียบน้ำหนักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดสเตียริก ร้อยละ 1 โดยมวล

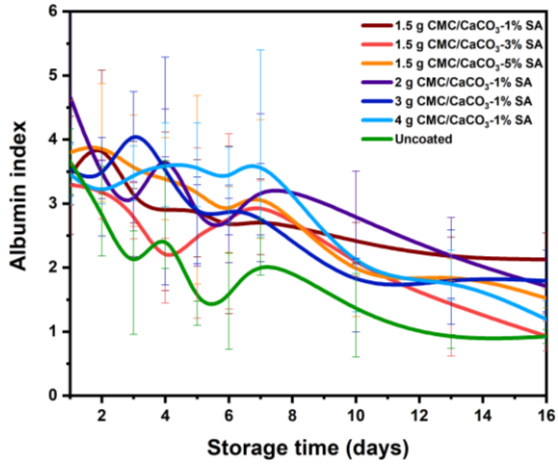
การเติมกรดไขมันที่มีสายโซ่คาร์บอนยาวเพื่อดัดแปรแคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อลดการจับตัวกันเป็นก้อนและเพิ่มการกระจายตัวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตให้สม่ำเสมอก่อนที่จะผสมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ด้วยโครงสร้างของกรดไขมันมีด้านที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) และมีตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันก์คาร์บอกซิลิกเป็นด้านที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) จึงสามารถเกิดการสร้างพันธะกับแคลเซียมไอออนได้เป็นแคลเซียมโมโนสเตรียเรต (Cacium monostearate) ทำให้เกิดการผลักกันระหว่างโมเลกุลของแคลเซียมคาร์บอเนต [6] ส่งผลให้สารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านการดัดแปรแล้วมีสมบัติด้านทางกายภาพและมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้น ส่งให้การเคลือบผิวของไข่ไก่ดีขึ้นและการยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่ดีขึ้นเช่นกัน

### 4.2 การเปลี่ยนแปลงของไข่ขาว: ดัชนีไข่ขาว (Albumin index)

ดัชนีไข่ขาวคำนวณจาก ความกว้าง ความยาว และความสูงของไข่ขาว ไข่สด ชั้นของไข่ขาวขั้นในจะมีความหนืดสูง ส่งผลให้ความหนาของไข่ขาวสูงขึ้นด้วยและเมื่อเวลาผ่านไป ชั้นของไข่ขาวชั้นในจะมีความหนืดลดลง เนื่องจากการเสื่อมสภาพของโปรตีน ส่งผลให้ ความกว้าง ความยาว เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ภาพที่ 2 กราฟ ก. และ ข. แสดงข้อมูลการเปรียบเทียบดัชนีไข่ขาวของสารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล ของกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริก พบว่าดัชนีไข่ขาว ทุกสูตร มีค่าลดลง ตามระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 ค่าดัชนีไข่ขาวของไข่ที่ผ่านการเคลือบผิวมีค่าสูงกว่าไข่ไก่ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวและแนวโน้มของค่าดัชนีชี้วัดไข่ขาว สูตรที่มีการใช้กรดปาล์มิติกและกรดสเตียริกความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ต่อการยืดอายุไข่ไก่

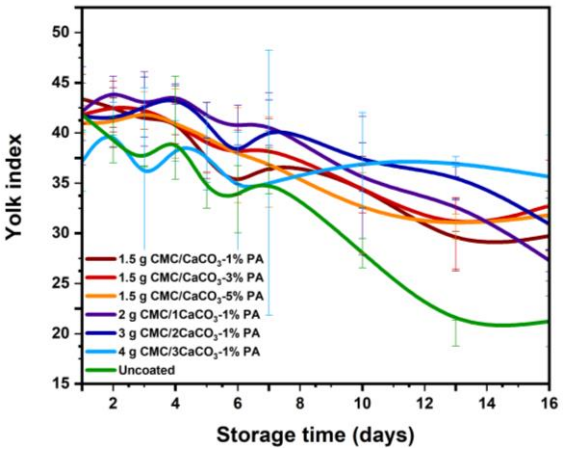



ก.

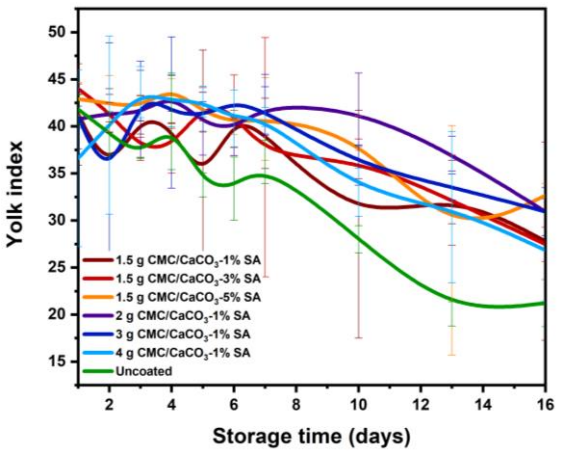



ข.

**ภาพที่ 2** กราฟแสดงข้อมูลค่าดัชนีชี้วัดไข่ขาว
ก). เปรียบเทียบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดปาล์มิติก ความความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล และเปรียบเทียบน้ำหนักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดปาล์มิติก ร้อยละ 1 โดยมวล
ข). เปรียบเทียบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดสเตียริกความความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล และเปรียบเทียบน้ำหนักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดสเตียริก ร้อยละ 1 โดยมวล




ก.




ข.

**ภาพที่ 3** กราฟแสดงข้อมูลค่าดัชนีชี้วัดไข่แดง
ก). เปรียบเทียบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดปาล์มิติก ความความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล และเปรียบเทียบน้ำหนักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดปาล์มิติก ร้อยละ 1 โดยมวล
ข). เปรียบเทียบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดสเตียริกความความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล และเปรียบเทียบน้ำหนักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดสเตียริก ร้อยละ 1 โดยมวล

**4.3 การเปลี่ยนแปลงของไข่แดง: ดัชนีไข่แดง (Yolk index, YI)**

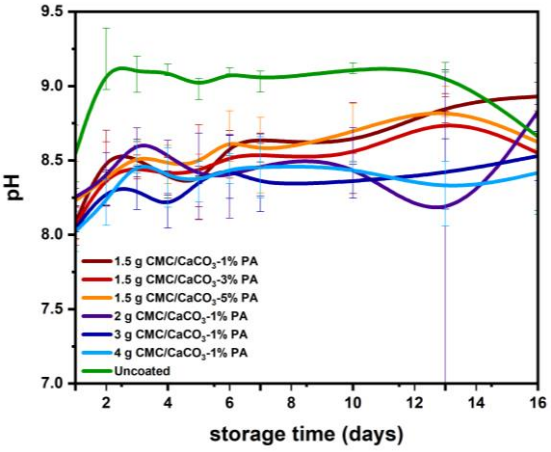
ดัชนีไข่แดง ถูกคำนวณจากค่าความสูงและความกว้างของไข่แดง เมื่อไข่มีอายุมากขึ้น ค่าของดัชนีไข่แดงจะลดลง ซึ่งเป็นผลจากการเสื่อมสภาพของเยื่อหุ้มไข่แดง (Vitelline membrane) ที่เกิดจากการแพร่ของน้ำจากไข่ขาวเข้าสู่ไข่แดงได้ ส่งผลให้ค่าความสูงไข่แดงลดลงและความกว้างของไข่แดงเพิ่มขึ้น คุณภาพไข่ที่ดีควรมีค่าอยู่ในช่วง 40 - 45 ภาพที่ 3 กราฟ ก. และ ข. ช่วงสัปดาห์ที่ 1 แสดงค่าดัชนีไข่แดงของไข่ที่ผ่านการเคลือบมีค่าสูงกว่าไข่ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 กลุ่มของไข่ที่เคลือบผิวแล้วมีแนวโน้มการลดลงของดัชนีไข่แดงน้อยกว่าไข่ที่ไม่ผ่านการเคลือบ (เส้นสีเขียว)

**4.4 ความเป็นกรด - ด่างของไข่ขาว: ค่าพีเอช (pH)**

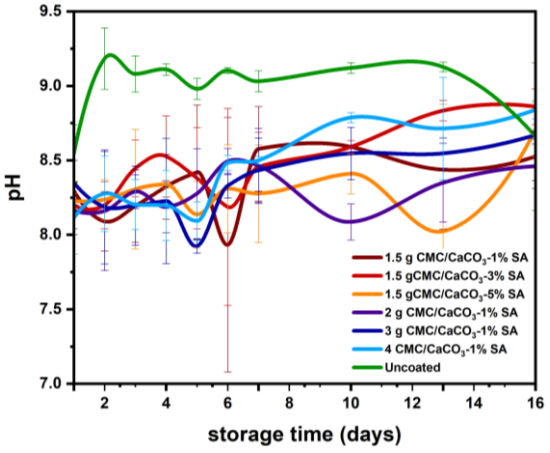
ปกติค่าความเป็นกรด - ด่างของไข่ขาวสำหรับไข่ไก่สดจะมีความเป็นด่าง ช่วง 8.00 - 8.4 เมื่อเวลาผ่านไปค่าพีเอชจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากธรรมชาติของไข่ไก่มีการหายใจ (Breathe) [8] หรือมีการแลกเปลี่ยนแก๊สบริเวณผิวของเปลือกไข่ ได้แก่ ไอน้ำ คาร์บอนไดร์ออกไซด์ ออกซิเจน ซึ่งแก๊สเหล่านี้ มีผลต่อคุณสมบัติไข่ คือ ความหนืดของไข่ไก่ลดลง จากภาพที่ 4 กราฟ ก. และ ข. แสดงค่าพีเอชไข่ที่ผ่านการเคลือบผิว 9.0 – 9.4 ค่าพีเอชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) แต่เมื่อเปรียบเทียบกับไข่ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว ค่าพีเอชจะมีแนวโน้มที่สูงกว่า 9.13 จึงสามารถสรุปได้ว่า การเคลือบผิวสามารถลดการแลกเปลี่ยนแก๊สที่เป็นปัจจัยทำให้ค่าพีเอชสูงขึ้น

**4.5 การเปลี่ยนแปลงของเปลือกไข่จากสารเคลือบภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง**

ลักษณะทั่วไปของผิวบนเปลือกไข่ไก่ มีรูพรุนกระจายอยู่ทั่วทั้งฟองมีองค์ประกอบหลัก คือ ผลึกแคลไซต์ จากภาพที่ 5 แสดงผิวของเปลือกไข่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เปลือกไข่ที่ผ่านการเคลือบ ในภาพ ก. กำลังขยาย 200 เท่า และภาพ ข. กำลังขยาย 500 เท่า ปรากฏ สารเคลือบเข้าไปอุดภายในช่องว่างรูพรุนของเปลือกไข่ (ลูกศรสีแดง) เปรียบเทียบกับเปลือกไข่ที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบผิวในภาพ ค. กำลังขยาย 200 เท่า และ ภาพ ง. กำลังขยาย 500 เท่า

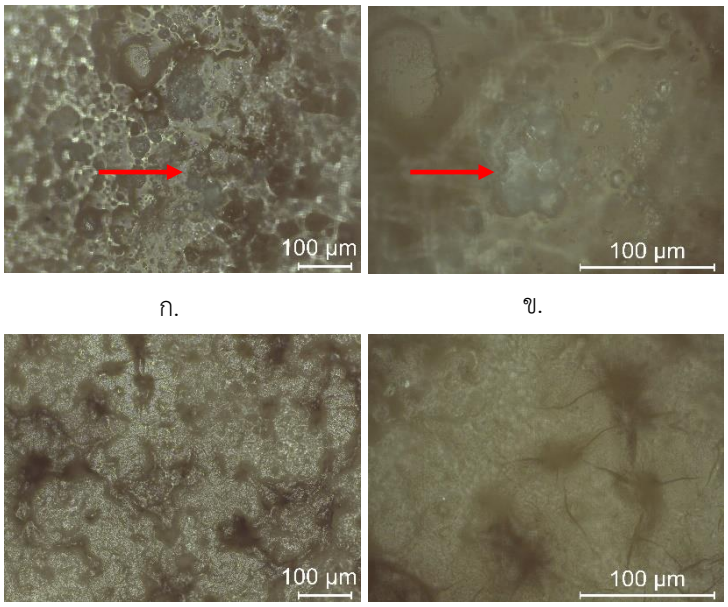



ก.




ข.

**ภาพที่ 4** กราฟแสดงข้อมูลค่าความเป็นกรด-ด่างของไข่ขาว ก). เปรียบเทียบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดปาล์มิติก ความความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล และเปรียบเทียบน้ำหนักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดปาล์มิติก ร้อยละ 1 โดยมวล ข). เปรียบเทียบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดสเตียริกความความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล และเปรียบเทียบน้ำหนักของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดสเตียริก ร้อยละ 1 โดยมวล




ก. ข.

ค. ง.

**ภาพที่ 5** แสดงลักษณะของเปลือกไข่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง
ก). เปลือกไข่ที่ผ่านการเคลือบผิวกำลังขยาย 200 เท่า ข). เปลือกไข่ที่ผ่านการเคลือบผิวกำลังขยาย 500 เท่า ค). เปลือกไข่ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวกำลังขยาย 200 เท่า ง). เปลือกไข่ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิวกำลังขยาย 500 เท่า

**4.6 การกระจายและอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตบนผิวเปลือกไข่**

ศึกษาการกระจายตัวและขนาดของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตที่กระจายตัวในคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

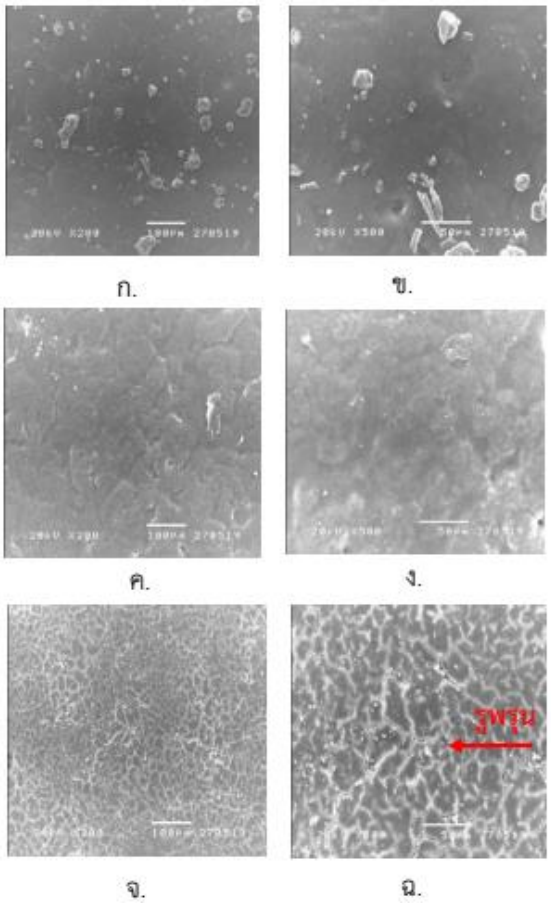
ภาพที่ 6 ก. และ ข. ปรากฏอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านการดัดแปรด้วยกรดไขมันมีการกระจายตัวสม่ำเสมอบนแผ่นฟิล์มที่เคลือบบนผิวของเปลือกไข่และมีขนาดอนุภาค อยู่ในช่วง 1 - 2 ไมโครเมตร ภาพที่ 6 ค. และ ง. แสดงเปลือกไข่ที่เคลือบด้วยคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสเพียงอย่างเดียว พบว่า สารเคลือบ เคลือบผิวและปกคลุมรูพรุนของเปลือกไข่ เปรียบเทียบกับภาพ จ. และภาพ ฉ. ผิวของเปลือกไข่ที่ไม่ผ่านการเคลือบ ที่บริเวณผิวเต็มไปด้วยหลุมช่องว่างที่มีรูพรุน

**- หมู่ฟังก์ชันวิเคราะห์ด้วยฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer)**

การวิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นฟิล์มคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ดัดแปรด้วยกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริกด้วยฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy) เพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารเคลือบภาพที่ 7 ทั้งสองกราฟแสดง พีคหลักของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส คือ ( 3391 ซม$^{-1}$, OH-stretching ) , (2874 ซม$^{-1}$ ,CH- stretching ) (1590 ซม$^{-1}$ C-O stretching) (1455, 1416 ซม$^{-1}$, $CH_2$-blending) ( 1316, 1063 ซม$^{-1}$, C-O-C), (1063 ซม$^{-1}$, C-O stretching) และปรากฏพีคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ดัดแปรด้วยกรดไขมันที่ ตำแหน่งที่ 871 ซม$^{-1}$ (out of plane blending) อ้างอิงจาก [9]

จากกราฟยังแสดงพีคของกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริกในช่วง 3300 - 2950 ซม$^{-1}$ , CH- stretching แต่ถูกบดบังโดยพีคของ OH-stretching ของคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส และปรากฏพีค 711 ซม$^{-1}$ $CH_2$-blending

(Rocking) เป็นสายโซ่คาร์บอนยาว (long-chain) ที่บ่งบอกลักษณะของกรดไขมัน




**ภาพที่ 6** แสดงเปลือกไข่ไก่เคลือบด้วยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เติมกรดสเตียริก ก). กำลังขยาย 200 เท่า ข). กำลังขยาย 500 เท่า เปลือกไข่ไก่ที่เคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสอย่างเดียว ค). กำลังขยาย 200 เท่า ง). กำลังขยาย 500 เท่า และเปลือกไข่ไก่ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว จ). กำลังขยาย 200 เท่า ฉ). กำลังขยาย 500 เท่า

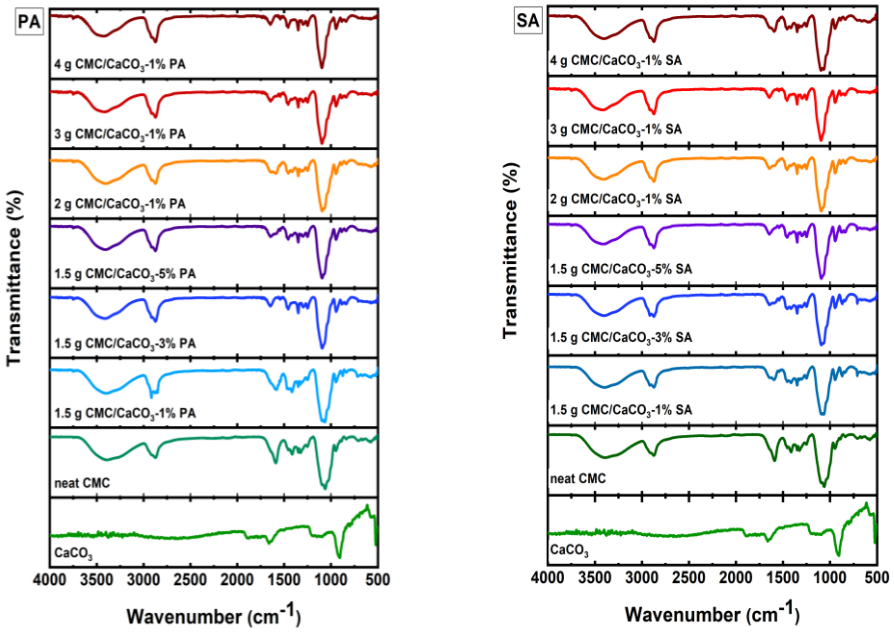
เปรียบเทียบข้อมูลสารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ดัดแปรด้วยกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริก โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดไขมันและเปรียบเทียบน้ำหนักของแคลเซียมคาร์บอเนต พบว่า ความเข้มข้นของกรดไขมัน ร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล พบว่าตำแหน่งพีคของกรดไขมันทั้งสองตัวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เพราะว่าเหตุผลในด้านโครงสร้างของกรดไขมันทั้งสองซึ่งเป็นสายโซ่ยาวมีคาร์บอนต่างกัน 2 คาร์บอน (กรดปาล์มิติก 16 คาร์บอน, กรดสเตียริก 18 คาร์บอน) ส่วนตำแหน่งพีคของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในส่วนของการเพิ่มน้ำหนักนั้นไม่มีความแตกต่างกัน

**- การศึกษาผลึกของสารเคลือบด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)**

ภาพที่ 8 กราฟของ XRD ภาพ ก. แสดง รูปแบบของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีลักษณะเป็นกึ่งผลึก (Semi-crystalline) พบระนาบ $2\theta$ ที่ 22.4 และ 29.5) ภาพ ข. แสดงรูปแบบของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ 012, 104, 110, 113, 202, 016, 018 และ 122 ภาพ ค. และ ง. แสดงรูปแบบของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตดัดแปรด้วยกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริกซึ่งมีระนาบที่คล้ายกับระนาบของแคลเซียมคาร์บอเนตแต่มีใช่ระนาบผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตเพียงอย่างเดียวแต่มีระนาบของสารเคลือบที่มีผลึกเกิดขึ้นใหม่ ดังนั้น แคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านการดัดแปรด้วยกรดไขมันจึงเป็นตัวเหนี่ยวนำให้ระบบมีการก่อผลึกชนิดใหม่ขึ้นในเนื้อของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ทำหน้าที่เป็น สารก่อผลึก ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติการขว้างกั้น

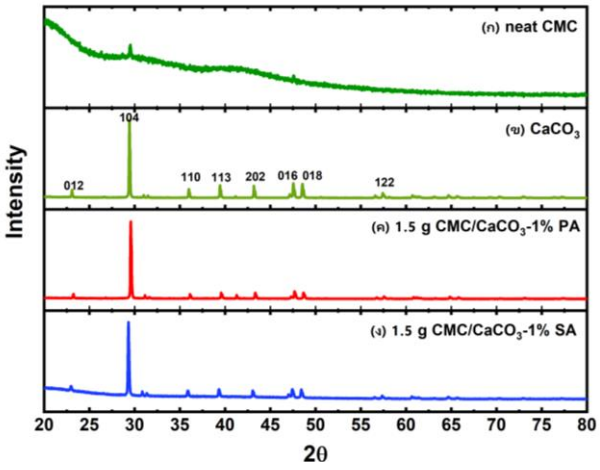
## 5. สรุปผลการทดลอง

เป้าหมายของงานวิจัยนี้ คือ การพัฒนา สารเคลือบผิวไข่ไก่สำหรับยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่ โดยใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นสารหลัก เนื่องด้วยสารนี้เป็นผลึกต่ำ ดังนั้น จึงทำการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นองค์ประกอบเช่นเดียวกับเปลือกไข่ไก่ ทำหน้าที่เป็นสารก่อผลึก ดัดแปรด้วยกรดไขมัน (กรดปาล์มิติกและกรดสเตียริก) เพื่อลดการจับกันเป็นก้อน เพิ่มการกระจายตัวของอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้สารเคลือบไข่ไก่มีคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติขว้างกันดีขึ้น ส่งผลต่อการยืดอายุการยืดอายุการเก็บรักษาไข่ไก่ให้นานขึ้น




ก. ข.

**ภาพที่ 7** แสดงการเปรียบเทียบผลของฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ดัดแปรด้วยกรดไขมัน ก). กรดปาล์มิติก ข). กรดสเตียริก




**ภาพที่ 8** แสดงการกราฟของ XRD
ก). คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ข). แคลเซียมคาร์บอเนต ค). คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ดัดแปรด้วยกรดปาล์มิติก ง). คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ดัดแปรด้วยกรดสเตียริกความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยมวล

การวิเคราะห์ตัวแปรที่เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพภายในของไข่ไก่มี ค่าฮอก ดัชนีไข่ขาว ดัชนีไข่แดง ค่าความเป็นกรด - ด่างของไข่ขาวที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ดัดแปรด้วยกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยมวล สามารถยืดอายุการเก็บรักษาและชะลอการลดลงของคุณภาพของไข่ไก่ได้ ณ อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์ เปรียบเทียบกับไข่ไก่ที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว อีกทั้ง การเพิ่มปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในสารเคลือบทั้งสูตรที่ใช้กรดปาล์มิติกและสเตียริกมีผลต่ออายุการเก็บไข่ไก่ที่ดีขึ้น เพราะปริมาณคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมากส่งผลให้สารเคลือบมีความหนืดเพิ่มขึ้น ทำให้มีสารเคลือบเกาะบริเวณที่ผิวของเปลือกไข่หนา ส่งผลต่ออัตราการซึมผ่านของไอน้ำและอัตราการซึมผ่านของออกซิเจนลดลง ทำให้สารเคลือบที่มีการเพิ่มน้ำหนักคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสสามารถคงคุณภาพของไข่ได้ ในระดับ เกรด AA ในช่วงสัปดาห์ที่ 1 และเกรด A ในช่วงสัปดาห์ที่ 2 แต่การเพิ่มน้ำหนักคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจะแห้งช้ากว่าสูตรที่ใช้น้ำหนักคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในปริมาณน้อย ดังนั้น จึงเป็นสูตรที่ไม่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเคลือบไข่

นอกจากนี้ยังได้ยืนยันว่าสารเคลือบคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตซึ่งรับการดัดแปรด้วยกรดไขมันแล้ว พบว่า มีแคลเซียมคาร์บอเนตที่ดัดแปรด้วยกรดไขมัน (กรดปาล์มิติกและกรดสเตียริก) พบว่า บนแผ่นฟิล์มคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส เป็นการยืนยันว่า การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผ่านการดัดแปรด้วยกรดไขมันนี้ทำ ให้มีการกระจายตัวของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตบนพื้นผิวเปลือกไข่ไก่ และพบผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตบนแผ่นฟิล์ม ดังนั้น สารเคลือบคาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสผสมแคลเซียมคาร์บอเนตที่ดัดแปรด้วยกรดปาล์มิติกและกรดสเตียริก จึงเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบเปลือกไข่ไก่ที่มีคุณสมบัติขวางกั้นการซึมผ่านของไอน้ำโดยชะลอการลดคุณภาพของไข่ไก่ได้ดีระหว่างการเก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง

นอกจากนี้ เปรียบเทียบกับบทความของ [10] ซึ่งใช้อนุพันธุ์ของเซลลูโลส เป็นสารหลักสำหรับเคลือบผิวไข่ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 26±3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65 ± 2 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ค่าฮอกในสัปดาห์ที่ 2 คือ 72.35 ซึ่งยังคุณภาพเกรด AA และลดลงเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 3 ค่าความเป็นด่าง 9.37 [4] เคลือบไข่ไก่ด้วย โปรตีนเวย์ (whey protein isolate, WPI) ไคโตแซน (Chitosan) เชลแล็ก (Shellac) ในสัปดาห์ที่ 2 มีค่าฮอก 56.81 (เกรด B), 61.99 (เกรด A), 63.30 (เกรด A) ตามลำดับ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ในงานวิจัยนี้ไข่ที่ผ่านการเคลือบผิวเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสัปดาห์ที่ 2 มีเกรดอยู่ในช่วง A และ B

## 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยภายใต้แผนงานเสริมสร้างศักยภาพและพัฒนานักวิจัยรุ่นใหม่ ตามทิศทางยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม ประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2562 เลขที่สัญญาทุน บท.วช. 20/2562 และทุนโครงการพัฒนาศักยภาพบุคคลากร STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) เพื่อการวิจัยและพัฒนาสำหรับภาคอุตสาหกรรมสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ เลขที่สัญญาทุน SCA-CO-2561-7559-TH ที่ให้การสนับสนุนทุนในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่อำนวยความสะดวกทางด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำวิจัย

## 7. อ้างอิง

[1] มงคล พิพัฒสัตยานุวงศ์, Egg Industry Overview 2016, สืบค้นจาก https://www.thaiahpa.com/ckfinder/userfiles/files/เสวนา%20โดย%20คุณมงคล%20พิพัฒสัตยานุวงศ์.pdf

[2] L. Xie, N.S. Hettiarachchy, Z.Y. Ju, J. Meullenet, H. Wang, M.F. Slavik, and M.E. Janes, “Edible film coating to minimize eggshell breakage and reduce post- wash bacterial contamination measured by dye penetration in eggs,” *Journal of food science*, vol.67(1), pp.280-284, 2002.

[3] Hisil, Y. and S. Otles, “Changes of vitamin B-1 concentrations during storage of hen eggs,” *Food Sci Technol-Lab,* vol. 30, pp.320-323, 1997.

[4] Caner, C. and ¨O. Cansiz, “Chitosan coating minimises eggshell breakage and improves egg quality,” *Sci Food Agric*, vol.88, pp.56–61, 2008.

[5] Kulikowska, A., I. W. Wasiak. and T. Ciach, “Synthesis of carboxymethyl cellulose nanoparticles using various coiling agents,” *Prosimy cytować jako: Inz. Ap. Chem*, vol.53(4), pp.268-269, 2014.

[6] Caoa. Z., M. Dalyb., L. Clémencec., L. M. Geevera., I. Majora., C. L. Higginbothama. and D. M. Devinea, Applied Surface Science 378, 320–329, 2016.

[7] Copur, G., O. Camci., N. Sahinler. and A. Gul, “The effect of propolis egg shell coatings on interior egg quality,” *Arch. Geflügelk*, vol.2 (1), pp.35–40, 2008.

[8] William J. Stadelman. PhD Owen J. Cotter. PhD Editor, “Egg Science and Technology,” Food Products Press, an imprint of the Haworth Press, Inc., NY 13904-1580, 1994.

[9] Plav, B., S. Kobe and B. Orel, “Identification of crystallization forms of $CaCO_3$ with ftir spectroscopy,” Kovine, Zlitine, Tehnologije 33(6), pp.517-521, 1999.

[10] Suppakul, P., K. Jutakorn. and Y. Bangchokedee, “Efficacy of cellulose- based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs,” *Journal of Food Engineering*, vol.98, pp.207–213, 2010.