

AP59

การศึกษาชนิดและปริมาณของสารไบโอพอลิเมอร์ในการเตรียมเอนแคปซูลเลชันต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่  
ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด

Study on Types and Contents of Biopolymers for Encapsulation and Diffusivity Coefficient of  
Mangosteen Pericarp Extract

ณัฐพล ขจรบุญ\*, ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ\*, และณัฐฎิภา ศิลาฉาย

Nuttaphon Kajomboon\*, Tunyaporn Sirilert\*, and Nuttiga Silalai

ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม\*

\*ผู้ประสานงานหลัก อีเมล: tunyaporn.sir@siam.edu

บทคัดย่อ

เปลือกมังคุด (*Garcinia mangostana* Linn.) เป็นแหล่งสารแซนโทน (Xanthones) ที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระทางธรรมชาติที่สูง แต่เนื่องด้วยประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระสามารถเกิดการเสถียรภาพและลดลงได้ด้วยแสงหรือความร้อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาการกักเก็บสารสำคัญโดยใช้เทคนิคการเอนแคปซูลเลชันด้วยการห่อหุ้มสารสำคัญไว้ภายในโครงสร้าง โดยศึกษาการห่อหุ้มสารไบโอพอลิเมอร์ 2 ชนิดได้แก่ โซเดียมอัลจิเนต และ เวย์โปรตีน โดยแปรผันอัตราส่วนระหว่างโซเดียมอัลจิเนต : เวย์โปรตีน เท่ากับ 100:0, 50:50, 62:38 และ 0:100 ในระบบอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (o/w) โดยใช้ไขมันงาอ่อนซึ่งเป็นวัฏภาคน้ำมัน โดยพบว่าไม่มีความแตกต่าง ( $p>0.05$ ) ของค่าความคงตัวในทุกสิ่งทดลอง โดยให้ค่าความคงตัวสูง ไม่เกิดการแยกชั้นแล้วทำการเตรียมเอนแคปซูลเลชันสารสกัดจากเปลือกมังคุดแบบอนุภาคทรงกลม (Spherical) จากการศึกษาประสิทธิภาพในการปลดปล่อยพบว่า เมื่ออัตราส่วนของเวย์โปรตีนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การปลดปล่อยของสารสกัดจากเปลือกมังคุดลดลง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าชนิดและอัตราส่วนของสารไบโอพอลิเมอร์ที่ใช้มีส่งผลต่อการกักเก็บและควบคุมการปลดปล่อยของสารสำคัญในโครงสร้างไว้ได้

**คำสำคัญ:** สารไบโอพอลิเมอร์, เวย์โปรตีน, โซเดียมอัลจิเนต, เอนแคปซูลเลชัน, สเฟียร์คอลล

Abstract

Mangosteen pericarp (*Garcinia mangostana* Linn.) is a source of xanthones, which are high efficiency of natural antioxidant. However, xanthones can be degraded due to light and heat. Therefore, the improvement or development of encapsulation using different types and contents of biopolymers was conducted in the present study. The objective of this study was to investigate stability of emulsion (oil-in-water emulsion) systems with the different types of two biopolymers (sodium alginate and whey protein concentrate) at different ratios (100:0, 50:50, 62:38, and 0:100), which was showed no significantly ( $p>0.05$ ) effect of emulsion stability and encapsulation efficiency. In the present study, perilla oil was used as a disperse phase, while mangosteen pericarp extract was sensitive ingredient dissolve in perilla oil. Sodium alginate used as a carrier for spherical encapsulation showed low encapsulation efficiency, while whey protein showed high encapsulation efficiency observed from the  $k$  value. This study indicated that biopolymer types and biopolymer contents used resulted in encapsulation efficiency and control-release of encapsulation systems.

**Keywords:** Biopolymer, Whey Protein, Sodium Alginate, Encapsulation, Spherical

บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มและความสำคัญของการใช้สารสกัดจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นสารวิตามิน สารประกอบฟีนอล หรือสารต้านอนุมูลอิสระ (Wichukit, 2013) อย่างไรก็ตามสารสกัดจากธรรมชาติเหล่านี้ไม่สามารถใช้ได้โดยตรงในผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องจากอาจเกิดการเสื่อมสลายของสารสกัดจากธรรมชาติได้ ส่งผลให้ความสามารถต่างๆของสารสกัดจากธรรมชาติลดลง จึงได้มีการใช้สารไบโอพอลิเมอร์ช่วยในการป้องกันสารสกัดจากธรรมชาติ โดยงานวิจัยของ Wichchukit, Oztop,

McCarthy และ McCarthy (2013) มีการใช้โปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ในการทำเอ็นแคปซูลเลชัน โดยใช้สารไบโอพอลิเมอร์ 2 ชนิดคือ เวย์โปรตีนและโซเดียมอัลจิเนต ซึ่งมีผลช่วยในเรื่องของการกักเก็บสารสำคัญได้

การใช้อัลจิเนตนี้เนื่องจากสามารถเกิดเป็นเม็ดเจลได้ง่ายในสารละลายที่ปราศจากสารอินทรีย์และอุณหภูมิห้อง (Kikuchi et al., 1999) โดยการหยดอัลจิเนตลงในสารละลายที่มีไอออนของแคลเซียม โดยส่วนมากนิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์ เจลจากอัลจิเนตจะไม่ผันกลับเมื่อโดนความร้อน เวย์โปรตีนที่ได้จากโรงงานผลิตชีสมีการใช้อย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์อาหารเนื่องด้วยมีคุณค่าทางโภชนาการและยังสามารถเกิดเจล, อิมัลชันไฟเออร์ และสารก่อโฟม (Wichukit, 2013)

มังคุด (*Garcentia mangostana* Linn.) จัดเป็นพืชสมุนไพรอีกชนิดหนึ่ง มีสรรพคุณในการบำบัดรักษาโรค โดยเฉพาะในส่วนของเปลือกมังคุดมีสารสำคัญจำพวกแซนโทน (xanthones) ได้แก่  $\alpha$ -mangostin ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของแซนโทน โดยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง รวมถึงต้านแบคทีเรียและเชื้อราได้หลายชนิด (พิเชษฐ์, 2531)

อย่างไรก็ตามการทำเอ็นแคปซูลเลชันไม่ได้มีแค่ในอุตสาหกรรมอาหารเท่านั้น แต่อุตสาหกรรมอื่นก็สามารถทำได้ เช่น อุตสาหกรรมยา, อุตสาหกรรมเสริมความงาม หรืออุตสาหกรรมเคมี ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่ ไขมันและน้ำมัน วิตามิน สารให้สี หรือแม้กระทั่งเอนไซม์ จะถูกเอ็นแคปซูลเลชันเพื่อจุดประสงค์ที่แตกต่างกันไป เช่น เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน เพื่อป้องกันสารสำคัญถูกย่อยในกระเพาะอาหาร หรือเพื่อกักเก็บสารสำคัญให้อยู่ได้นานมากขึ้น เป็นต้น ในปัจจุบันมีอาหารหลายประเภทที่ใช้เทคโนโลยีเอ็นแคปซูลเลชันในการผลิต อาทิ หมากฝรั่งที่ช่วยในการปลดปล่อยกลิ่นได้ในขณะเคี้ยว ทำให้กลิ่นอยู่ได้นานมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการศึกษาระบบอิมัลชันของสารไบโอพอลิเมอร์ และความสามารถของสารไบโอพอลิเมอร์ในการกักเก็บและปลดปล่อยสารสำคัญที่ทำมาจากเวย์โปรตีนและอัลจิเนต

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1) การเตรียมสารไบโอพอลิเมอร์ (Biopolymer preparation)

ใช้ตามวิธีของ Wichukit et al. (2013) โดยศึกษาชนิดของสารไบโอพอลิเมอร์ 2 ชนิดคือโซเดียมอัลจิเนตและเวย์โปรตีน แปรผันอัตราส่วนระหว่างโซเดียมอัลจิเนต : เวย์โปรตีน เท่ากับ 100:0 50:50 62:38 และ 0:100 โดยแบ่งการเตรียมสารละลายออกเป็น 2 ส่วน คือสารละลายเวย์โปรตีนเข้มข้น (Whey protein concentrate, WPC) เตรียมความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักในน้ำกลั่น กวนเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดการละลายที่สมบูรณ์ จากนั้นทำการเจือจางเวย์โปรตีนเข้มข้น (WPC) จนได้ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก นำมาให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นและเก็บที่อุณหภูมิห้อง และสารละลายโซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate, Na-Al) เตรียมความเข้มข้นร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนักในน้ำกลั่น จนกระทั่งละลายหมด ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้เกิดการละลายที่สมบูรณ์ ทำการผสมสารไบโอพอลิเมอร์ 2 ชนิดโดยใช้อัตราส่วนดังตารางที่ 1 เพื่อใช้เตรียมอิมัลชันต่อไป

**ตารางที่ 1** อัตราส่วนระหว่างโซเดียมอัลจิเนต (Sodium alginate; A) และเวย์โปรตีนเข้มข้น (Whey protein concentrate; W) ในการเตรียมสารไบโอพอลิเมอร์ (Biopolymer)

Treatment	Sodium alginate (%)	Whey protein concentrate (%)
0A:100W	0	100
50A:50W	50	50
62A:38W	62	38
100A:0W	100	0

### 2) การเตรียมอิมัลชัน (Emulsion preparation)

ดัดแปลงจากวิธีของ Wichukit et al. (2013) โดยศึกษาการเตรียมอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (o/w emulsion) โดยใช้น้ำมันงาม้อนเป็นวัฏภาคน้ำมัน และสารละลายไบโอพอลิเมอร์ในตารางที่ 1 เป็นวัฏภาคน้ำ โดยแต่ละสิ่งทดลองใช้ปริมาณสารละลายไบโอพอลิเมอร์ผสมร้อยละ 90 โดยน้ำหนักและปริมาณน้ำมันงาม้อนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปั่นผสมรวมกับสารสกัดจากเปลือกมังคุดในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ด้วยเครื่องกวนผสม (Agitator mixer) ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที และนำไปโฮโมจีไนเซชัน (Homogenization) ที่ความเร็วรอบ 19,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 นาที 30 วินาที นำไปวิเคราะห์ค่าคงตัวของอิมัลชันต่อไป

### 3) ศึกษาชนิดและปริมาณของสารไบโอพอลิเมอร์ต่อความคงตัวของระบบอิมัลชัน (Emulsion stability)

ดัดแปลงจากวิธีของ Leonardo and Roos (2011) โดยนำอิมัลชันใสในหลอดทดลองที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.9 เซนติเมตร สูง 14.5 เซนติเมตร ประมาณ 15 กรัม วัดความสูงทั้งหมดของอิมัลชัน ( $H_0$ ) จากนั้นเก็บอิมัลชันที่ 4 องศาเซลเซียส สังเกตการแยกชั้นพร้อมวัดความสูง ( $H_t$ ) จากนั้นนำค่ามาคำนวณจากสูตร

$$\% \text{ creaming index} = (H_t / H_0) \times 100$$

### 4) ศึกษาวิธีการเอนแคปซูลชันแบบอนุภาคทรงกลมต่อประสิทธิภาพในการแพร่ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด

เตรียมอิมัลชันแต่ละสิ่งทดลอง และทำการเอนแคปซูลชันแบบอนุภาคทรงกลม (spherical) โดยการหยดสารละลายอิมัลชันลงในสารละลาย 0.25 M  $\text{CaCl}_2$  ปริมาตร 200 มิลลิลิตรที่มีการกวนอยู่ตลอดเวลาด้วยความเร็วปานกลาง เพื่อให้อิมัลชันเป็นอนุภาคทรงกลม จากนั้นนำเม็ดอนุภาคทรงกลมกวนต่อในสารละลาย  $\text{CaCl}_2$  เป็นเวลา 45 นาที เมื่อได้เม็ดอนุภาคทรงกลมนำเม็ดอนุภาคทรงกลมจำนวน 1 กรัมนำไปใส่ในบีกเกอร์แก้ว ( $d = 72 \text{ mm}$ ) ที่มีกรดไฮโดรคลอริก  $\text{pH} = 1.2$  ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิในการกวนเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 100 รอบต่อนาทีโดยใช้แท่งแม่เหล็กกวน ( $d = 7.5 \text{ mm}$ ,  $l = 48.3 \text{ mm}$ ) และศึกษาประสิทธิภาพในการแพร่สารสกัดจากเปลือกมังคุด โดยดึงตัวอย่างของแต่ละสิ่งทดลองมาปริมาณ 2 มิลลิลิตร ในระยะเวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที (โดยการดึงสารละลายออกมาจะถูกเติมกลับไป 2 มิลลิลิตรด้วยกรดไฮโดรคลอริก  $\text{pH} = 1.2$ ) จากนั้นตัวอย่างจะนำมาวิเคราะห์ค่า DPPH และ ABTS เพื่อหาประสิทธิภาพของการแพร่ของสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่แพร่ออกมา โดยวัดปริมาณ DPPH-radical scavenging และ ABTS-radical scavenging ในรูปของ Antioxidant activity ดังต่อไปนี้

#### a) 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) Radical Scavenging Activity

DPPH Radical Scavenging Activity ใช้ตามวิธีของ Suvarnakuta et al. (2011) เตรียมสาร 100  $\mu\text{M}$  DPPH ในสารละลายเอทานอล จากนั้นนำตัวอย่างปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มี 100  $\mu\text{M}$  DPPH ปริมาตร 3.9 มิลลิลิตร นำไปเขย่าด้วยเครื่อง Vortex เป็นเวลา 10 วินาที ทิ้งไว้ในที่มีอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 540 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV-Vis spectrophotometer และสารละลายเอทานอลบริสุทธิ์ในการสอบเทียบมาตรฐาน

#### b) 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid) (ABTS)

ABTS ใช้วิธีของ Suvarnakuta et al. (2011) สารละลาย ABTS<sup>+</sup> ทำได้โดยการผสมสารละลาย 7 mM ABTS กับสารละลาย 2.45 mM Potassium persulfate ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) ที่ 12 – 16 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์จนได้สารละลายสีน้ำเงินเข้ม (สารมีความเสถียร 2 วัน) นำมาเจือจางด้วยสารละลายเอทานอลบริสุทธิ์จนได้ค่าการดูดกลืนแสง 0.7 ที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร นำ 1 มิลลิลิตรของ ABTS<sup>+</sup> ใส่ลงใน 0.02 มิลลิลิตรของตัวอย่าง นำไปเขย่าด้วยเครื่อง Vortex เป็นเวลา 10 วินาทีที่ทิ้งไว้ในที่มี 1 นาทีนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตรทันที ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer และใช้สารละลายเอทานอลบริสุทธิ์ในการสอบเทียบมาตรฐาน

ทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การแพร่ จากสมการ Fick' law ดังนี้ (ดัดแปลงจากวิธีของ Wichukit et al., 2013)

$$(M_t - M_\infty) / (M_0 - M_\infty) = \exp^{-k_2t}$$

โดยที่  $M_t$  คือ สารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ออกมาที่เวลา  $t$  (min)

$M_\infty$  คือ ปริมาณสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ออกมาที่เวลา  $\infty$  (min)

$M_0$  คือ สารที่เวลา 0 (min)

อธิบายปริมาณสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่แพร่มาจากค่าความชัน (slope) เมื่อเทียบกับเวลา (นาที)

#### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

##### 1) ศึกษาชนิดและปริมาณของสารไบโอพอลิเมอร์ต่อความคงตัวของระบบอิมัลชัน (Emulsion stability)

จากการทดลอง พบว่าอัตราส่วนของไบโอพอลิเมอร์ระหว่างโซเดียมอัลจิเนตและเวย์โปรตีนในทุกสิ่งทดลองสามารถเกิดอิมัลชันชนิด oil-in-water โดยให้ความคงตัวสูงในทุกสิ่งทดลองซึ่งให้ลักษณะปรากฏไม่เกิดการแยกชั้น ทั้งนี้เนื่องจากเวย์โปรตีนและโซเดียมอัลจิเนตมีความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ได้ จึงสามารถช่วยในระบบอิมัลชันมีความคงตัว ไม่เกิดการแยกชั้น

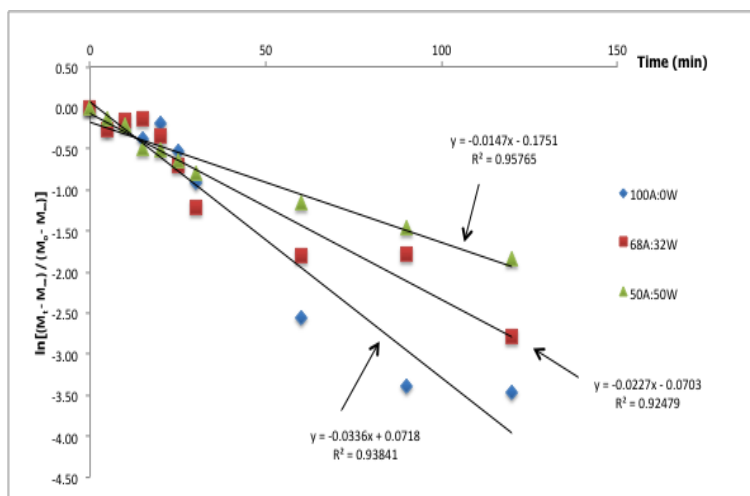
##### 2) ศึกษาวิธีการเอนแคปซูลชันแบบอนุภาคทรงกลมต่อประสิทธิภาพในการแพร่ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด

ค่า  $k$  ที่ได้จากการคำนวณสามารถนำมาใช้อธิบายการประสิทธิภาพแพร่ของสารสกัดจากเปลือกมังคุดโดยใช้สารไบโอพอลิเมอร์ที่แตกต่างกันในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 2) โดยพบว่าค่า  $k$  ของ ตัวอย่าง 50A:50W 62A:38W และ 100A:0W เท่ากับ 0.0174 0.0291 และ 0.0302 ตามลำดับ ด้วยการใช้วิธี DPPH และมีค่าเท่ากับ 0.0147 0.0227 และ 0.0336 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี ABTS ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่า  $k$  มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณอัลจิเนต (A) เพิ่มขึ้นหรือเวย์โปรตีน (W) ลดลง โดยตัวอย่างที่ปราศจากเวย์โปรตีน (100A:0W) จะมีค่า  $k$  สูงสุดคือ 0.0302 (DPPH) และ 0.0336 (ABTS) ในขณะที่ตัวอย่างที่มีการเติมโซเดียมอัลจิเนต

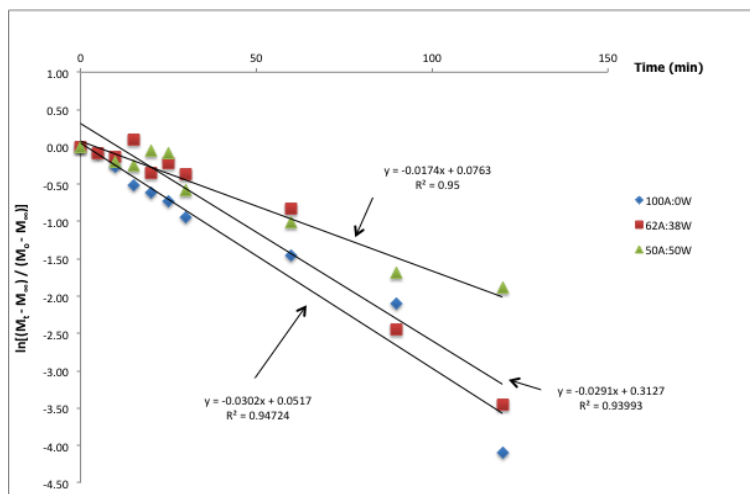
และเวทย์โปรตีนเท่ากัน (50A:50W) จะมีค่า k ต่ำสุดคือ 0.0174 (DPPH) และ 0.0147 (ABTS) ดังนั้นค่า k ชี้ให้เห็นว่า Antioxidant activity (DPPH and ABTS) ของตัวอย่างที่ปราศจากเวทย์โปรตีน (100A:0W) ลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการปลดปล่อยของสารไบโอพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทำแอนแคปซูลชัน ทำให้สารสกัดจากเปลือกมังคุดถูกปลดปล่อยออกมาได้เร็วและมาก ส่งผลให้เกิดการออกซิเดชันได้มากเช่นกัน ในขณะที่ Antioxidant activity (DPPH and ABTS) ของตัวอย่างที่มีการเติมโซเดียมอัลจิเนต และเวทย์โปรตีนเท่ากัน (50A:50W) ลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากการปลดปล่อยของสารไบโอพอลิเมอร์ที่ใช้ในการทำแอนแคปซูลชัน ทำให้สารสกัดจากเปลือกมังคุดถูกปลดปล่อยออกมาได้น้อย ส่งผลให้เกิดการออกซิเดชันได้น้อยนั่นเอง อันเนื่องมาจากการเกิดเจลของโซเดียมอัลจิเนต เพราะโซเดียมอัลจิเนตสามารถทำปฏิกิริยากับ  $Ca^{2+}$  เกิดโครงสร้างของเจลมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ที่เรียกว่า “Egg box” (Chen and Subirade, 2007) จึงสามารถห่อหุ้มสารสกัดเปลือกมังคุดไว้ข้างในโครงสร้างได้และเวทย์โปรตีนมีความสามารถในการเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ซึ่งช่วยทำให้เกิดการกักเก็บสารสำคัญไว้ในโครงสร้างได้ ทำให้สารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ละลายในวัฏภาคไขมันสามารถอยู่ในโครงสร้างได้นานมากขึ้นจึงทำให้เมื่ออุณหภูมิมีการปลดปล่อยสารสำคัญที่ลดลง

ตารางที่ 3 แสดงถึงสัมประสิทธิ์การแพร่ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด

Treatment	k (DPPH)	r <sup>2</sup>	k (ABTS)	r <sup>2</sup>
50A : 50W	0.0174	0.95000	0.0147	0.95765
62A : 38W	0.0291	0.93993	0.0227	0.92479
100A : 0W	0.0302	0.94724	0.0336	0.93841



ภาพที่ 1 สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร



ภาพที่ 2 สัมประสิทธิ์การแพร่ของสาร DPPH

## สรุป

การพัฒนากระบวนการกักเก็บสารสำคัญสามารถปรับปรุงหรือพัฒนาโดยใช้เทคนิคการเอนแคปซูเลชันด้วยการห่อหุ้มสารสำคัญไว้ภายในโครงสร้างด้วยระบบอิมัลชันน้ำมันในน้ำ ของสารไบโอพอลิเมอร์ผสมระหว่างโซเดียมอัลจิเนตและเวย์โปรตีน ที่ให้ค่าความคงตัวสูง ไม่เกิดการแยกชั้น การเตรียมเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากเปลือกมังคุดแบบอนุภาคทรงกลม (Spherical) ศึกษาประสิทธิภาพในการปลดปล่อยพบว่า เมื่ออัตราส่วนของเวย์โปรตีนเพิ่มขึ้น จะช่วยให้การปลดปล่อยของสารสกัดจากเปลือกมังคุดลดลง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าชนิดและอัตราส่วนของสารไบโอพอลิเมอร์ที่ใช้ ส่งผลต่อการกักเก็บและควบคุมการปลดปล่อยของสารสำคัญในโครงสร้างไว้ได้

## เอกสารอ้างอิง

- นิธิยา รัตนานพนธ์. 2553. เคมีอาหาร. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.
- พิเชษฐ์ วิริยจิตรา. 2531. สารสกัดจากเปลือกมังคุด สุดยอด ปลอดภัย. มติชนรายวัน. (23 ตุลาคม 2531): 4-5
- Betz, M. & Kulozik, U. Whey protein gels from the entrapment of bioactive anthocyanins from bilberry extract. *International Dairy journal*, 21(1), 703-710.
- Chen, L., & Subirade, M. (2007). Effect of preparation conditions on the nutrient release properties of alginate-whey protein granular microspheres, *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 65(1), 354-362.
- Kikuchi, A., Kawabuchi, M., Watanabe, A., Sugihara, M., Sakurai, Y. & Okano, T. (1999). Effect of Ca<sup>2+</sup> -alginate gel dissolution on release of dextran with different molecular weights. *Journal of Controlled Release*, 58(1), 21-28.
- Leonardo, C., & Roos, Y.H. (2011). Stability of beta-Carotene in Protein-Stabilized Oil-in-Water Delivery Systems. *Food Chemistry*, 59(13), 7013-20.
- Matalanis, A., Jones, O.G. & McClements, D.J. (2011). Structured biopolymer-based delivery systems for encapsulation, protection, and release of lipophilic compounds. *Food Hydrocolloids*, 25(1), 1865-1880.
- Suvarnakuta, P., Chaweerungrat, C. and Devahastin, S. (2011). Effect of drying methods on assay and antioxidant activity of xanthones in mangosteen rind. *Food Chemistry* 125: 240-247.
- Wichchukit, S., Oztop, M.H., McChathy, M.J. & McChathy, K.L. (2013). Whey protein/alginate beads as carriers of a bioactive component. *Food Hydrocolloids*, 33(1), 66-73.