ผลของคลื่นไมโครเวฟต่อโครงสร้างทางเคมีกายภาพของเปลือกไข่ไก่
Effect of Microwave Radiation on Physicochemical Structure of Chicken Eggshells

พิไลพร หนูทองคำ[1] ประภัสสร จุลบุตร์[2] และประสบพร จุลบุตร์[1*]
Pilaipon Nuthongkum[1] Prapassorn Junlabhut[2] and Prasopporn Junlabhut[1*]

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่ เมื่อเปลือกไข่ไก่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟโดยการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ 400 560 และ 800 วัตต์ ด้วยเวลาที่เท่ากัน 5 นาที พบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่จะมีความเป็นผลึกแบบรอมโบฮีดรอลของแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เพิ่มขึ้น ขนาดผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 69.51 นาโนเมตร เป็น 77.79 89.17 และ 91.22 นาโนเมตร ตามลำดับ จากนั้นทำการเปลี่ยนแปลงเวลาในการให้ความร้อนของคลื่นไมโครเวฟที่ 5 10 15 20 และ 25 นาที โดยให้กำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟคงที่ 800 วัตต์ พบว่าที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์เป็นเวลา 10 นาที โครงสร้างแคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่ที่ได้มีความเป็นผลึกสูงสุด และเมื่อเพิ่มเวลามากขึ้นที่ 15 และ 20 นาที ค่าความเป็นผลึกจะมีค่าลดลง และที่เวลา 25 นาที แคลเซียมคาร์บอเนตที่ได้จะเริ่มมีการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ดังแสดงในผลการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

คำสำคัญ: เปลือกไข่ไก่ แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมออกไซด์ คลื่นไมโครเวฟ

[1] สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
[2] สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคนครสวรรค์ สถาบันการอาชีวศึกษา ภาคเหนือ 4
* Corresponding author e-mail: pjunlabhut@gmail.com

Received: 21 February 2022, Revised: 2 June 2022, Accepted: 10 June 2022

Abstract

In this research, the effect of microwaves on physical and structural properties of chicken eggshells with various were studied. The influence of thermal treatment with various microwave power at 400, 560 and 800 W for 5 min were investigated. As the power increases, the rhombohedral crystallinity of $CaCO_3$ of chicken egg shell particles is heightened. The calculated crystalline size increased from 69.51 nm to 77.79, 89.17 and 91.22 nm, respectively. Then, microwaves were heated with various time for 5, 10, 15, 20 and 25 min with a constant power of 800 W. The results indicated that the power at 800 W for 10 min were used to improve the highest crystallinity of the $CaCO_3$ of the chicken egg shell. As the time increases up to 15 and 20 min, the crystallinity was slightly decreased. As time went up to 25 min, the structural reveals that $CaCO_3$ can be transformed into the CaO structure as seen in X-ray diffraction patterns.

Keywords: Chicken egg shells, Calcium carbonate, Calcium oxide, Microwave

บทนำ

เปลือกไข่ไก่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการบริโภคทั้งในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือน โดยทั่วไปมักกำจัดโดยวิธีฝังกลบโดยไม่มีการปรับสภาพก่อนทำให้เกิดมลพิษอินทรีย์ (Laca *et al.*, 2017) เปลือกไข่ไก่มีน้ำหนักประมาณร้อยละ 10 ของน้ำหนักทั้งหมด (Wei *et al.*, 2009) มีองค์ประกอบหลักเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate: $CaCO_3$) สูงถึงร้อยละ 94.0 ของน้ำหนักเปลือกไข่ไก่ นอกจากนั้นเป็นแมกนีเซียมคาร์บอเนต (ร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักเปลือกไข่ไก่) แคลเซียมฟอสเฟต (ร้อยละ 1.0 ของน้ำหนักเปลือกไข่ไก่) และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ (ร้อยละ 4.0 ของน้ำหนักเปลือกไข่ไก่) (Stadelman, 2000) ปัจจุบันงานวิจัยเพื่อเพิ่มมูลค่าเปลือกไข่ไก่เติบโตอย่างรวดเร็วและหลากหลายงานวิจัย เช่น การใช้เปลือกไข่ไก่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้เปลือกไข่ไก่ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล (Wei *et al.*, 2009) เป็นต้น และสิ่งที่น่าสนใจจากงานวิจัยของ Cho and Seo (2010) พบว่าแคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide: CaO) ที่ได้จากการเผาเปลือกไข่ไก่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่มีประสิทธิภาพได้ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต จากงานวิจัยของ Li *et al.* (2018) พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสเฟตจากน้ำเสีย นอกจากนี้มีงานวิจัยที่นำเปลือกไข่ไก่มาเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วัสดุไฮดรอกซิลอะพาไทต์เพื่อทดแทนฟันและกระดูกมนุษย์ (Asra *et al.*, 2018) และยังถูกใช้เป็นสารตัวเติม (filter) และตัวเพิ่มปริมาณ (extender) ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมอาหารสัตว์ กระดาษ และเซรามิก เป็นต้น และเป็นสารตั้งต้นในการผลิตแคลเซียมออกไซด์ (Tangboriboon *et al.*, 2012)

โดยทั่วไปการสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมออกไซด์จากวัสดุในธรรมชาติมักใช้เทคนิคทางกายภาพโดยการให้ความร้อนและระยะเวลาที่เหมาะสมกับสารตัวอย่าง ซึ่งแหล่งความร้อนที่ใช้มักมาจากเตาเผา โดยความร้อนที่ผิวด้านนอกจะสูงกว่าด้านในซึ่งได้จากการถ่ายเทความร้อนเข้าไปภายในวัสดุ จึงทำให้ต้องใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์ยาวนาน อีกทั้งต้องใช้อุณหภูมิสูง งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้แหล่งความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งมีข้อได้เปรียบกว่าแหล่งความร้อนชนิดอื่น คือ มีอัตราการให้ความร้อนเร็ว มีความสม่ำเสมอ โดยความร้อนที่ได้รับจากคลื่นไมโครเวฟเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวัตถุออกสู่ภายนอก จึงลดการสูญเสียความร้อนระหว่างอากาศ ดังนั้นการใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟจึงช่วยลดระยะเวลาในการสังเคราะห์ได้เป็นอย่างมาก และยังเป็นการลดการสูญเสียพลังงานได้ดีอีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบของคลื่นไมโครเวฟที่มีอิทธิพลต่อลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่ โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ และระยะเวลาในการให้ความร้อน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กระบวนการเตรียมผงเปลือกไข่ไก่

นำเปลือกไข่ไก่มาลอกเยื่อหุ้มออก จากนั้นล้างทำความสะอาด และนำไปอบให้แห้งด้วยเตาอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียด นำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช (mesh) เพื่อให้ได้ขนาดใกล้เคียงกัน

2. ศึกษากำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสม

ชั่งผงเปลือกไข่ไก่จากข้อที่ 1 ปริมาณ 10 กรัม นำมาให้ความร้อนจากไมโครเวฟดัดแปลงจากหัวแมกนีตรอน 1 หัว ที่ความยาวคลื่น 2.45 กิกะเฮิรตซ์ (GHz) กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 800 วัตต์ โดยศึกษาอิทธิพลของกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันที่ 400 560 และ 800 วัตต์ (เมื่อเทียบกับไมโครเวฟเชิงพาณิชย์ กำลังไฟฟ้าจะให้ระดับความร้อนจะเป็น ปานกลาง แรงปานกลาง และแรง ตามลำดับ) โดยกำหนดให้ระยะเวลาที่ให้ความร้อนเท่ากันที่ 5 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาศึกษาลักษณะทางกายภาพ สีจากการสังเกตด้วยตาเปล่าเทียบกับการระบุเฉดสีจากโปรแกรม ImageJ และลักษณะทางโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (x-ray diffraction: XRD)

3. ศึกษาระยะเวลาที่ให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสม

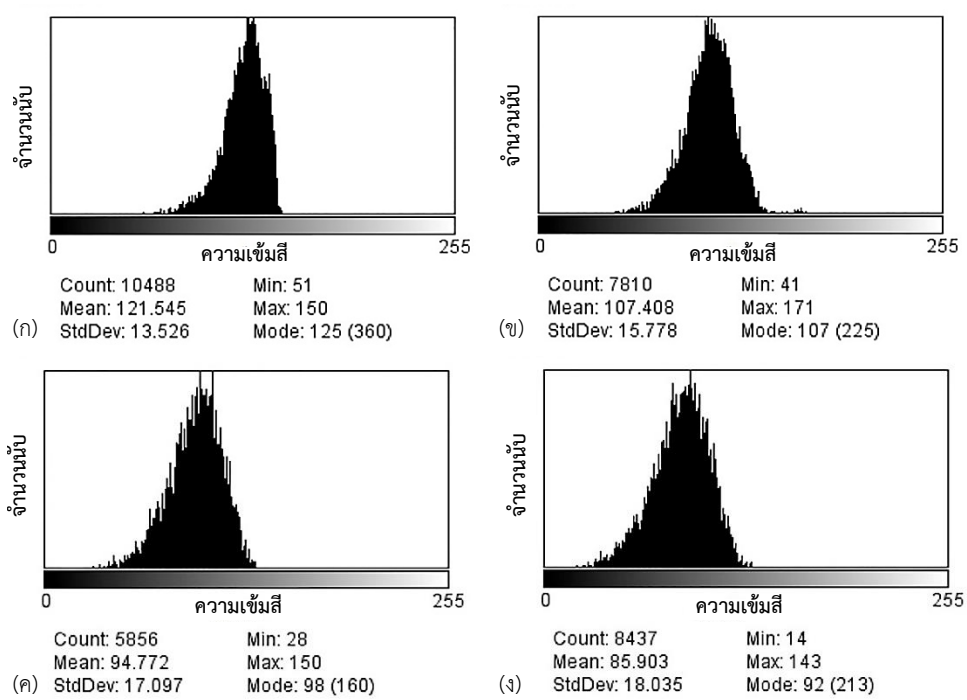
นำผงเปลือกไข่ไก่จากข้อที่ 1 มาให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 2 และศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาที่ให้ความร้อนที่แตกต่างกันที่ 5 10 15 20 และ 25 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาศึกษาลักษณะทางกายภาพ สีจากการสังเกตด้วยตาเปล่าเทียบกับการระบุเฉดสี และลักษณะของอนุภาคหลังการให้ความร้อนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy: SEM) และลักษณะทางโครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษากำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสม

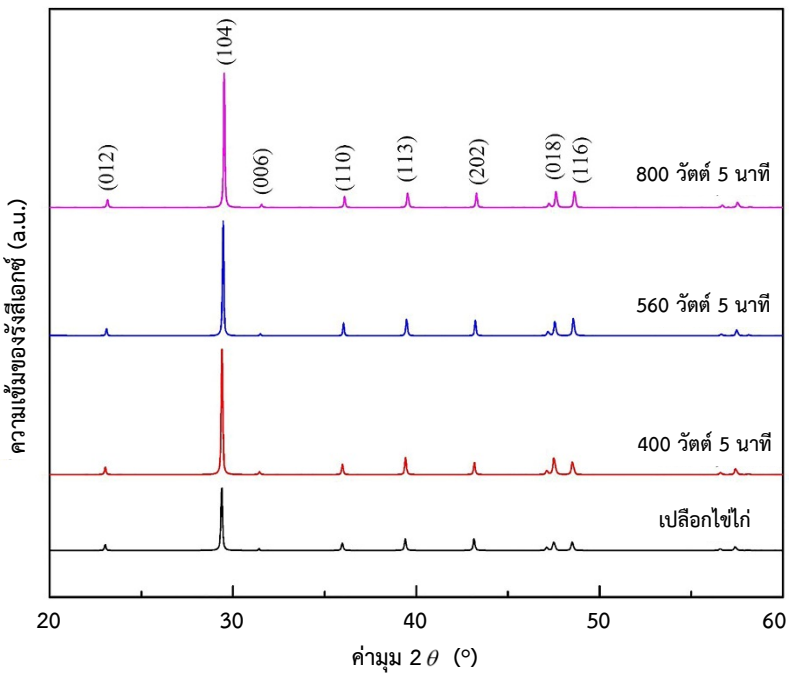
ลักษณะทางกายภาพของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าแตกต่างกันที่ 400 560 และ 800 วัตต์ ที่เวลา 5 นาทีเท่ากัน พบว่าเปลือกไข่ไก่ก่อนการให้ความร้อนจะมีเฉดสีเหลืองอ่อนเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า ต่างจากเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากไมโครเวฟมีลักษณะของสีที่เข้มขึ้นเมื่อเทียบกับเปลือกไข่ไก่ก่อนได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ โดยที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ เปลือกไข่ไก่มีสีน้ำตาล เมื่อได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น พบว่าเปลือกไข่ไก่เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มและสีน้ำตาลปนเทา ที่กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 560 และ 800 วัตต์ ดังภาพที่ 1 และเมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มสี (color intensity) ในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J พบว่าความเข้มสีที่ได้สอดคล้องกับผลจากการสังเกตด้วยตาเปล่า คือเฉดสีมีความเข้มขึ้นเมื่อให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 1 เปลือกไข่ไก่ก่อนการให้ความร้อน (ก) และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ (ข) 560 วัตต์ (ค) และ 800 วัตต์ (ง) ที่เวลา 5 นาที



ภาพที่ 2 การวิเคราะห์ความเข้มสีในระบบ RGB จากภาพถ่ายเปลือกไข่ไก่ก่อนการให้ความร้อน (ก) และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ (ข) 560 วัตต์ (ค) และ 800 วัตต์ (ง) ที่เวลา 5 นาที ด้วยโปรแกรม Image J

จากการศึกษาลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าแตกต่างกันที่ 400 560 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที ดังภาพที่ 3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ระนาบการเลี้ยวเบนที่ (012) (104) (006) (110) (113) (202) (018) และ (116) ตรงกับมุม 23.13 29.48 31.56 36.09 39.49 43.28 47.53 และ 48.51 องศา ตามลำดับ ตรงกันกับฐานข้อมูลมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 01-086-0174 สอดคล้องกับรูปแบบของแคลเซียมคาร์บอเนต มีลักษณะของแคลไซต์ (calcite) ซึ่งมีโครงสร้างผลึกแบบรอมโบฮีดรอล (rhombohedral) ในระบบเฮกซะโกนอล (hexagonal) มีค่าแลตทิซพารามิเตอร์ (lattice parameters) เท่ากับ $a = b = 4.988$ Å และ $c = 17.068$ Å ที่มุม $\alpha = 90°$ $\beta = 90°$ และ $\lambda = 120°$



ภาพที่ 3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 400 560 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที

จากภาพที่ 3 พบตำแหน่งสูงสุดของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มุมการเลี้ยวเบน 29.5 องศา ผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ความเข้มที่ตำแหน่งสูงสุดจะเพิ่มขึ้นและมีความคมชัด แสดงถึงค่าความเป็นผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อคำนวณขนาดผลึก (crystalline size) ของเปลือกไข่ไก่ที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนจากไมโครเวฟ โดยใช้ระนาบการเลี้ยวเบนสูงสุด ด้วยสมการเชอร์เรอร์ (Scherrer's equation)

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos\theta}$$

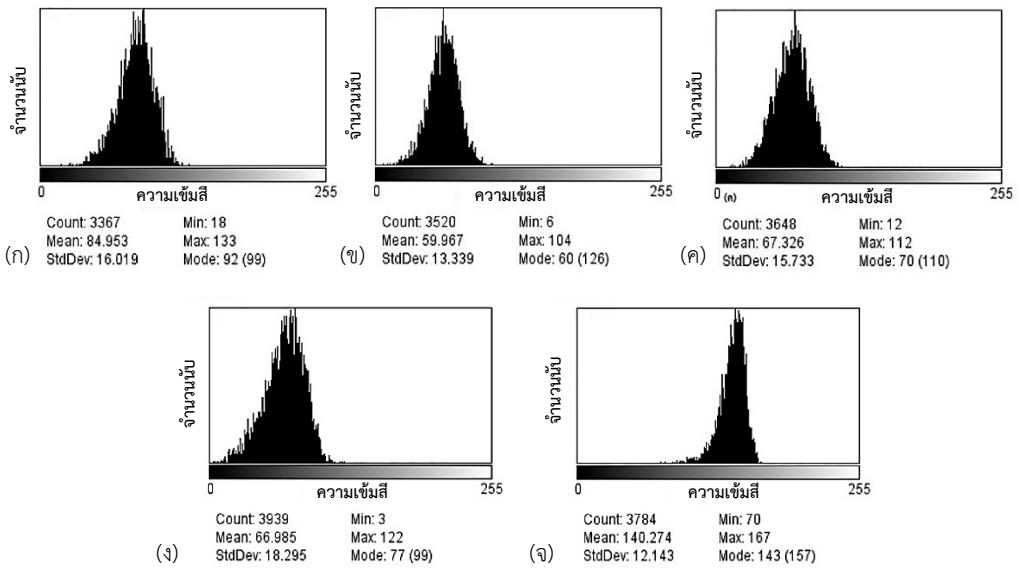
เมื่อ k คือ ค่าคงที่เท่ากับ 0.94 λ คือ ค่าความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดรังสีเอกซ์ CuKα (0.15406 นาโนเมตร) β คือ ความกว้างที่ความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของความสูงสูงสุดของกราฟ (full width at half maximum: FWHM) และ θ คือ มุมของแบรก (Bragg's angle) พบว่าขนาดของผลึกของเปลือกไข่ไก่และเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าแตกต่างกันที่ 400 560 และ 800 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 69.51 77.79 89.17 และ 91.22 นาโนเมตร

2. ผลการศึกษาระยะเวลาที่ให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสม

เนื่องจากความเป็นผลึกของลักษณะทางโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาพบว่า กำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟที่ 800 วัตต์ ระยะเวลา 5 นาที ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพ คือ สี และลักษณะทางโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตเด่นชัดที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้กำลังไฟฟ้าดังกล่าวมาศึกษาอิทธิพลของระยะเวลาการให้ความร้อนที่ส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่ โดยศึกษาระยะเวลาที่แตกต่างกันที่ 5 10 15 20 และ 25 นาที

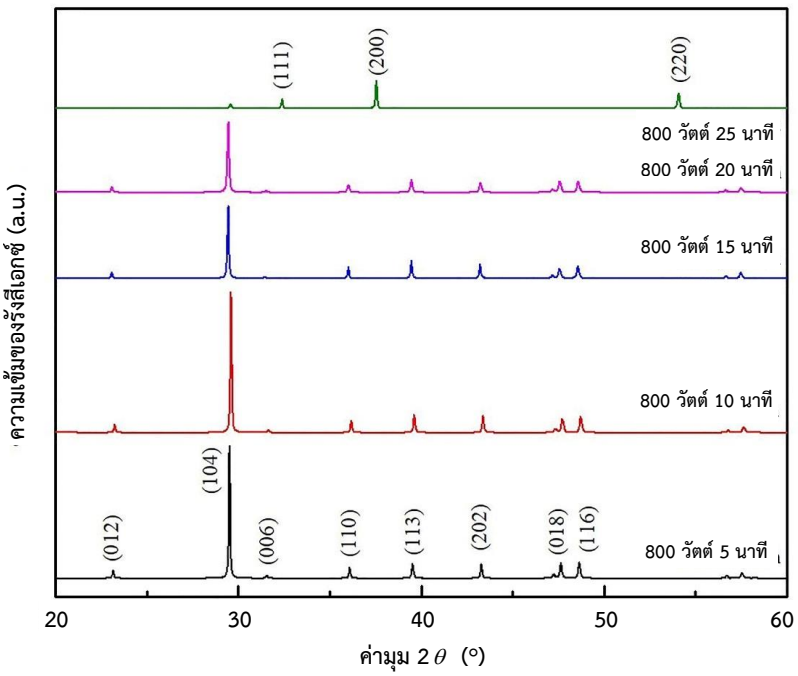
ต่อมาคือผลจากการศึกษาการให้ความร้อนเปลือกไข่ไก่ด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ โดยศึกษาอิทธิพลของเวลาที่แตกต่างกันที่ 5 10 15 20 และ 25 นาที ลักษณะของสีของเปลือกไข่ไก่จากการสังเกตด้วยตาเปล่า พบว่าสีของเปลือกไข่ไก่มีสีที่เข้มขึ้นเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลา 5 นาที เปลือกไข่ไก่มีสีน้ำตาลปนเทา ดังภาพที่ 4 (ก) ที่ระยะเวลา 10 15 และ 20 นาที เปลือกไข่ไก่มีสีเทาที่เข้มขึ้นจนกระทั่งมีสีเทาเข้มปนดำที่ระยะเวลา 20 นาที ดังภาพที่ 4 (ข) (ค) และ (ง) และเมื่อให้ความร้อนแก่เปลือกไข่ไก่ที่ระยะเวลา 25 นาที พบว่าขนาดของอนุภาคลดลงมีความสม่ำเสมอมากขึ้น สีของเปลือกไข่ไก่เปลี่ยนเป็นสีขาวและมีสีเทาเจือปนอยู่เล็กน้อย ดังภาพที่ 4 (จ) และเมื่อทำการวิเคราะห์ความเข้มสีในระบบ RGB ด้วยโปรแกรม Image J พบว่าความเข้มสีมีค่าสูง (เข้าใกล้ 255) ขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ 800 วัตต์ เป็นเวลา 10 นาที และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 15 และ 20 นาที ตามลำดับ ซึ่งที่เวลาในการให้ความร้อน 25 นาที พบว่าความเข้มสีมีค่าสูงสุด แสดงให้เห็นว่าสีมีลักษณะเข้าใกล้สีขาวอย่างชัดเจน ผลของสีของเปลือกไข่ไก่สอดคล้องกับสีขาวของแคลเซียมออกไซด์ที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพที่ 5

ภาพที่ 4 ภาพถ่ายเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 นาที (ก) 10 นาที (ข) 15 นาที (ค) 20 นาที (ง) และ 25 นาที (จ)



ภาพที่ 5 การวิเคราะห์ความเข้มสีในระบบ RGB จากภาพถ่ายเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 นาที (ก) 10 นาที (ข) 15 นาที (ค) 20 นาที (ง) และ 25 นาที (จ) ด้วยโปรแกรม Image J

ลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 5 10 15 20 และ 25 นาที ดังภาพที่ 6 พบว่าเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนเป็นระยะเวลา 5 10 15 และ 20 นาที มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สอดคล้องกับรูปแบบของแคลเซียมคาร์บอเนตมีลักษณะของแคลไซต์ มีระนาบ (104) ระนาบการเลี้ยวเบนหลัก ซึ่งพบว่าความเข้มของระนาบเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 5 นาที เป็น 10 นาที และเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 15 และ 20 นาที พบว่าความเข้มของระนาบหลักลดลง หมายถึงลักษณะทางโครงสร้างของแคลเซียมคาร์บอเนตลดลง การลดลงของผลึกแคลเซียมคาร์บอเนต เป็นช่วงรอยต่อของการเริ่มมีการเปลี่ยนลักษณะทางโครงสร้างไปเป็นโครงสร้างของแคลเซียมออกไซด์ และที่ระยะเวลา 25 นาที พบว่าระนาบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องกับรูปแบบของแคลเซียมคาร์บอเนตเหลือลดลงอย่างเห็นได้ชัด และเกิดรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ระนาบการเลี้ยวเบนที่ (111) (200) และ (220) ตรงกับมุม 32.35 37.53 และ 54.06 องศา ตามลำดับ ตรงกับฐานข้อมูลมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 01-077-2010 ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบของแคลเซียมออกไซด์ ซึ่งผลของลักษณะทางโครงสร้างของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สอดคล้องกับผลของการเกิดสี

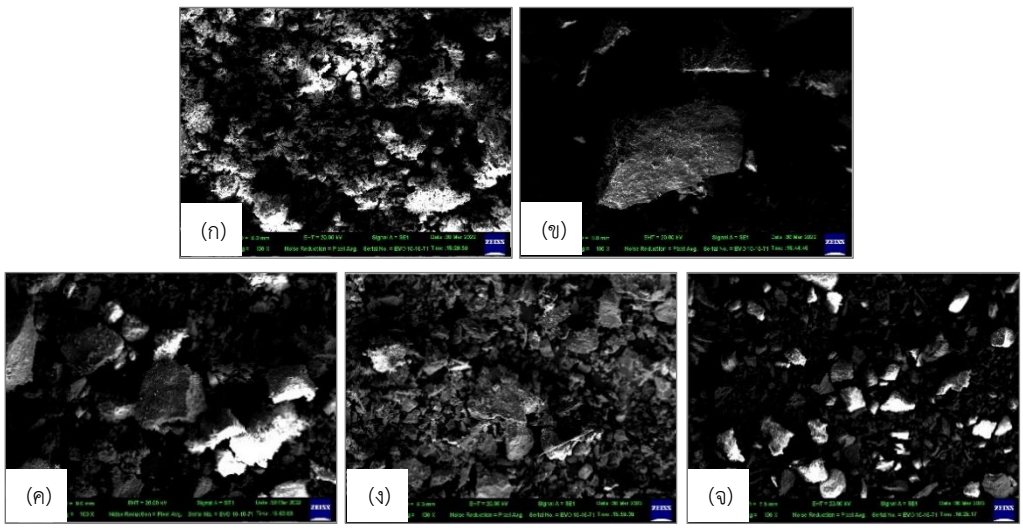


ภาพที่ 6 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 5 10 15 20 และ 25 นาที

3. ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ

ลักษณะสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน พบว่าอนุภาคเปลือกไข่ไก่มีขนาดเล็กและมีรูปร่างที่แตกต่างกัน เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟเพิ่มขึ้นเป็น 20 นาที พบว่าอนุภาคมีการรวมตัวกันเล็กน้อย และเมื่อให้ความร้อนแก่เปลือกไข่ไก่ที่ระยะเวลา 25 นาที พบว่าลักษณะอนุภาคมีความสม่ำเสมอ มีความพรุนและการกระจายตัวเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 7) ซึ่งมาจากการสลายตัวของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สอดคล้องกับสมการการเสื่อมสลายโครงสร้างผลึกแบบแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ (Park *et al.*, 2007) เมื่อได้รับความร้อน ดังสมการ

$$CaCO_3 \xrightarrow{\text{ความร้อน}} CaO + CO_2$$



ภาพที่ 7 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ที่ระยะเวลา 5 นาที (ก) 10 นาที (ข) 15 นาที (ค) 20 นาที (ง) และ 25 นาที (จ)

สอดคล้องกับกลุ่มวิจัยของ Wei *et al.* (2009) พบว่าที่อุณหภูมิการเผาต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียส ขนาด รูปร่างและโครงสร้างจะคล้ายกับโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่ตามธรรมชาติ ที่อุณหภูมิสูงกว่า 700 องศาเซลเซียส ขนาดของอนุภาคลดลงและรูปร่างของอนุภาคมีความสม่ำเสมอและโครงสร้างเปลือกไข่ไก่เกิดจากการเปลี่ยนแปลง จึงกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาในการเผา เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นและระยะเวลาการเผาที่ยาวนานขึ้นการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นแคลเซียมออกไซด์จะสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขนาดผลึกของเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 5 10 15 20 และ 25 นาที คำนวณจากตำแหน่งสูงสุดของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มุมการเลี้ยวเบน 29.5 องศาและจากตำแหน่งสูงสุดของแคลเซียมออกไซด์ที่มุมการเลี้ยวเบน 37.53 องศา พบว่าความเป็นผลึกของเปลือกไข่ไก่เพิ่มขึ้นจาก 91.22 เป็น 96.60 นาโนเมตร ที่ระยะเวลา 10 นาที และความเป็นผลึกของเปลือกไข่ไก่ลดลงเป็น 77.03 และ 68.63 นาโนเมตร เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนแก่เปลือกไข่ไก่เพิ่มขึ้นเป็น 15 และ 20 นาที ตามลำดับ โดยที่ระยะเวลา 25 นาที ความเป็นผลึกที่คำนวณจากระนาบ 104 มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 59.83 นาโนเมตร แต่ในขณะเดียวกันความเป็นผลึกที่คำนวณจากระนาบ 200 ซึ่งสอดคล้องกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแคลเซียมออกไซด์ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 82.88 นาโนเมตร

การอภิปรายผลการวิจัย

โดยทั่วไปแล้วเปลือกไข่ไก่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักเปลือกแห้ง (Stadelman, 2000) เมื่อเปลือกไข่ไก่ได้รับความร้อนจะส่งผลให้สารประกอบอินทรีย์ในเปลือกไข่ไก่เกิดการเสื่อมสลาย ดังนั้นเมื่อเปลือกไข่ไก่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้าแตกต่างกันจึงส่งผลให้สีของเปลือกไข่ไก่เข้มขึ้น (Tangboriboon *et al.*, 2012)

เมื่อกำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟเพิ่มขึ้นเป็น 400 560 และ 800 วัตต์ ซึ่งเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที มีความเป็นผลึกสูงสุดและมีลักษณะของแคลไซต์ เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟมีอัตราการให้ความร้อนเร็วและสม่ำเสมอ การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความร้อนภายในเปลือกไข่ไก่ทำให้สังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนตจากเปลือกไข่ไก่ได้รวดเร็วและมีผลในการปรับปรุงคุณภาพความเป็นผลึก สังเกตได้จากตำแหน่งสูงสุดของแคลเซียมคาร์บอเนตที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ มีความคมชัดและความเข้มสูงสุด (Stadelman, 2000) สอดคล้องกับภาพที่ 1

เมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ แก่เปลือกไข่ไก่จาก 5 นาที เป็น 10 15 20 และ 25 นาที พบว่าที่ระยะเวลา 25 นาที เปลือกไข่ไก่เปลี่ยนเป็นสีขาวและมีสีเทาเจือปนอยู่เล็กน้อย สีเทาที่เจือปนอยู่เล็กน้อยในตัวอย่างนี้อาจเกิดจากการเสื่อมสลายที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบอินทรีย์ในเปลือกไข่ไก่ (วิมลลักษณ์ และคณะ, 2554)

จากผลการศึกษาพบว่าเปลือกไข่ไก่ที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ เป็นระยะเวลา 25 นาที ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในเปลือกไข่ไก่ได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่ไก่เปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ไม่สมบูรณ์ในระหว่างการสังเคราะห์ จึงพบระนาบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ 2 เฟส คือ เฟสหลักเป็นแคลเซียมออกไซด์ และเฟสรองเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต สอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของเปลือกไข่ไก่

แต่อย่างไรก็ตามอิทธิพลของความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟ ก็ยังสามารถเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่ จากโครงสร้างที่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตให้เป็นแคลเซียมออกไซด์ได้ โดยใช้เวลา 25 นาที กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์

สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษากำลังไฟฟ้าของเตาไมโครเวฟและระยะเวลาการให้ความร้อนที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพ และลักษณะทางโครงสร้างจากแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นแคลเซียมออกไซด์ของเปลือกไข่ไก่ พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าเป็น 800 วัตต์ ลักษณะทางกายภาพของเปลือกไข่ไก่เปลี่ยนไป คือ มีสีที่เข้มขึ้น เนื่องจากการเสื่อมสลายของสารประกอบอินทรีย์เมื่อได้รับความร้อน โดยกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแปรผันตรงกับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเตาไมโครเวฟ (สมศักดิ์ และคณะ, 2550) เมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 10 นาที พบว่าเปลือกไข่ไก่มีโครงสร้างเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตลักษณะของแคลไซต์ซึ่งเสถียรที่สุดทางอุณหพลศาสตร์ของแคลเซียมคาร์บอเนต เช่นเดียวกับแคลเซียมคาร์บอเนตเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในอุตสาหกรรม (Murakami *et al.*, 2007) และมีความเป็นผลึกสูงสุดเท่ากับ 96.60 นาโนเมตร เมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนเป็น 25 นาที พบว่าเปลือกไข่ไก่เปลี่ยนโครงสร้างเป็น

แคลเซียมออกไซด์ได้แม้จะไม่สมบูรณ์ แต่มีความเป็นผลึกสูงสุดถึง 82.88 นาโนเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับการเตรียมแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่โดยใช้เตาเผา พบว่าต้องให้ความร้อนแก่เปลือกไข่ไก่เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่ 900 องศาเซลเซียส จึงทำให้เปลือกไข่ไก่เปลี่ยนโครงสร้างเป็นแคลเซียมออกไซด์ (สุภกร, 2558) การเปลี่ยนโครงสร้างของเปลือกไข่ไก่โดยใช้เตาไมโครเวฟใช้เวลาสั้นกว่า เนื่องจากความร้อนที่เปลือกไข่ไก่ได้รับจากคลื่นไมโครเวฟเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นภายในวัสดุอย่างทั่วถึง การทะลุผ่านของคลื่นไมโครเวฟส่งผลให้ความร้อนภายในวัสดุเกิดขึ้นได้อย่างสม่ำเสมอทั้งปริมาตรและรวดเร็ว ระยะเวลาในการสังเคราะห์จึงสั้นกว่ากระบวนการอื่น แม้การเปลี่ยนโครงสร้างจะเกิดอย่างไม่สมบูรณ์

ข้อเสนอแนะ

ถ้าเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟอีกเล็กน้อย น่าจะสามารถสังเคราะห์โครงสร้างของแคลเซียมออกไซด์จากเปลือกไข่ไก่ด้วยเตาไมโครเวฟได้อย่างสมบูรณ์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ (บางคล้า) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ ที่สนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

วิมลลักษณ์ สุตะพันธ์ ยุพาพร รักสกุลพิวัฒน์ และนิธินาถ ศุภกาญจน์. (2554). การเตรียมพอลิเมอร์คอมโพสิทจากเปลือกไข่ไก่. *รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยสุรนารี.* นครราชสีมา.

สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และดวงเดือน อาจองค์. (2550). การอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง. *วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา*, 18(1), 63-69.

สุภกร บุญยืน มณฑา มาลัยทอง และอภิสิทธิ์ โพธิ์แก้ว. (2558). การสลายตัวของแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอย. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี,* 4(2), 115-122*,* doi: https://doi.org/10.14456/tjst.2015.10.

Asra, D.Y., Sari, Y.W. and Kiagus, D. (2018). Effect of microwave irradiation on the synthesis of carbonated hydroxyapatite (CHA) from chicken eggshell. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science,* 187(1)*,* doi: https://doi.org/10.1088/1755-1315/187/1/012016.

Cho, Y.B. and Seo, G. (2010). High activity of acid-treated quail eggshell catalysts in the transesterification of palm oil with methanol. *Bioresource Technology,* 101(22), 8515-8519, doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.082.

Laca, A., Laca, A. and Díaz, M. (2017). Eggshell waste as catalyst: A review. *Journal of Environmental Management,* 197, 351-359*,* doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.088.

Li, Y., He, X., Hu, H., Zhang, T., Qu, J. and Zhang, Q. (2018). Enhanced phosphate removal from wastewater by using in situ generated fresh trivalent Fe composition through the interaction of Fe(II) on $CaCO_3$. *Journal of Environmental Management,* 221, 38-44*,* doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.018.

Murakami, F.S., Rodrigues, P.O., de Campos, C.M.T. and Silva, M.A.S. (2007). Physicochemical study of $CaCO_3$ from egg shells*. Ciência e Tecnologia de Alimentos,* 27(3), 658-662*,* doi: https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000300035.

Park, H.J, Jeong, S.W., Yang, J.K., Kim, B.G. and Lee, S.M. (2007). Removal of heavy metals using waste eggshell. *Journal of Environmental Sciences,* 19(12), 1436-1441*,* doi: https://doi.org/10.1016/s1001-0742(07)60234-4.

Stadelman, W.J. (2000). Eggs and egg products. In Francis, F.J. (ed.). *Encyclopedia of Food Science and Technology*, pp. 593-599. New York: John Wiley & Sons.

Tangboriboon, N., Kunanuruksapong, R. and Sirivat, A. (2012). Preparation and properties of calcium oxide from eggshells via calcination. *Materials Science Poland,* 30(4), 313-322*,* doi: https://doi.org/10.2478/s13536-012-0055-7.

Wei, Z., Xu, C. and Li, B. (2009). Application of waste eggshell as low-cost solid catalyst for biodiesel production. *Bioresource Technology,* 100(11), 2883-2885, doi: https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.039.