อภินันทนาการ

สัญญาเลขที่ R2559C110

สำนักหอสมุด

รายงานฉบับสมบูรณ์

ผลของการทำเอนแคปซูเลชัน ของสารสกัดใบโหระพา (*Ocimum basilicum* L.) ต่อการเกิดออกซิเดชันในอาหารระหว่างการเก็บรักษา

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิติพงศ์ จิตรีโภชน์

รองศาสตราจารย์ กมลวรรณ โรจน์สุนทรกิตติ

รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรพร กงบังเกิด

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร

วันลงทะเบียน 22 มี.ค. 2565

เลขทะเบียน 1049849

เลขเรียกหนังสือ ว RS 201 .C3 น548ร 2563

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ให้ทุนสนับสนุนวิจัยงบประมาณรายได้ ประจำปี 2559 จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีมาจากรายงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบและอุทิศแด่ผู้มีประคุณทุก ๆ ท่าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้ประโยชน์ทางการเผยแพร่ความรู้แก่ผู้ประกอบการและผู้สนใจต่อไป

นิติพงศ์ จิตรีโภชน์

ชื่อเรื่อง	**ผลของการทำเอนแคปซูเลชันของสารสกัดใบโหระพา (*Ocimum basilicum* L.) ต่อการเกิดออกซิเดชันในอาหารระหว่างการเก็บรักษา**
ผู้วิจัย	**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิติพงศ์ จิตรีโภชน์** **รองศาสตราจารย์ ดร. ธีรพร กงบังเกิด** **รองศาสตราจารย์ กมลวรรณ โรจน์สุนทรกิตติ**
คำสำคัญ	**เอนแคปซูเลชั่น โหระพา การต้านออกซิเดชั่น**

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาผลของการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพา (*Ocimum basilicum* L.) ต่อการเกิดออกซิเดชั่นในมายองเนสระหว่างการเก็บรักษา จากการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดใบโหระพา มีค่า 21.41±0.05 mg GAE ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระศึกษาโดยวิธี DPPH และ ABTS รายงานค่าในรูปของ IC_{50} มีค่า 4.78±0.01 mg/ml และ 2.90±0.14 mg/ml ตามลำดับ และมีปริมาณยูจีนอล 0.01±0.005 mg จากนั้นศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นโดยเปรียบเทียบสารเคลือบระหว่างโซเดียมอัลจิเนต และไคโตซานที่อัตราส่วนของสารเคลือบต่อสารสกัด คือ 1:0, 1:0.50, 1:0.25, 1:0.75, 1:1 และ 1:1.25 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแคปซูลที่ได้ ลักษณะของแคปซูลที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบเป็นทรงกลม ซึ่งการใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบลักษณะของแคปซูลไม่เป็นรูปร่าง ขนาดของแคปซูลที่ได้จากโซเดียมอัลจิเนตมีขนาดเล็กกว่า โดยมีขนาดอยู่ในช่วง 1.34±0.07 - 3.07±0.32 ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าการละลาย และอัตราการปลดปล่อยของแคปซูลไคโตซานสูงกว่าแคปซูลของโซเดียมอัลจิเนต ประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นของโซเดียมอัลจิเนตมากกว่าไคโตซานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพา คือ การใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบอัตราส่วน 1:0.25 (w/v)

การศึกษาอายุการเก็บรักษาของมายองเนสที่เติมแคปซูลของสารสกัดใบโหระพาที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบอัตราส่วน 1:0.25 (w/v) ร้อยละ 1, 2 และ 3 ของน้ำหนัก (w/w) เปรียบเทียบกับสารสกัดใบโหระพาที่ไม่ทำเอนแคปซูเลชั่นร้อยละ1 (v/w) และมายองเนสทางการค้าที่มีการเติมสารต้านออกซิเดชั่นสังเคราะห์ (EDTA 0.75 ppm) พบว่า ค่า L* และ b* มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะค่า a* ค่า pH และค่าความหนืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ของตัวอย่างที่เติมสารสกัดใบโหระพา และไม่ทำเอนแคปซูเลชั่นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่มายองเนสที่เติมสารสกัดใบโหระพาที่ผ่านการเอนแคปซูเลชั่นมีค่าลดลงอย่างช้าๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ค่าเปอร์ออกไซด์ของมายองเนสมีค่าเพิ่มขึ้นโดย พบว่าตัวอย่างที่เติมแคปซูลร้อยละ 3 มีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำที่สุด ($p<0.05$)

Title	**Effects of encapsulated sweet basil leaves (*Ocimum basilicum* L.) extract on lipid oxidation in food during storage**
Authors	**Assistant Professor Nitipong Jittrepotch, Ph.D.** **Associate Professor Teeraporn Kongbangkerd, Dr.nat.techn.** **Assistant Professor Kamonwan Rojsuntornkitti, M.S.**
Keywords	Encapsulation, *Ocimum basilicum* L. , Antioxidant

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the effect of encapsulated sweet basil leaves (*Ocimum basilicum* L.) extract on lipid oxidation in mayonnaise during storage in term of physicochemical properties. It was found that total phenolic content of sweet basil leaves extract were range 21.41±0.05 mg GAE. The antioxidant activities were analyzed by DPPH and ABTS assay. The results shown in term of the IC_{50} it's was 4.78±0.01 and 2.90±0.14 mg/ml, respectively. Eugenol in sweet basil leaves extract had 0.01±0.005 mg. After that the study of encapsulation were prepared with different wall material including sodium alginate and chitosan at different ratio between wall material and core material (1:0, 1:0.25, 1:0.50, 1:0.75, 1:1 and 1:0.25 (w/v). The physicochemical properties of encapsulated sweet basil leaves extract were analyzed. The morphology of the capsules using sodium alginate as wall material was spherical shape, while using chitosan was irregular shape. The size of sodium alginate capsules was smaller and particle side between 1.34±0.07 - 3.07±0.32 mm ($p<0.05$). The solubility and release of capsules by chitosan was higher than sodium alginate capsules ($p<0.05$). The encapsulation efficiency of sodium alginate capsule was higher than chitosan ($p<0.05$). Therefore, the optimal condition of encapsulation sweet basil leaves extract was 1:0.25 using sodium alginate as wall material.

The shelf life of mayonnaise added sweet basil leaves extract encapsulated by sodium alginate ratio 1:0.25 (w/v) at concentration 1,2 and 3% compared with non-encapsulation sweet basil leaves extract (1% v/w) and commercial mayonnaise (EDTA) The results show that L* and b* values increased when increasing storage time while a*, pH value and viscosity remained unchanged ($p>0.05$). The antioxidant activity of non-encapsulation decreased faster than encapsulation ($p<0.05$). Peroxide values were increased with the storage

time, while mayonnaise with sweet basil leaves extract encapsulated 3% (w/w) had the lower peroxide value when compared with non-encapsulation ($p<0.05$).

สารบัญ

หน้า

1 บทนำ..... 1

ความเป็นมาของปัญหา..... 1

จุดมุ่งหมายของการศึกษา..... 3

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 4

การเกิดออกซิเดชันในอาหาร..... 4

สารต้านออกซิเดชัน 6

โหระพา..... 9

ยูจีนอล..... 9

เอนแคปซูเลชั่น..... 10

เจลาติน..... 17

ไคโตซาน..... 18

มายองเนส..... 19

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 19

3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย..... 19

ตอนที่ 1 ศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดจากใบโหระพา..... 24

การเตรียมตัวอย่าง..... 24

ศึกษาอัตราส่วนที่เป็นผนังที่เหมาะสมในการทำเอนแคปซูเลชั่นด้วยวิธี coacervation..... 24

การวิเคราะห์ทางเคมี และกายภาพของการทำเอนแคปซูเลชั่น..... 25

การวิเคราะห์ทางสถิติ..... 45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ตอนที่ 2 ศึกษาการประยุกต์ใช้ในมายองเนส..... 27
การทำมายองเนส..... 28
การวิเคราะห์คุณภาพมายองเนส..... 28

4 ผลการวิจัย..... 29
ตอนที่ 1 ศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดจากใบโหระพา..... 29
ตอนที่ 2 ศึกษาการประยุกต์ใช้ในมายองเนส..... 38

5 บทสรุป..... 51
สรุปผลการวิจัย..... 51
ข้อเสนอแนะ..... 52

บรรณานุกรม..... 53

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	สารต้านอนุมูลอิสระจากพืชชนิดต่างๆ	8
2	เทคนิคที่ใช้ในการทำเอนแคปซูเลชั่น	11
3	คุณสมบัติของเจลาติน Type A และ Type B	18
4	ผลของการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณยูจีนอลของสารสกัดใบโหระพา	29
5	ประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นของสารสกัดใบโหระพาที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตและไคโตซานเป็นสารเคลือบกับการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสารเคลือบกับสารสกัดใบโหระพา	31
6	ขนาดของอนุภาคแคปซูลของการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพาที่ความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบกับสารสกัดใบโหระพา	32
7	การละลายของแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพาที่ใช้สารเคลือบที่แตกต่างกันและอัตราส่วนของสารสกัดใบโหระพาที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน	36

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1	ขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ	4
2	การเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ	5
3	ปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ	5
4	โครงสร้างของยูจีนอล	10
5	ลักษณะของแคปซูล	10
6	การจับตัวระหว่าง amphoteric polymer และ polyanion โดย electrostatic interaction	12
7	หลักการของการทำเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิค complex coacervation	13
8	โครงสร้างของ β-cyclodextrin	14
9	โครงสร้างของ lipid bilayer matric	15
10	การทำเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย	15
11	โครงสร้างของเจลาติน	17
12	โครงสร้างของไคโตซาน	19
13	ลักษณะของแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพา โดยใช้โซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นสารเคลือบความแตกต่างกันของอัตราส่วน wall/core material จากกล้อง stereo microscope กำลังขยาย 10 เท่า	34
14	ลักษณะของแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพา โดยใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2.5 เป็นสารเคลือบความแตกต่างกันของอัตราส่วน wall/core material จากกล้อง stereo microscope กำลังขยาย 10 เท่า	35
15	อัตราการปลดปล่อยสารสกัดใบโหระพาโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	37
16	อัตราการปลดปล่อยสารสกัดใบโหระพาโดยใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน	38
17	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C	39
18	การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C	40
19	การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C	40
20	การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C	41
21	การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
22	การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C	42
23	ค่าความหนืดของมายองเนสระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C	43
24	ค่าความหนืดของมายองเนสระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C	44
25	ค่าความเป็นกรด-เบสของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C	45
26	ค่าความเป็นกรด-เบสของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°	45
27	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบโหระพาในมายองเนสเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30องศาเซลเซียส ระยะเวลา 8 สัปดาห์	47
28	กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบโหระพาในมายองเนสเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40องศาเซลเซียส ระยะเวลา 8 สัปดาห์	47
29	ค่าเปอร์ออกไซด์ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C	49
30	ค่าเปอร์ออกไซด์ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C	50

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผลของการทำเอนแคปซูเลชันของสารสกัดใบโหระพา (*Ocimum basilicum* L.) ต่อการเกิดออกซิเดชันในอาหารระหว่างการเก็บรักษา

Effects of encapsulated sweet basil leaves (*Ocimum basilicum* L.) extract on lipid oxidation in food during storage

คำนำ

อาหาร คือสิ่งที่รับประทานเข้าไปเพื่อให้ประโยชน์ต่อร่างกาย อาหารมักมาจากพืช และสัตว์ มีส่วนประกอบหลักเป็นสารประกอบทางเคมี ทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ ตัวอย่าง เช่น น้ำ โปรตีน ลิพิด คาร์โบไฮเดรต แร่ธาตุ และวิตามิน เป็นต้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2551) การเสื่อมเสียของอาหารมักเกิดจากสาเหตุต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ การเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์ เป็นการเสื่อมเสียของอาหารที่มีสาเหตุหลัก คือ จุลินทรีย์ ได้แก่ แบคทีเรีย ยีสต์ หรือรา ซึ่งเกิดจากการปนเปื้อน และเพิ่มจำนวนขึ้นในอาหารทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ส่งผลให้คุณภาพของอาหารเปลี่ยนแปลงไปจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การเสื่อมเสียของอาหารทางกายภาพ เป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากแรงทางกายภาพ เช่น การแตกหัก การช้ำ ที่มีสาเหตุมากจากแรงกล (mechanical damage) ได้แก่ แรงกระแทก แรงอัด แรงเจาะ ในระหว่างการเก็บเกี่ยว การขนส่ง การแปรรูป และการเก็บรักษา และการเสื่อมเสียทางเคมี เป็นการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างส่วนประกอบของอาหาร ระหว่างอาหารกับบรรจุภัณฑ์ หรือระหว่างอาหารกับสภาพแวดล้อม การเสื่อมเสียทางเคมี ได้แก่ การเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) การเกิดการเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดการหืน (rancidity) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของไขมัน และน้ำมัน โดยเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอิสระ หรือที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในลิพิด หรืออาหารที่มีลิพิด ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นจะเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อลิพิดสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (free-radical chain reaction) ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

มายองเนสเป็นผลิตภัณฑ์อาหารประเภทซอสชนิดหนึ่งที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย (Critina et al., 2005) โดยมีลักษณะกึ่งแข็ง และเป็นอิมัลชันชนิด oil-in-water ที่ทำมาจากการผสมไข่ น้ำส้มสายชู น้ำมัน และเครื่องเทศ (J.A. Depree and G.P. Savage, 2001) ในระบบการเกิดวัฏภาคหลายวัฏภาค เกิดขึ้นจากหลายปัจจัย เช่น องค์ประกอบทางเคมี ลักษณะทางกายภาพของวัฏภาคน้ำ และน้ำมัน ชนิดของสารลดแรงตึงผิว และพื้นที่ผิววัฏภาคน้ำมัน (Silvestre et al., 2000 ; Nuchi et al., 2002) เนื่องจากมายองเนสเป็นอาหารที่มีไขมันสูงจึงมีการเสื่อมเสียที่สำคัญจากการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของมายองเนส เช่น การเปลี่ยนแปลงของสี และการเปลี่ยนแปลงสภาพของมายองเนส เนื่องจากอิมัลชันถูกทำลาย โดยทั่วไปสารต้านออกซิเดชันของไขมันที่นิยมใช้ คือ BHA, BHT และ TBHQ แต่สารสังเคราะห์นี้ พบว่าสามารถทำให้เกิดสารพิษ และเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคถ้าได้รับเข้าไปในร่างกายติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ปัจจุบันผู้บริโภคได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับสุขภาพอนามัยมากยิ่งขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่มาจากธรรมชาติ จึงได้รับความนิยม

ในการนำมาใช้ทดแทนสารที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี เนื่องจากมีความปลอดภัยและไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

โหระพา (*Ocimum basilicum* L.) จัดเป็นราชาแห่งสมุนไพร หรือ King of Herb (Calvin and Knutson, 1983) มีการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดน้ำมัน และใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โหระพาเป็นพืชที่ให้กลิ่น และกลิ่นรสที่เฉพาะตัว มีการศึกษามากมายได้กล่าวถึงคุณประโยชน์ของโหระพา ซึ่งในโหระพาประกอบด้วยสารประกอบฟีนอลิกในปริมาณที่สูง ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (Javanmardi,Khalighi et. al,2002; Lee and Scagel,2009,2010; Shan,Chi et. al,2005; Surveswaran,Cai,2007; Zheng and Wang,2001) นอกจากนี้โหระพายังเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพอีกด้วย โหระพายังนิยมนำมาสกัดเป็นน้ำมันเพื่อใช้ในการรักษาโรค หรือนำมาใช้ในเป็นส่วนประกอบของอาหาร สารสกัดจากโหระพามีข้อเสีย คือ สารสำคัญที่ได้จากการสกัดมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น แสง และความร้อน สามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ ๆ ถ้าไม่มีการเก็บรักษาที่ดีสาระสำคัญเหล่านี้จะเสื่อมคุณภาพ หรือสลายตัวได้ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของสารสำคัญลดลง ดังนั้น จึงมีความจำเป็นในการป้องกันการเสื่อมสภาพของสารสกัดจากโหระพา

วิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยมในการป้องกันการเสื่อมสภาพของสารสกัดจากธรรมชาติ ในปัจจุบันนี้ คือ เทคนิคการทำเอนแคปซูเลชัน โดยเป็นกระบวนการที่ของเหลว หรืออนุภาคของสารถูกห่อหุ้มอยู่ในรูปของแคปซูลด้วยสารพอลิเมอร์ที่ใช้เคลือบเป็นชั้นบาง ๆ โดยสารที่ใช้เคลือบ เรียกว่า วอลล์ (wall) ซึ่งเป็นตัวป้องกัน และทำหน้าที่ในการปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในซึ่งเรียกว่า คอร์ (core) ออกมา (ฉันทรา พูนศิริ, ม.ป.ป.) ซึ่งจะช่วยในการป้องกันการระเหยของสารสกัดจากโหระพาได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการค่อย ๆ ปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในออกมา และง่ายต่อการนำไปใช้ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ และเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารอีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จะทำเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากโหระพา โดยเปรียบเทียบการใช้สารที่ใช้เป็น วอลล์ 2 ชนิด คือ ไคโตซาน และเจลาติน จากนั้นทำการเคลือบด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้วิธีการ coacervation ทำการศึกษาความคงตัวของแคปซูลที่ได้ และนำไปใช้ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในมายองเนส

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะการทำเอนแคปซูเลชันที่เหมาะสมสำหรับการเก็บสารสกัดจากโหระพา
2. ศึกษาลักษณะทางเคมี และกายภาพของแคปซูลที่ได้จากการเตรียม
3. ศึกษาความสามารถในการนำแคปซูลไปประยุกต์ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาของมายองเนส

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเกิดออกซิเดชันในอาหาร

ลิพิดที่อยู่ในอาหารมีองค์ประกอบเป็นกรดไขมันชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งสมบัติทางเคมี และกายภาพ รวมทั้งความว่องไวต่อการเกิดออกซิเดชัน นอกจากนั้นส่วนประกอบอื่น ๆ ในอาหารอาจทำหน้าที่ร่วมออกซิไดส์ (cooxidize) หรือทำปฏิกิริยากับลิพิดที่ถูกออกซิไดส์หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการออกซิเดชัน ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด จึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

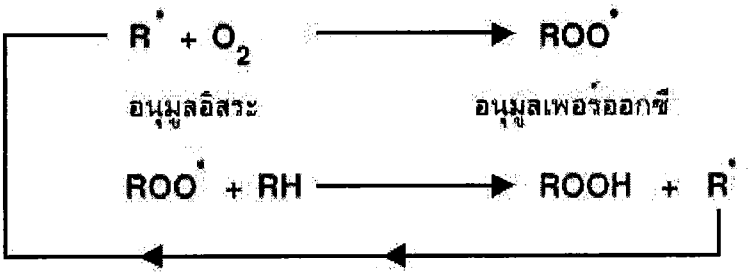
การเกิดออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอิสระหรือที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในลิพิด หรืออาหารที่มีลิพิด ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ (deterioration) ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เมื่อลิพิดหรืออาหารสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ (free-radical chain reaction) โดยมีกลไกการเกิด 3 ขั้นตอนดังนี้

1. Initiation ขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical)
2. Propagation ปฏิกิริยาต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ
3. Termination ปฏิกิริยาสุดท้ายที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ (non-radical products)

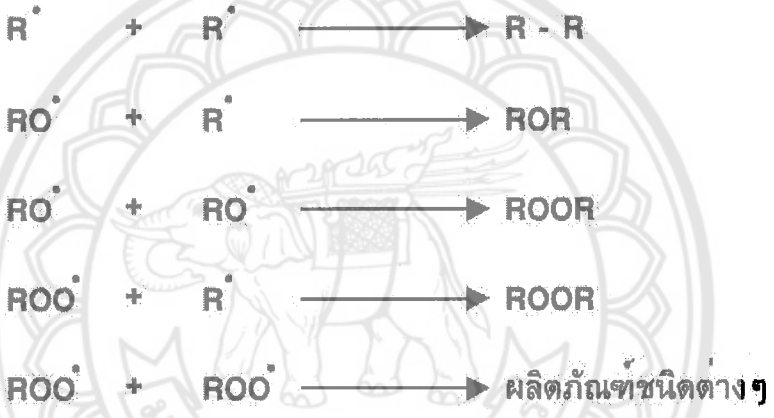
ปฏิกิริยาเริ่มต้นของออกซิเจนกับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวจะทำให้เกิดไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (hydroperoxide, ROOH) โดยไฮโดรคาร์บอนตรงตำแหน่งพันธะคู่สูญเสียไฮโดรเจนอะตอมทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระ

รูปที่ 1. ขั้นตอนการเกิดอนุมูลอิสระ
ที่มา http://courseware.rmutl.ac.th/courses/103/data/p619.htm.

ออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยาที่พันธะคู่เกิดเป็นไดเรดิคอล (diradical) หลังจากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาของอนุมูลอิสระกับออกซิเจนต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ ได้เป็นอนุมูลเพอร์ออกซี (ROO·) ไฮโดรเพอร์ออกไซด์ (ROOH) และอนุมูลไฮโดรคาร์บอน (R˙) อนุมูลที่เกิดขึ้นใหม่นี้จะเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนต่อไป เมื่อใดที่อนุมูลอิสระทำปฏิกิริยากันเอง จะเกิดเป็นสารประกอบใหม่ที่ไม่เป็นอนุมูลอิสระ ปฏิกิริยาจะหยุดลง ตัวอย่าง เช่น เมื่อไม่มีอนุมูลอิสระเหลือสำหรับทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับออกซิเจนแล้ว หากมีปริมาณออกซิเจนในปริมาณที่มากพอ ปฏิกิริยาก็จะกลับไปเกิดเป็นปฏิกิริยาขั้นที่ 1 (initiation reaction) เพื่อให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระใหม่



รูปที่ 2. การเกิดปฏิกิริยาอย่างต่อเนื่องของอนุมูลอิสระ
ที่มา http://courseware.rmutl.ac.th/courses/103/data/p620.htm.



รูปที่ 3. ปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่ได้เป็นอนุมูลอิสระ
ที่มา http://courseware.rmutl.ac.th/courses/103/data/p621.htm.

การหืนเนื่องจากออกซิเดชัน (oxidative rancidity) เป็นการหืนจาก ปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (autoxidation) ที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวกับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็น peroxide linkage ระหว่างพันธะคู่ โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเองแบบต่อเนื่อง ทำให้มีกลิ่น และรสชาติที่ผิดปกติ โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นในอาหารที่มีไขมัน และน้ำมันผสมอยู่ โดยเฉพาะในไขมันและน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหาร การมีโลหะ เช่น ทองแดง และตะกั่ว จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น นอกจากนั้นความร้อน และแสงก็มีผลช่วยเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยการหืน โดยปฏิกิริยานี้ทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นกรดไขมันจำเป็นต่อร่างกายถูกทำลาย มีผลทำให้คุณค่าทางโภชนาการของไขมัน และน้ำมันลดลง นอกจากนี้ยังทำลายวิตามินต่างๆ ที่ละลายในไขมัน และน้ำมันด้วย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2551)

สารต้านออกซิเดชัน

การป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำโดยการใช้สารต้านออกซิเดชัน ซึ่งหมายถึงสารที่สามารถชะลอจุดเริ่มต้น หรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน และน้ำมันได้อย่างช้า ๆ สารต้านออกซิเดชันมีทั้งสารที่เป็นสารสังเคราะห์ และอนุญาตให้เติมลงในอาหารได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2551)

6.2.1 วัตถุกันหืน ได้แก่

1. บีเอชเอ (BHA, Butylated hydroxyanisol) เป็นวัตถุกันหืนที่นิยมใช้กันมากชนิดหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมัน และน้ำมันเป็นส่วนประกอบการใช้ส่วนใหญ่ มีการอนุญาตให้ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นครั้งแรกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1948 เป็นสารประกอบที่เป็นผลึกสีขาว หรือเหลืองอ่อน มีกลิ่นฉุน ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ และ propane-1,2-diol (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546) บีเอชเอที่นิยมใช้จะอยู่ในรูปของสารผสม -2- และ 3-tert-butyl-4hydroxyanisole หรืออาจใช้ร่วมกับแกลเลต หรือบีเอชทีเพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นมีการใช้ในอาหารประเภทที่มีไขมัน และน้ำมันเป็นส่วนผสม ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ขนมอบ อาหารทอดชนิดต่าง ๆนอกจากนี้ยังใช้ในนมผง มาการิน เป็นต้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้บีเอชเอในปริมาณไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร อาจใช้เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับวัตถุกันหืนชนิดอื่นที่กำหนดไว้ แต่ปริมาณแกลเลตต้องไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร

2. บีเอชที (BHT, Butylated hydroxytoluene หรือ 2,6-ditertiary-butyl-p-cresol) เป็นวัตถุกันหืนอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันเช่นเดียวกับบีเอชเอ แต่มีประสิทธิภาพดีกว่าเล็กน้อย เป็นสารที่มีลักษณะเป็นผลึก หรือเกล็ดสีขาว มีกลิ่นฉุน ไม่ละลายในน้ำ และ propane-1,2-diol แต่ละลายในแอลกอฮอล์ (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546) นิยมใช้ในอาหารประเภทไขมันสัตว์ น้ำมันพืชผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เนื้อ ผลิตภัณฑ์ปลา และน้ำมันหอมระเหย เป็นต้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้ได้เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยอาจจะใช้เพียงอย่างเดียว หรือใช้รวมกับวัตถุกันหืนชนิดอื่นที่กำหนดไว้แต่ปริมาณแกลเลตต้องไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร

3. แอสคอร์บิลพาล์มิเทต (Ascorbyl palmitate) เป็นวัตถุกันหืนที่มีประสิทธิภาพดีสามารถป้องกันปฏิกิริยาออกซิชันที่เกิดขึ้น เนื่องจากมีเหล็กเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา แอลคอร์บิลพาล์มิเทตที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมักอยู่ในรูปของสารผสมระหว่างแอสคอร์บิลพาล์มิเทต และโทโคฟีรอล ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพดี นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทไขมันสัตว์ น้ำมันพืช เนย นมผง และวิตามินเอเข้มข้น เป็นต้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้แอสคอร์บิลพาล์มิเทตในอาหารไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร โดยอาจจะใช้เพียงอย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับแอสคอร์บิลสเตียเรต (ascorbyl stesrate) แต่เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกินปริมาณดังกล่าว ส่วนในอาหารทารกให้ใช้ได้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร

4. กรดไอโซแอสคอร์บิค (isoascorbic) และโซเดียมไอโซแอสคอร์เบต (isoascorbate) เป็นวัตถุกันหืนที่ใช้ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของอาหารทั้งชนิดที่มีไขมัน และไม่มีไขมันเป็นส่วนประกอบ โดยอาจใช้อย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับกรดไอโซแอสคอร์บิคก็ได้ นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ เบียร์ น้ำผลไม้ ผลไม้เยือกแข็ง และผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก เป็นต้น ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้กรดไอโซแอสคอร์บิค และโซเดียมไอโซแอสคอร์เบตได้ไม่เกิน 500 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของ

อาหาร โดยอาจจะใช้อย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับกรดแอล-แอสคอร์บิค แต่เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกินปริมาณดังกล่าว

5. แกลเลต (gallate) โพรพิลออคทิล และโดเดซิลแกลเลต เป็นเอสเทอร์ของกรดแกลลิค (gallic acid) เป็นวัตถุกันหืนที่มีประสิทธิภาพดีมาก ช่วยป้องกันการเกิดเพอร์ออกไซด์ (peroxides) ได้ดี ประสิทธิภาพจะขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล และความเข้มข้น มีข้อเสีย คือ การใช้ในอาหารที่มีเหล็กปนเปื้อนจะทำให้เกิดสีม่วงขึ้น อย่างไรก็ตามสามารถป้องกันได้โดยการใช้วัตถุกันหืนชนิดนี้ร่วมกับซีเควสเตรนท์ (sequestrans) นิยมใช้ออคทิล และโดเดซิลแกลเลตมากกว่า เนื่องจากมีการละลายดีกว่าโพรทิลแกลเลต ซึ่งไม่คงที่ที่อุณหภูมิสูง ๆ นิยมใช้ในไขมัน หรือน้ำมันจากสัตว์ หรือพืช หรืออาหารที่มีไขมัน หรือน้ำมันจากพืช หรือสัตว์เป็นส่วนประกอบ ได้แก่ เนยผง มาการีน ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ผลิตภัณฑ์เนื้อ และผลิตภัณฑ์ปลา เป็นต้น ตามประกาศสาธารณสุขฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร โดยจะใช้โพรทิลแกลเลต หรือออคทิลแกลเลต หรือโดเดซิลแกลเลตเพียงอย่างเดียว หรืออาจใช้ร่วมกัน หรือใช้รวมกับบีเอชเอ หรือบีเอชที แต่เมื่อรวมกันแล้วต้องไม่เกิน 100 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร (เคมีอาหาร 1 : วัตถุเจือปนอาหาร)

6. ทีบีเอชคิว (TBHQ, Tertiary butylhydroquinone) เป็นสารประกอบที่เป็นผลึกสีขาว มีกลิ่นเฉพาะตัว ไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในแอลกอฮอล์ การใช้ทีบีเอชคิวไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีเหล็กปนเปื้อนมีการเปลี่ยนแปลงของสี แต่จะสามารถเกิดปฏิกิริยากับเอมีนอิสระในอาหารทำให้เกิดสีแดงขึ้น จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบบางชนิด การใช้ทีบีเอชคิวจะใช้ในปริมาณที่ไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของอาหาร (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546)

การใช้วัตถุกันหืนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในอาหารนั้น ถ้าหากใช้ในปริมาณที่มากเกินไป พบว่าเป็นสาเหตุให้เกิดอาการผิดปกติแก่ผู้บริโภคได้ จากการศึกษาถึงความเป็นพิษของวัตถุกันหืนหลาย ๆ ชนิด พบว่าการใช้วัตถุกันหืนในปริมาณมาก และติดต่อกันเป็นเวลานาน เป็นสาเหตุให้เกิดอาการผิดปกติกับสัตว์ทดลอง ทำให้เกิดเป็นมะเร็ง และเนื้องอกได้ เป็นต้น วัตถุกันหืนที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารควรเป็นสารที่ผ่านการทดลองแล้วว่าไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ได้รับอนุญาตให้ใช้ได้ตามกฎหมาย หรือตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ศิวาพร ศิวเวชช, 2546)

ช่วงสิบกว่าปีที่ผ่านมามีความตื่นตัวในเรื่องพิษของสารเคมีที่ใช้เจือปนในอาหารจึงมีการศึกษาและพยายามนำเอาวัสดุจากธรรมชาติที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระมาใช้เป็นสารต้านออกซิเดชันในอาหารทั้งในรูปสารสกัด และใช้โดยตรง เช่น สารสกัดจากโรสแมรี่ สารสกัดจากชาเขียว เป็นต้น บางชนิดสามารถใช้โดยตรง เช่น เครื่องเทศ และสมุนไพรที่เติมลงในอาหารรวมทั้งมีการผลิตอาหารเสริมเพื่อต้านอนุมูลอิสระจำหน่าย สารต้านอนุมูลอิสระที่มีในพืชชนิดต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. สารต้านอนุมูลอิสระจากพืชชนิดต่างๆ

ชนิดของพืช	ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ
ชาเขียว [a]	อีพิแกลโลคาเทชินแกลเลต อีพิแกลโลคาเทชิน และอิพิคาเทชิน
โรสแมรี่ [a]	แกลเลต
กานพลู	คาร์โนซอล กรดโรสมารินิก กรดคาร์โนซิก และโรสมาริดิฟีนอล
วานิลลา	ยูจีนอล
พริก	วานิลิน
ขมิ้น	แคปไซซิน
พริกไทยดำ	เตตระไฮโดรเคอร์คูมิน
งา	กรดเฟรูลิก
ถั่วเหลือง	เซซามอล เซซามอลไดเมอร์ เซซาโมลินอล และเซซามินอล
ผักและผลไม้ที่มีสีเหลือง สีแดง หรือสีเข้ม บางชนิด	เจเนสทีนไอโซฟลาโวน
ผลไม้	แคโรทีนอยด์
ผักและผลไม้ที่มีสีม่วงและสีแดงบางชนิด เช่น องุ่น	วิตามินซี
ชา	แอนโทไซยานิน เอสเทอร์ของกรดแกลลิก

ที่มา : [a] Resiche et al. (1998)

6.2.2 สารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน หมายถึง สารที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้กับวัตถุกันหืน โดยสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนจะไม่มีคุณสมบัติเป็นวัตถุกันหืน แต่ช่วยเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนได้ โดยการไปเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะที่ปนเปื้อนมาในอาหาร หรือช่วยชะลอปฏิกิริยาของโพร-ออกซิแดนส์ (pro-oxidants) หรือทำหน้าที่เป็นตัวรับอนุมูล หรือทำหน้าที่ให้อิเล็คตรอน หรือโปรตอน เพื่อช่วยให้วัตถุกันหืนสามารถทำหน้าที่ป้องกันการเกิดออกซิเดชันได้ โดยสารเสริมฤทธิ์ที่นิยมใช้กันทั่วไป ได้แก่

1. กรดซิตริก เป็นกรดที่พบมากในพืชตระกูลส้ม นอกจากจะมีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงกลิ่นรส ช่วยเพิ่มความเป็นกรดของอาหาร และ ฯลฯ ยังเป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน เนื่องจากกรดซิตริกเป็นสารจับโลหะที่มีประสิทธิภาพดีมาก ทำให้สามารถช่วยชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันที่จะเกิดขึ้นได้

2. กรดทาร์ทาริก เป็นกรดที่พบมากตามธรรมชาติในผัก และผลไม้ มีคุณสมบัติเป็นสารจับโลหะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับกรดซิตริก จึงนิยมนำมาใช้เป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืน

3. กรดฟอสฟอริก และเกลือฟอสเฟต เช่น ไพโรฟอสเฟต ไตรโพลิฟอสเฟต และเฮกซาเมตาฟอสเฟต เป็นต้น เป็นวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารรวมทั้งเป็นสารเสริมฤทธิ์วัตถุกันหืนด้วย

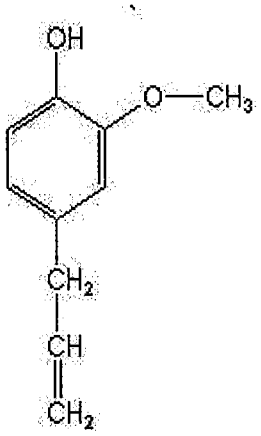
4. อีดีทีเอ (EDTA, Ethylenediaminetetraacetic acid) อีดีทีเอ และเกลือแคลเซียม หรือเกลือโซเดียม เป็นสารจับโลหะที่มีประสิทธิภาพดีมาก มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร (ศิวพร ศิวเวชช, 2546) จึงช่วยการคงตัวของกลิ่นรสอาหารที่มีไขมัน และน้ำมันเป็นองค์ประกอบ เช่น น้ำมันพืช น้ำสลัด มายองเนส มาการีน เป็นต้น

โหระพา

โหระพา มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ (*Ocimum basilicum* L.) ชื่อสามัญ sweet basil เป็นไม้ล้มลุก ลำต้นมีขนาดเล็ก โดยลักษณะทั่วไปที่สำคัญ คือ ลำต้นมีสีม่วงแดง ใบปลายแหลม คล้ายใบกระเพรา แต่ไม่มีขน ในแต่ละพื้นที่จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น สีของใบ (สีแดง หรือสีม่วง) สีดอก (สีแดง ม่วง และขาว) โหระพาเป็นสมุนไพรที่ให้กลิ่น และกลิ่นรส มักใช้เติมลงในอาหารเพื่อเพิ่มกลิ่น และกลิ่นรสของอาหาร ใบสามารถใช้ใบสด หรือนำไปทำให้แห้งเพื่อใช้เติมให้รสชาติ น้ำมันสกัดจากใบและดอกสดสามารถใช้เป็นสารเติมแต่งกลิ่นในอาหาร ยารักษาโรค และเครื่องสำอาง (Simon, Morales et al., 1996) นอกจากนี้โหระพายังใช้เป็นยาในการรักษาอาการปวดหัว ไข้หวัด เป็นไข้ ฯลฯ (Simon et al., 1999) นอกจากนี้ยังมีสมบัติในการเป็นสารฆ่าเชื้อ (antiseptic) ขับลมในกระเพาะอาหาร ต้านจุลชีพ และต้านอนุมูลอิสระ (Baranauskiene, Venskutonis et al., 2003) สารเคมีในโหระพาประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย ocimine, alpha-pinene, 1,8-cineole, eucalyptol, linalool, geraniol, limonene, eugenol, methyl chavicol (estragol), methyl cinnaminate (Vishruta et al., 2013)

ยูจีนอล

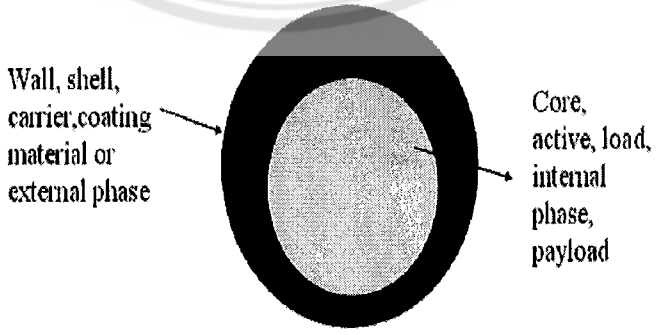
ยูจีนอล (Eugenol) (4-allyl-2-methoxyphenol) เป็นสารประกอบฟีนอลที่มีการใช้อย่างกว้างขวางในอาหาร ยารักษาโรค เครื่องสำอาง และการใส่ลงในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีสมบัติในการต้านจุลชีพและต้านอนุมูลอิสระ (Baskaranet et al., 2010; Devi et al., 2010) กลไกการยับยั้งจุลินทรีย์ของยูจีนอล จะรบกวนการผ่านของสารเข้าออกเซลล์ ได้แก่ โพแทสเซียม โซเดียม แคลเซียม โดยมีรายงานการใช้ค่าโพแทสเซียมในการประเมินประสิทธิภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ที่ถูกทำลาย (Filgueiras and Venetti, 2006) และทำให้โครงสร้างของเซลล์เสียหาย (Cox et al., 2000; Tippayatum and Chonhenchob, 2007) สารประกอบกลุ่มฟีนอล มักมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Kim and Kim, 1997)



รูปที่ 4. โครงสร้างของยูจีนอล
ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2781/eugenol-%E0%B8%A2%E0%B8%B9%E0%B8%88%E0%B8%B5%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%A5

เอนแคปซูเลชัน

กระบวนการเอนแคปซูเลชันถูกใช้ครั้งแรกในการผลิต carbonless paper ในปี ค.ศ. 1930 โดยใช้เจลาตินเป็นสารก่อผนัง (coating material) และสารที่ถูกบรรจุเป็น colorless dye แคปซูลถูกนำไปเคลือบด้านหลังของกระดาษ เมื่อได้รับแรงกดจากการเขียนจะทำให้ผนังแคปซูลแตก dye จะทำปฏิกิริยาเคมีกับ acid clay ที่กระดาษแผ่นล่างทำให้เกิดสีขึ้น (Balan, 1994) จากนั้นได้มีการพัฒนาเทคนิคเอนแคปซูเลชันในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ การทำเอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการที่สาร หรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น สารที่ถูกเคลือบ (coated) หรือถูกยึดไว้ (entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็ง หรือก๊าซซึ่งเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น core material หรือ internal phase สารที่นำมาเคลือบจะ เรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating



รูปที่ 5. ลักษณะของแคปซูล
ที่มา : http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf

ขนาด และอนุภาคที่ได้จากกระบวนการเอนแคปซูเลชันแบ่งได้เป็น

1. macroencapsulation มีขนาดอนุภาคมากกว่า 5000 ไมครอน
2. microencapsulation มีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.2-5000 ไมครอน
3. nanoencapsulation มีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 0.2 ไมครอน หรือน้อยกว่า 2000 อังสตรอม (Schatman, 2002)

การทำเอนแคปซูเลชันมีเทคนิควิธีการในการทำหลายวิธีโดยวิธีการที่ใช้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีการที่สำคัญคือ วิธีการทางเคมีและวิธีการโดยใช้เครื่องมือ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2. เทคนิคที่ใช้ในการทำเอนแคปซูเลชัน

	Encapsulation Methods	Particle size(μm)	Max load(%)	reference
Chemical techniques	Simple coacervation	20-200	<60	Richard & Benoit, 2000
	Complex coacervation	5-200	70-90	Richard & Benoit, 2000
	Molecular inclusion	5-50	5-10	Uhlemann et al., 2002
Mechanical techniques	Spray-drying	1-50	<40	Richard & Benoit, 2000
	Spray chilling	20-200	10-20	Uhlemann et al., 2002
	Extrusion	200-2000	6-20	Uhlemann et al., 2002
	Fluidised bed	>100	60-90	Richard & Benoit, 2000

ที่มา : Madene et al., 2006

1. การทำเอนแคปซูเลชันโดยวิธีทางเคมี (Chemical process)
   1.1 Coacervation การเอนแคปซูเลชันโดยเทคนิคนี้ใช้ปรากฏการณ์การเกิดคอลลอยด์ที่ประกอบไปด้วย เฟส 3 เฟสซึ่งไม่ละลายซึ่งกันและกัน ได้แก่ เฟสต่อเนื่อง (continuous phase) สารที่นำมาทำเอนแคปซูเลชัน (core material) และเฟสของสารเคลือบ (wall material) (Risch, 1995) การทำให้เกิดการเคลือบผิวในกรณีนี้จะ

เกี่ยวข้องกับการปรับสภาพของ hydrophilic colloids 2 ชนิด ซึ่งมีประจุที่ต่างกันทำให้อยู่ในสภาวะที่ประจุเป็นกลาง และเคลือบอยู่บนผิวของสารแกนกลาง

ขั้นตอนการทำเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิค coacervation ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนได้แก่

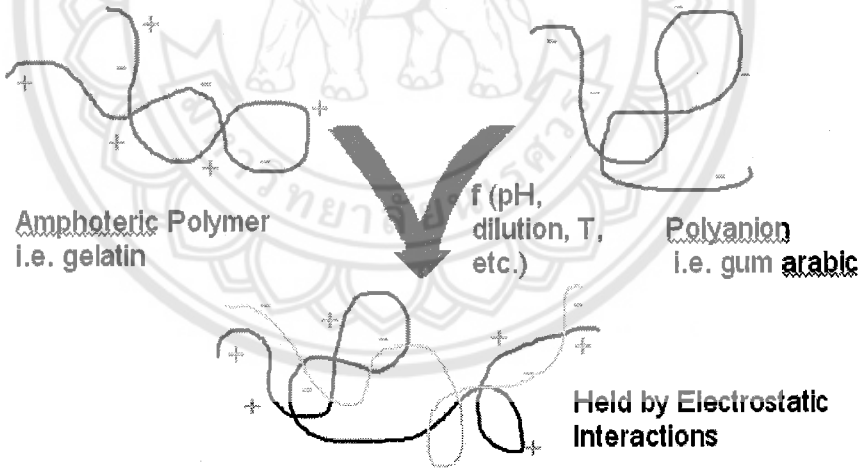
1.การเกิดอนุภาค หรือหยดของเหลวที่มีขนาดเล็ก

2.การเกิด coacervative wall

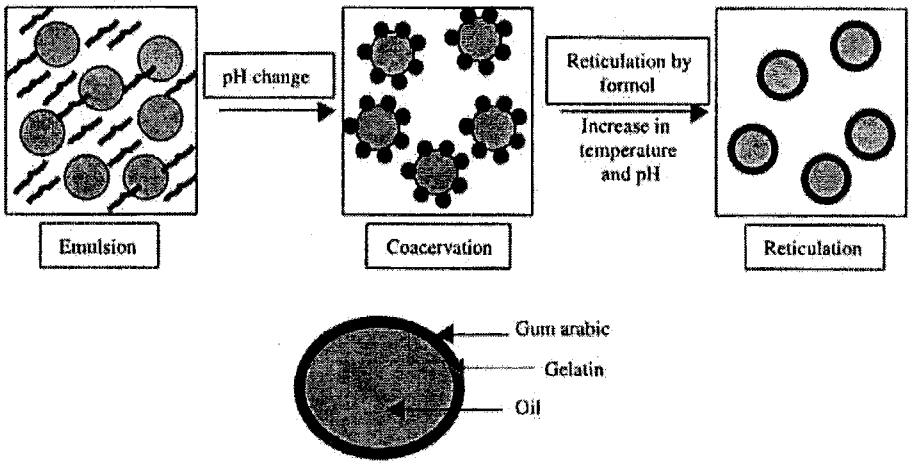
3.การแยกแคปซูลที่ได้ออกจากสารละลาย

การเกิด coacervation ทำโดย การปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ การปรับเปลี่ยน pH และการเติม ionic salt

การทำเอนแคปซูเลชันโดยเทคนิคนี้จะต้องทำการควบคุมการผสมเพื่อทำให้สารเคลือบไปเคลือบอยู่บนผิวของสารแกนกลางอย่างสม่ำเสมอ การเคลือบผิวรอบ ๆ สารแกนกลางเกิดจากการดูดซับ hydrophilic phase ที่บริเวณผิวของสารแกนกลาง การเติม electrolyte เข้าไปในระบบจะทำให้เกิดการตกตะกอนของคอลลอยด์โดยสาร electrolyte จะไปทำให้ประจุเป็นกลางซึ่งจะช่วยให้เกิดการเคลือบที่บริเวณผิวของสารแกนกลาง จากนั้นทำให้แคปซูลที่ได้อยู่ในรูป solid capsule โดย desolvation หรือ thermal cross linking (Korus, 2001) โดยรูปที่ 6 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการทำเอนแคปซูเลชันน้ำมันกระเทียม (garlic oil) โดยใช้เทคนิค coacervation



รูปที่ 6. การจับตัวระหว่าง amphoteric polymer และ polyanion โดย electrostatic interaction
ที่มา : http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf

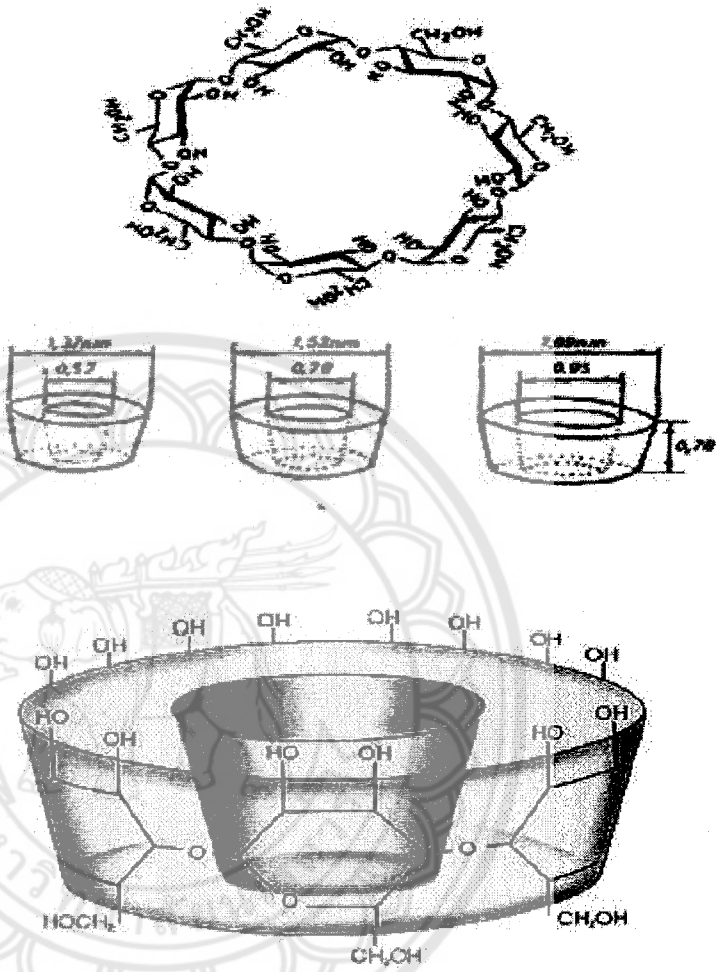


รูปที่ 7. หลักการของการทำเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิค complex coacervation
ที่มา : Madene et al., 2006

1.2 Co-crystallizaton การทำเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคนี้ เกิดระหว่างการตกผลึกในสภาวะอิ่มตัวอย่างยิ่งยวด โดยเติมสารแกนกลางลงไประหว่างการเกิดผลึก (spontaneous crystallization) (Bhandari et al., 1998) ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกที่มีขนาดเล็กล้อมรอบสารแกนกลางอยู่ภายใน โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคนี้จะมี low hygroscopicity, good flowability และ dispersion properties (LaBell, 1991; Quellet et al., 2001)

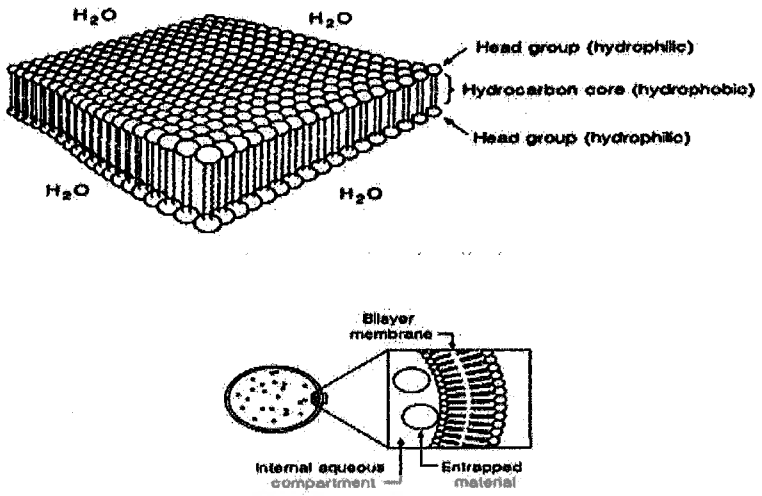
1.3 Molecular inclusion เป็นเทคนิคการทำเอนแคปซูเลชันในระดับโมเลกุล วิธีการนี้จะใช้ ไซโคลเดกซ์ทริน (cyclodextrin) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอนไซม์ไกลโคสิล - แทรนซะเฟอเรส (glycosyl-transferase, GCTase) มาทำปฏิกิริยากับสตาร์ชเปลี่ยนเป็นพอลิเมอร์วงแหวนที่ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส หก เจ็ด หรือแปดโมเลกุล เรียกว่า แอลฟา บีตา หรือแกมมา – ไซโคลเดกซ์ทริน ตามลำดับ บริเวณตรงกลางโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วนที่ผิวนอกจะมีลักษณะเป็น hydrophilic (รูปที่ 8) เมื่ออยู่ในสารละลาย โมเลกุลที่มีขั้วน้อยกว่าจะแทนที่โมเลกุลของน้ำที่อยู่ตรงกลางของโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทริน สารประกอบที่เกิดขึ้นจะละลายได้น้อย และตกตะกอนแยกตัวออกมาจากสารละลาย (Godshall, 1997) เทคนิคนี้จะใช้ในการเอนแคปซูเลทสารที่ไม่เสถียร และ high added value flavor chemicals (Uhlemann et al., 2002) สารให้กลิ่นรสจะถูกเก็บอยู่ภายในโมเลกุลของไซโคลเดกซ์ทริน (Reineccius and Risch, 1986; Loftsson and Kristmundsdottir, 1993; Reineccius et al., 2002) ปัจจัยที่มีผลต่อการกักเก็บสารให้กลิ่นรสที่ผ่านการเอนแคปซูเลทโดยใช้เทคนิคนี้ ได้แก่ น้ำหนัก และรูปร่างของโมเลกุล คุณสมบัติทางเคมี (chemical functionality) ความมีขั้ว (polarity) และความสามารถในการระเหย (volatility) ของสารแกนกลาง การปลดปล่อยสาร

แกนกลาง จะเกิดขึ้นเมื่อสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่เป็นน้ำ หรือที่อุณหภูมิสูง (Reineccius et al., 2002)



รูปที่ 8. โครงสร้างของ β-cyclodextrin
ที่มา : Reineccius (1994)

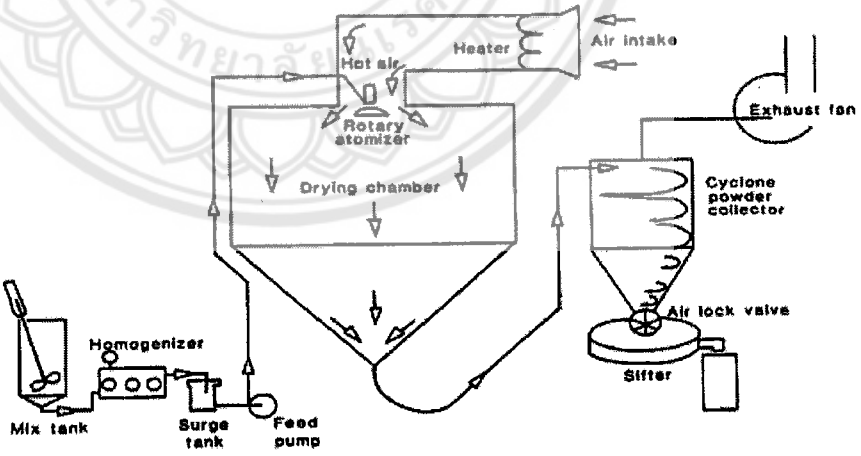
1.4 การใช้ไลโปโซมในการหุ้ม (Liposome entrapment) วิธีนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตยาในปัจจุบัน ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไลโปโซมประกอบด้วยเฟสที่เป็นน้ำ (aqueous phase) ล้อมโดย
เมมเบรนที่ประกอบด้วยฟอสโฟไลปิด (phospholipid-base membrane) เมื่อฟอสโฟไลปิดกระจายตัวอยู่ในเฟสที่เป็นน้ำ จะเกิดโครงสร้างเป็นไลโปโซมโดยอัตโนมัติ ไลโปโซมสามารถใช้ในการหุ้มสารที่ละลายได้ในน้ำ หรือในไขมันไว้ภายใน



รูปที่ 9. โครงสร้างของ lipid bilayer matric
ที่มา : Madene et al., 2006

2. การทำเอนแคปซูเลชันด้วยเครื่องมือ (Mechanical processes)

2.1 เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying technique) เป็นเทคนิคการทำเอนแคปซูเลชันที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเครื่องมือหาได้ง่าย และต้นทุนการผลิตต่ำกว่าวิธีอื่น โดยขั้นตอนประกอบไปด้วย การนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (wall material) ไปละลายน้ำ จากนั้นนำสารแกนที่ต้องการทำการเอนแคปซูเลชันผสมกับสารละลายที่ใช้เคลือบ (carrier solution) จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ (homogenize) เพื่อเกิดเป็นหยด จากนั้นจะนำไปทำการอบแห้งแบบพ่นฝอยด้วยเครื่อง spray dryer



รูปที่ 10. การทำเอนแคปซูเลชันโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย
ที่มา : Madene et al., 2006

2.2 การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด(Fluidized bed coating หรือ Air suspension coating) เทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวอนุภาคของแข็ง โดยอนุภาคที่ต้องการเคลือบผิวจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระแสอากาศที่เคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ภายในห้องอบแห้งด้วยความเร็วสูง ในขณะเดียวกันตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบจะถูกป้อนผ่านหัวฉีด และพ่นเป็นละอองฝอยไปยังกระแสของอนุภาค (particle stream) และเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาคความหนาของสารเคลือบผิวสามารถควบคุมได้โดยควบคุมระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่อยู่ภายในห้องอบแห้ง

การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์ เบด ประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน

1. อนุภาคที่ต้องการเคลือบจะถูกทำให้ลอยตัว (fluidized) อยู่ในกระแสอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง
2. สารเคลือบจะถูกพ่นฝอยผ่านหัวฉีดไปยังอนุภาคที่ต้องการเคลือบซึ่งจะทำให้เกิดฟิล์มรอบ ๆ อนุภาค
3. หยดเล็ก ๆ ของสารเคลือบจะกระจาย และสะสมอยู่บนผิวของอนุภาคจากนั้นตัวทำละลาย หรือส่วนผสมของตัวทำละลายจะระเหยออกจากผิวของอนุภาคโดยอากาศร้อน และสารเคลือบจะเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาค (Jacquot and Pernetti, 2003)

2.3 เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) สามารถประยุกต์ใช้ในการทำเอนแคปซูเลชันสารที่ไวต่อความร้อน การทำเอนแคปซูเลชันจะเกิดระหว่างขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง โดยขณะที่น้ำในสารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็ง สารละลายในส่วนที่น้ำยังไม่แข็งตัว (non-frozen solution) จะมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยชะลอการแพร่ของสาร เมื่อปริมาณผลึกน้ำแข็งเพิ่มมากขึ้นสารละลายจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด และเริ่มตกผลึกโดยจับสารแกนกลางไว้ภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูป amorphous solid (Karel and Langer, 1988)

2.4 สเปรย์ชิลลิง (Spray chilling) และสเปรย์คูลลิง (Spray cooling) เทคนิคนี้จะคล้ายกันโดยสารแกนกลางจะกระจายตัวอยู่ในสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ จากนั้นทำการป้อนของผสมที่ได้ผ่านหัวฉีด (atomizer) เพื่อพ่นให้เป็นละอองฝอย เทคนิคนี้แตกต่างจากการอบแห้งแบบพ่นฝอย ตรงที่ไม่มีการระเหยน้ำโดยของผสมระหว่างสารแกนกลาง และสารเคลือบจะถูกฉีดพ่นไปยังอากาศเย็น (cool or chill air) ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้สารเคลือบเกิดการแข็งตัวรอบ ๆ ผิวของสารแกนกลาง (Lamb, 1987; Risch, 1995; Gouin, 2004) เทคนิคของสเปรย์ชิลลิง และสเปรย์คูลลิงจึงแตกต่างกันที่ จุดหลอมเหลวของสารที่ใช้ในการเคลือบเท่านั้น โดยทั้งสองเทคนิคจะนิยมใช้ในการทำเอนแคปซูเลชันสารให้กลิ่นรส วิตามิน เกลือแร่ (mineral) หรือ acidulants เนื่องจากสามารถเลือกจุดหลอมเหลวของสารเคลือบทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อย (control release) สารแกนกลางได้

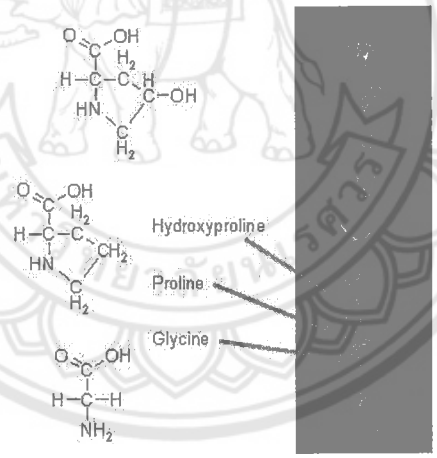
2.5 เอกซ์ทรูชัน (Extrusion) เทคนิคการทำเอนแคปซูเลชันโดยใช้กระบวนการเอกซ์ทรูชันเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารในมวลของคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว โดยส่วนผสมจะถูกบังคับให้เคลื่อนผ่านหัวได (die) ไปยังของเหลว ซึ่งใช้ในการดึงน้ำออก

(dehydrating liquid) ซึ่งจะทำให้ สารเคลือบเกิดการแข็งตัว และจับสารแกนกลางไว้ภายใน ของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ได้แก่ isopropyl alcohol ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นซึ่งมีความแข็ง (harden material) ซึ่งต้องนำไปผ่านขั้นตอนการทำให้แตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ และทำให้แห้ง

ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการทำเอนแคปซูเลชันที่นิยมใช้มักเป็นสารจำพวกคาร์โบไฮเดรต และโปรตีน

เจลาติน

เจลาติน (gelatin) ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่เกิดจากการสูญเสียสภาพธรรมชาติของคอลลาเจน โดยการให้ความร้อน หรือการไฮโดรไลซิสบางส่วนของโมเลกุล เจลาตินมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 15-300 กิโลดาลตัน ขึ้นอยู่กับชนิด และวิธีการผลิต โครงสร้างปฐมภูมิของคอลลาเจน และเจลาตินประกอบด้วยกรดอะมิโนที่แตกต่างกันออกไป 18 ชนิด โดยคอลลาเจนจัดเป็นโปรตีนจากสัตว์ที่ประกอบขึ้นด้วยกรดอะมิโนชนิด Hydroxy proline และ Hydroxyl syline รวมถึงปริมาณ Immino acid ทั้งหมดในปริมาณสูง กรดอะมิโนในเจลาตินมีลักษณะไม่แตกต่างจากกรดอะมิโนที่พบในคอลลาเจน โดยมีลักษณะการจัดเรียงตัวแบบ Gly-X-Y อย่างต่อเนื่อง โดยที่ตำแหน่ง X ส่วนใหญ่จะเป็น proline และตำแหน่ง Y จะเป็น Hydroxy proline (Eastone and Leach, 1977)



รูปที่ 11. โครงสร้างของเจลาติน
ที่มา: http://chempolymerproject.wikispaces.com

คอลลาเจน และเจลาติน มีกรดอะมิโนที่สำคัญ เช่น ไกลซีน ไฮดรอกซีไลซิน และไฮดรอกซีโปรลีน และอนุพันธ์ของทริปโตฟาน คอลลาเจนของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีไฮดรอกซีโปรลีนที่สูงกว่าคอลลาเจนจากปลา โดยทั่วไปสามารถพบคอลลาเจนได้ในส่วนของกระดูก ฟัน หนัง เอ็น และเขาของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดยพบเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 30 ของน้ำหนักตัว แต่ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของสัตว์ (Lacroix and Cooksey, 2005) องค์ประกอบโดยทั่วไปของเจลาติน ประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 50.11 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.56 ไนโตรเจนร้อยละ 17.81 ซัลเฟอร์ร้อยละ 0.26 และออกซิเจนร้อยละ 25.26 (Winton and Winton, 1949) เจลาตินแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ type A เป็นเจลาตินที่ผสมจากหนังหมู โดยการใช้กรด

ในการสกัด type B เป็นเจลาตินที่ผลิตจากกระดูกวัวและหนังวัวโดยการใช้ด่างในการสกัด เจลาตินทั้ง 2 ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3. คุณสมบัติของเจลาติน Type A และ Type B

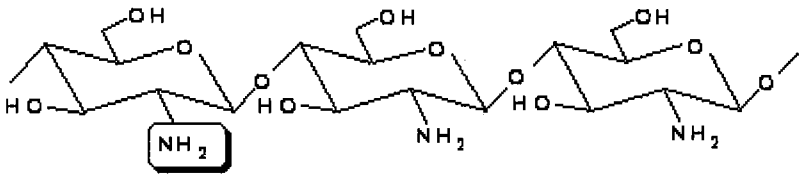
คุณสมบัติ	Type A	Type B
Moisture	8-12%	8-12%
pH	3.8-5.5	5.0-7.5
Isoelectric point	7.0-9.0	4.7-5.1
Gel strength	50-300 bloom	50-275 bloom
Viscosity	2.0-7.0 cP	2.0-7.5 cP
Ash	0.3%	0.5-2.0%

ที่มา : Glicksman (1969)

สมบัติสำคัญอย่างหนึ่งของเจลาติน คือ ความสามารถในการเกิดเจล และสมบัติในการหลอมเหลวเนื่องจากความร้อน สมบัติดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความยาวของสายโซ่ ปริมาณและชนิดของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนั้นสัดส่วนของสายโซ่อัลฟาต่อสัดส่วนของสายโซ่เบต้าที่ปรากฏในเจลาตินมีผลโดยตรงต่อความสามารถในการเกิดเจล และความแข็งแรงของเจลาติน (Cho and Rhee, 2004) การนำเอาเจลาตินมาประยุกต์ใช้นั้นสมบัติที่สำคัญของเจลาติน คือ ความสามารถในการเกิดเจล และความแข็งแรงของเจล ความหนืด และการหลอมเหลว คุณสมบัติเหล่านี้มีผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย และการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล ความเข้มข้นของสารละลายเจลาติน เวลาการเกิดเจล อุณหภูมิการเกิดเจล ความเป็นกรด ด่าง และปริมาณเกลือ มีการศึกษาสมบัติของอาหารที่มีการประยุกต์ใช้เจลาตินปลากันอย่างแพร่หลาย (Choi and Regenstein 2000; Norland 1990; Osborne et al., 1990)

ไคโตซาน

ไคโตซาน (chitosan) คือ อนุพันธุ์ตัวหนึ่งของไคติน ได้จากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิล (deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างของไคตินบางส่วนเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะหมู่ฟังก์ชันที่มีธาตุไนโตรเจน (ในรูปของหมู่อะซีตามิโด $-NHCOCH_3$ เปลี่ยนไปเป็นรูปของหมู่อะมิโน NH_2) ที่ตำแหน่งตัวที่ 2



รูปที่ 12. โครงสร้างของไคโตซาน
ที่มา : https://www.gpo.or.th/rdi/html/chitin.html

สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของไคโตซาน เป็นพอลิเมอร์สายยาวที่มีประจุบวกเนื่องจากหมู่อะมิโน (amino, NH_2) ไคโตซานละลายได้ในกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดแลกติก กรดฟอร์มิก เป็นต้น ไคโตซานมักถูกนำไปใช้ทั้งในรูปของแข็ง และในรูปสารละลาย โดยละลายไคโตซานด้วยกรดอินทรีย์จนได้สารละลายที่มีลักษณะเหนียวใส สามารถนำไปขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น แผ่นเยื่อบาง เจล เม็ด เส้นใย คอลลอยด์ และสารเคลือบผิว ไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต และย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ จึงมีความปลอดภัยที่จะทำมาประยุกต์ใช้งาน (ป๋วย อุ่นใจ, 2544) ปัจจุบันนิยมนำมาใช้กับอาหารอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้ในการถนอมอาหารเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ใช้เป็นสารเคลือบผิวอาหารเพื่อชะลอการเสื่อมเสียในรูปของ antimicrobial packaging film (Chen et al., 1996) และใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์เพื่อลดการเหม็นหืน (lipid oxidation) ลดการเน่าเสีย (putrefaction) ช่วยรักษาสีแดงของเนื้อสัตว์ในระหว่างการเก็บรักษา (Darmadjiand Izuminoto, 1994) เป็นต้น

มายองเนส

มายองเนส เป็นผลิตภัณฑ์ซอสที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายไปทั่วโลกในทุกวันนี้ มายองเนสเป็นอิมัลชันชนิดหนึ่งที่อยู่ในสภาพกึ่งของแข็ง (semi-solid) ประกอบด้วยไขมัน 70-80 เปอร์เซ็นต์ (Chun-Ying Li et al., 2014) ส่วนผสมของมายองเนส ประกอบด้วย น้ำมัน ไข่แดง น้ำส้มสายชู น้ำมะนาว เกลือ น้ำตาลทราย มัสตาร์ด เครื่องเทศ เป็นต้น (Y.F.M. Kishk, Hemat E. Elsheshetaway, 2013) ลักษณะมายองเนส จะเป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil-in-water) มีน้ำมันกระจายอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำ (continuous phase) ของน้ำส้มสายชู และน้ำมะนาว มีไขแดงทำหน้าที่เป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ มายองเนสจะเกิดการเสียสภาพ และการเสื่อมเสียเมื่ออิมัลชันถูกทำลาย หรือเกิดจากปฏิกิริยาออโตออกซิเดชัน (auto oxidation) การเกิดออกซิเดชันของไขมันในมายองเนส ทำให้ระยะเวลาการเก็บรักษาลดลง และยังทำให้เกิดกลิ่นหืน ยิ่งกว่านั้นการเกิดอนุมูลอิสระ (free radical) มาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันง่ายต่อการส่งผ่านไปสู่โมเลกุลของสารอื่น เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และวิตามิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพวกโลหะ (Schaich, Kamal-Edin, and Min, 2008) การเกิดออกซิเดชันในอาหารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของกลิ่น กลิ่นรส สี และคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Patrick M. และคณะ. (2014) ศึกษาผลของระดับฟีนอลิกของพืช แอนโทไซยานิน และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระในโหระพาสีม่วง (*Ocimum basilicum* L.) ในการศึกษานี้จะวัดผลทั้งหมด และแอนโทไซยานิน แต่ละความเข้มข้น และระดับกรดฟีนอลิกในโหระพาสีม่วง 8 สายพันธุ์ พิจารณาความสัมพันธ์

ระหว่างสารประกอบแอนโทไซยานิน สารประกอบกรดฟีนอลิก และสมบัติการต้านอนุมูลอิสระ โดยกลุ่มไม่มีผลต่อจำนวนระดับสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ผลรวมระดับฟีนอลิก และแอนโทไซยานิน มีความสัมพันธ์กับการวัดค่าการต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากในการต้านอนุมูลอิสระ

Sarekha และ Rangrong. (2013) ได้ทำการศึกษา ยูจีนอลที่ใช้ไคโตซานในการทำนาโนพาติเคิล ในการปรับปรุงอุณหภูมิของยูจีนอล ด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของยูจีนอล และ tripolyphosphate (TPP) แสดงถึงค่า loading capacity (LC), encapsulation efficiency (EE), ลักษณะรูปร่าง และการเปลี่ยนแปลงพื้นผิว โดยค่า loading capacity และค่า encapsulation efficiency เพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณยูจีนอล และการลดความเข้มข้น tripolyphosphate อนุภาค loading capacity 12% และ encapsulation efficiency 20% แสดงลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลม มีขนาดเฉลี่ยน้อยกว่า 100 นาโนเมตร ความคงตัวต่ออุณหภูมิของแคปซูลยูจีนอล มีการตรวจสอบผ่านการรีดที่อุณหภูมิ 155 องศาเซลเซียส กับ thermoplastic flour (TPF) โดยแสดงค่าที่ดี และผลเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้ในการทำพลาสติกที่ต้านอนุมูลอิสระ และต้านจุลชีพสำหรับบรรจุภัณฑ์อาหาร

Chloé Butstraen และ Fabien Salaün. (2014) ทำการเตรียมการทำไมโครเอนแคปซูเลชันโดยวิธี complex coacervation ของกัมอาราบิก และไคโตซาน โดยการทำไมโครเอนแคปซูเลชันกัมอาราบิก - ไคโตซาน มีการผสมของ triglycerides (Miglyol 812N) เป็น core phase โดยวิธี complex coacervation ในการศึกษานี้ มีการควบคุมการกำหนดค่าความแตกต่างของกระบวนการไมโครเอนแคปซูเลชัน โดยพบว่า ปริมาณวัฏภาคสมดุลที่เลือกใช้อัตราส่วนคือ 0.10 และเวลาในการเกิดอิมัลชันคือ 15 นาทีที่ 11,000 rpm โดยค่า pH อยู่ที่ 3.6 และอัตราส่วนของไคโตซานผสมกัมอาราบิก คือ 0.25

Seyed และคณะ. (2013) ศึกษาสองขั้นตอนวิธีของการทำเอนแคปซูลเลชันของน้ำมันอาริกาโนในไมโครพาติเคิลไคโตซาน การเตรียม ลักษณะ และการศึกษาการปลดปล่อยในหลอดทดลอง oil-in-water emulsion และ ionic gelation ของไคโตซานกับ sodium tripolyphosphate (TPP) ประสบผลสำเร็จในการทำเอนแคปซูเลชัน มีการยืนยันโดยเทคนิค fourier transform infrared (FTIR) และ X-ray diffraction (XRD) จากการสังเกตนาโนพาติเคิล มีลักษณะสม่ำเสมอและมีรูปร่างเป็นทรงกลม ขนาดอยู่ในช่วง 40-80 นาโนเมตร โดยมีการสังเกตโดยใช้ scanning electron microscopy (SEM) และ atomic force microscopy (AFM) เมื่อศึกษาการปลดปล่อยแสดงการปลดปล่อยอย่างช้า ๆ ภายในหลอดทดลอง

Talita A. และคณะ. (2013) ศึกษาการทำไมโครเอนแคปซูเลชันกรดแอสคอบิกโดยวิธี complex coacervation การป้องกัน และการควบคุมการปลดปล่อย ในการศึกษานี้ใช้เจลาตินและกัมอาราบิกเป็นสารเคลือบ มีสูตรในการทำไมโครเอนแคปซูเลชัน 9 อัตราส่วนของ เจลาติน : กัมอาราบิก: กรดแอสคอบิก มีการตรวจสอบลักษณะรูปร่างโดยใช้ optical microscope และ scanning electron microscope วิเคราะห์ค่า water activity, particle size, encapsulation efficiency, Fourier transform infrared spectroscopy ความชื้น การละลาย และความคงตัวของการทำแคปซูล จากผลการทดลองมีความเป็นไปได้ว่า ผลการทำแคปซูลกรดแอสคอบิกป้องกัน และมีความเสถียรมากในการทำแคปซูลมากกว่าในสารละลายซึ่งเป็นไปได้ถึงการควบคุมการปลดปล่อยภายใต้สภาวะที่จำเพาะ

นภชา และพิษณุ (2547) ทำการศึกษาการพัฒนาตำรับไมโครเอนแคปซูเลชันเพื่อเก็บน้ำมันหอมระเหย ด้วยวิธี complex coacervation และ dripping technique โดยใช้โซเดียมอัลจิเนท 3 ชนิด ร่วมกับไคโตซาน โดยใช้น้ำมันเปปเปอร์มินต์เป็นตัวแทนของน้ำมันหอมระเหย โดยประเมินความสามารถ

ในการเก็บน้ำมันหอมระเหย ด้วยวิธีแก๊สโครมาโตกราฟี ประเมินลักษณะทางกายภาพ คือ ขนาด และการกระจาย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ศึกษาการปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหย จากการศึกษาพบว่า โซเดียมอัลจิเนท ที่ระดับความหนืดปานกลางสามารถเก็บน้ำมันได้มากที่สุด ถ้าใส่น้ำมันในอัตราส่วนที่น้อยกว่าสารก่อผนังไม่มีผลต่อการเก็บน้ำมัน เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันพบว่าความเข้มข้นของผนังที่ความเข้มข้นต่ำสามารถเก็บน้ำมันได้มากกว่า และไมโครพาติเคิลจะเริ่มปลดปล่อยน้ำมันหอมระเหยที่เวลา 30 นาทีที่ pH 1 และ 1 ชั่วโมงที่ pH 6.8 รูปแบบการปลดปล่อยเป็นแบบ sustained release

Y.F.M. Kishk, Hemat E. Elsheshetaway. (2013) ศึกษาผลของการใช้ขิงผงในมายองเนส เพื่อศึกษาความคงตัวของการเกิดออกซิเดชัน ลักษณะทาง rheology และลักษณะทางประสาทสัมผัส ศึกษาโดยการใช้ขิงผงที่ความเข้มข้นต่างกัน พบว่าขิงผงที่ความเข้มข้น 1.0 และ 1.25 % สามารถช่วยเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์มายองเนสได้ ลักษณะความหนืด และอัตราการไหลของมายองเนสไม่มีการเปลี่ยนแปลง และเมื่อเติมขิงผงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าที่ความเข้มข้น 1.0 และ 1.25 % ช่วยรักษาลักษณะทางประสาทสัมผัสระหว่างการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับมายองเนสควบคุม โดยระยะเวลาในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด คือ 20 สัปดาห์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

1. วัตถุดิบ

1.1 สาหร่ายน้ำจืด จากบ้านนาคูหา ตำบลสวนเขื่อน อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ ช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2554

1.2 แป้งข้าวเหนียว ตรานิวเกรด

1.3 แบะแซ ตราปลาแฟนซีคาร์ฟ

1.4 น้ำตาลทรายขาว ตรามิตรผล

1.5 พริกไทย ตราไร่ทิพย์

1.6 ซีอิ๊วขาว ตราเด็กสมบูรณ์

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Metler-Toledo รุ่น AG 204)

2.2 เครื่องปั่น Blender

2.3 อุปกรณ์เครื่องครัว

2.4 เครื่องวัดค่าเนื้อสัมผัส QTS 25 Texture Analyzer (Brookflid Engineering Lab., USA)

2.5 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (Buchi-Kjeldahl system รุ่น B-414)

2.6 ถ้วยวิเคราะห์ความชื้น moisture can

2.7 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณเยื่อใย (Velp รุ่น Fine)

2.8 ชุดอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

2.9 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Buchi, B-810)

2.10 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Novasina รุ่น Aw-center200)

2.11 เครื่องวัดค่าสี (Hunter Lab, DP900)

2.12 เครื่องสเปคโตโฟโตมิเตอร์ (Metler-Toledo รุ่น AG 204)

2.13 เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (HETTICH รุ่น D78532)

2.14 อ่างควบคุมอุณหภูมิ Water bath (Buchi รุ่น B-480)

2.15 ตู้บ่มเชื้อ (Revco รุ่น RI-50-555V)

2.16 เครื่องตีป่นอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อ (Lab System Stomacher รุ่น AG 400)

2.17 ตู้อบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer รุ่น Model KPO-700)

2.18 เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง drum dry

2.19 หม้อนึ่งความดัน (Auto clave) (ALP รุ่น KT30)

2.20 อุปกรณ์และเครื่องแก้วสำหรับปฏิบัติทางชีววิทยา

3. สารเคมี

3.1 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid) (MERCK)

3.2 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide) (Ajax Finechem)

3.3 เอ็น-ออกทานอล (N-octagon) (Fluka)

3.4 อะซีโตน (Acetone) (LAB-SCAN)

3.5 คะตะลิสต์ผสม (Selenium reagent mixture) (MERCK)

3.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) (Ajax Finechem)

3.7 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid) (LAB-SCAN)

3.8 เมทิลเรด (Methyl red) (Fluka)

3.9 กรอบอริก (Boric acid) (Fisher)

3.10 อาหารเลี้ยงเชื้อ DRBC agar (Merck)

3.11 อาหารเลี้ยงเชื้อ Plate Count Agar (Merck)

3.12 Peptone Water (CRITERION)

ตอนที่ 1 ศึกษาการทำไมโครเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากโหระพา

1.1 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างใบโหระพา ซื้อจากบริเวณ ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก นำมาทำความสะอาด ล้างในน้ำ และทำให้แห้งด้วยเครื่องอบลมร้อน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ปริมาณความชื้น 10%) จากนั้นบดให้มีขนาดประมาณ 25 mesh โดยใช้เครื่องปั่น ใบแห้งบรรจุแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งนำไปใช้

1.2 การสกัดโหระพา

โหระพาแห้งสกัดตามวิธีของ T. Juntacholt et al., 2007 โดยการกวนกับ 50 มิลลิลิตร ของเอทานอล และน้ำ (3:1, v/v) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 125 nm) นำสารที่กรองได้ไปทำให้แห้งโดยใช้เครื่อง rotary evaporator ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที สารสกัดที่ได้นำไปเก็บในขวดทึบและเก็บที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส

1.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เป็นผนังที่เหมาะสมการทำเอนแคปซูเลชันด้วยวิธี coacervation (ปรับปรุงจากวิธีการของ Sarekha Woranuch and Rangrong Yoksan, 2013)

การเตรียมสารที่ใช้เป็นผนังทั้งสองชนิดคือ

-ไคโตซาน และเจลาติน มีการเตรียม ดังนี้ ไคโตซาน 1.0 % (w/v) เตรียมโดยนำไคโตซาน 0.1 กรัมละลายในสารละลายกรดอะซิติก (1 % v/v) 100 มิลลิลิตร และนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสใน water bath (Ziming Yang et al., 2014)

-เจลาติน ชนิด B 2.50 % (w/w) เตรียมโดยนำไปละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปรับ pH เป็น 4.0 โดยการเติมสารละลายกรดอะซิติก 10% (w/w) (ปรับปรุงวิธีการของ Zhijian Dong e al., 2011)

จากนั้นเติม Tween 60 ปริมาณ 0.3 กรัมลงในสารละลายที่ใช้เป็นผนังอย่างละ 40 มิลลิลิตร ผสมโดยการกวนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที เติมสารสกัดจากโหระพาลงไปอย่างสม่ำเสมอภายในเวลา 20 นาที โดยอัตราส่วนของสารละลายที่ใช้เป็นผนังกับสารสกัดจากโหระพา (1:0.00, 1:0.25, 1:0.50, 1:0.75, 1:1.00 และ 1:1.25) สารละลาย sodium hydroxide solution 40 มิลลิลิตร (ความเข้มข้น 0.1 ml/L) เติมระหว่างการกวนที่อุณหภูมิปกติภายในเวลา 20 นาที นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นำแคปซูลที่ได้ไปล้างน้ำ 2 ครั้ง จากนั้นนำไปทำ freeze dry อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.4 การวิเคราะห์ทางเคมี และกายภาพของการทำเอนแคปซูเลชันด้วยวิธี coacervation โดยสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ ดังนี้

-ศึกษาประสิทธิภาพของการทำเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation efficiency (EE)) โดยวิธีของ Helena C.F. Carneior และคณะ (2013)

-ศึกษาขนาดอนุภาค (particle size) (Liqin et al., 2011) โดยใช้ เครื่องวัดขนาดอนุภาค (particle size analyzer)

- ปริมาณสารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอลทั้งหมดของสารสกัดจากโหระพาและแคปซูลวัดโดยใช้ Folin-Ciocalteu colorimeteric method ปรับปรุงวิธีของ Singleton et al., (1999)

2 Rs
201
.C3
W58 75
1049849

สำนักหอสมุด
22 มิ.ค. 2565

-ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากโหระพาและแคปซูล โดยวิธี DPPH assay (Wang et al., 1998)

-ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากโหระพาและแคปซูล โดยวิธี FRAP assay (ferric reducing antioxidant power (Benzie and Strain, 1996)

-ปริมาณสารประกอบยูจีนอลจากสารสกัดจากโหระพา (Seung-Joo Lee et al., 2005)

-อัตราการปลดปล่อยสารสกัดจากโหระพาจากแคปซูล (Ziming Yang et al., 2014)

-ค่าการละลายวัดโดยวิธี gravimetric method (Eastman and Moore, 1984) อ้างโดย Cano-Chauca, Stringheta, Ramos and Cal-Vidal (2005)

1.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ นำข้อมูลการวิเคราะห์ทางเคมี คือ ปริมาณสารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอลทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารประกอบยูจีนอล อัตราการปลดปล่อยสารสกัดจากโหระพา ประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชัน และค่าการละลาย วิเคราะห์โดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อคัดเลือกอัตราส่วนของไคโตซาน กับเจลาติน และอัตราส่วนสารเคลือบต่อสารสกัดโหระพา ที่ดีที่สุด

วิธีการตอนที่ 1 ศึกษาการทำเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากโหระพา

ตัวอย่างใบโหระพา

↓

ทำความสะอาด ล้างน้ำ

↓

ทำให้แห้งในเครื่องอบลมร้อนอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ปริมาณความชื้น 10 %)

↓

บดให้มีขนาดประมาณ 25 mesh ด้วยเครื่องปั่น

↓

บรรจุแบบสุญญากาศ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้

↓

สกัดด้วยตัวทำละลายเอทานอล และน้ำ อัตราส่วน 3 : 1 (v/v)
อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

↓

กรองด้วยกระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 125 nm

↓

ทำให้แห้งโดยใช้เครื่อง rotary evaporator อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

↓

สารสกัดที่ได้เก็บในขวดทึบ ปิดฝา และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ –20 องศาเซลเซียส

↓

นำไปทำเอนแคปซูเลชันด้วยวิธี coacervation

↓ ↓

ไคโตซาน 1.0% (w/v)
นำไคโตซาน 0.1 กรัม ละลายในสารละลาย
ด้วยน้ำกลั่น
กรดอะซิติก (1 % v/v) 100 มิลลิลิตร
และนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ
50องศาเซลเซียสใน water bath

เจลาติน 2.50 % (w/w)
นำเจลาตินไปละลาย
ที่อุณหภูมิ 50
องศาเซลเซียส
ปรับ pH เป็น 4 ด้วย
สารละลาย
กรดอะซิติก 10%
(w/w)

↓ ↓

เติม Tween 60 (0.3 กรัม) ในสารละลาย 40 มิลลิลิตร
กวนผสมด้วยเครื่องกวน 300 rpm ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

↓

เติมสารสกัดจากโหระพาลงไปเวลา 20 นาที
อัตราส่วน ไคโตซาน หรือเจลาติ กับ สารสกัดจากโหระพา
(1:0.00, 1:0.25, 1:0.50, 1:0.75, 1:1.00 และ 1:1.25)

↓

สารละลาย sodium hydroxide 40 มิลลิลิตร (0.1 mV/L)
เติมระหว่างการกวนที่อุณหภูมิปกติภายในเวลา 30 นาที

↓

ปั่นเหวี่ยงที่ 10,000 rpm เป็นเวลา 10 นาทีที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

↓

นำไปล้างน้ำ 2 ครั้ง

↓

แคปซูลที่ได้นำไปทำ freeze dry ที่อุณหภูมิ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

↓

วิเคราะห์ลักษณะของแคปซูล ขนาดอนุภาค ปริมาณสารประกอบกลุ่มโพลีฟีนอลทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ปริมาณสารประกอบยูจีนอล อัตราการปลดปล่อยสารสกัดจากโหระพา ประสิทธิภาพของการทำเอนแคปซูเลชัน และค่าการละลาย และการวิเคราะห์ทางสถิติ

หมายเหตุ เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของการทำเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากโหระพาแล้ว ทำการเลือกแคปซูลที่มีคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ดีที่สุดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในอาหารต่อไป

ตอนที่ 2 ศึกษาการประยุกต์ใช้ในมายองเนส

2.1 การทำมายองเนส

การทำมายองเนสปรับปรุงจากวิธีการของ Y.F.M. Kishk และ Hemat E. Elsheshetawy, 2013 สูตรประกอบด้วยส่วนผสมในเปอร์เซ็นต์ (w/w) ได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง 70 ไข่ทั้งฟอง 19.1 เกลือ 1.0 น้ำตาล 0.6 น้ำมะนาว 1.6 น้ำส้มสายชู 5.6 มัสตาร์ด 1.8 และพริกไทยขาว 0.3 การทำเริ่มโดยการผสมไข่ และน้ำส้มสายชู และส่วนผสมทั้งหมด ยกเว้นน้ำมันถั่วเหลือง ผสมด้วยเครื่องปั่นให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นค่อย ๆ เติมน้ำมันถั่วเหลืองลงไปโดยปั่นผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน การใช้มายองเนสในการเติมเอนแคปซูลสารสกัดจากใบโหระพาใช้ เอนแคปซูลที่ความเข้มข้นแตกต่างกันคือ 1.0, 2.0 และ 3.0 (w/w) ผสมจนเข้ากันกับมายองเนส

ตัวอย่างมายองเนสบรรจุในขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร ชนิดฝาปิดแบบสกรู เก็บที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส นำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์วันที่ 0 และทุก ๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 2 เดือน (8 สัปดาห์) ตัวอย่างมายองเนสจะเปรียบเทียบกับมายองเนสทางการค้าที่มีการเติมสารกันเสีย (EDTA 75 ppm) และเปรียบเทียบกับมายองเนสที่เติมสารสกัดจากโหระพาที่ไม่ทำเอนแคปซูเลชัน

2.2 การวิเคราะห์คุณภาพมายองเนส

-การวิเคราะห์ pH วิเคราะห์มายองเนสที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เครื่อง pH meter

- การวิเคราะห์ peroxide value (Angela Tseng and Yanyun Zhao, 2013)

-การวิเคราะห์สี ใช้เครื่อง Hunter lab ดูค่า L*, a* และ b* ของตัวอย่างมายองเนส

-การวิเคราะห์ความหนืดของมายองเนสโดยใช้เครื่อง Brookfield Viscometer (Carolyn N. Rasmussen et al., 2008)

-การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของมายองเนส ใช้เครื่อง particle size analyzer (Carla Di Mattia et al., 2014)

-การวิเคราะห์ทางสถิติ นำข้อมูลการวิเคราะห์ทางเคมี คือ ค่า pH, peroxide value ค่าสี ความหนืด ขนาดอนุภาค มาวิเคราะห์โดยใช้แผนการทดลองแบบ CRD และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เปรียบเทียบกับมายองเนสควบคุม มายองเนสทางการค้าที่มีการเติมสารกันเสีย และมายองเนสที่เติมสารสกัดจากโหระพาที่ไม่ทำเอนแคปซูเลชัน

วิธีการตอนที่ 2 การประยุกต์ใช้ในมายองเนส

ไข่ทั้งฟอง เกลือ น้ำตาล น้ำมะนาว น้ำส้มสายชู มัสตาร์ด และพริกไทยขาว

↓

ปั่นส่วนผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที

↓

ค่อย ๆ เติมน้ำมันถั่วเหลืองจนหมด

↓

ปั่นผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน

↓

เติมแคปซูลของสารสกัดจากใบโหระพา โดยใช้แคปซูลที่ความเข้มข้นแตกต่างกันคือ 1.0, 2.0 และ 3.0 (w/w) ผสมจนเข้ากันกับมายองเนส

↓

บรรจุใส่ขวดแก้ว ปิดฝา และเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง 30 และ 40 องศา**เซลเซียส**

นำไปทำการวิเคราะห์วันที่ 0 และเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ทุก 7 วัน เป็นเวลา 2 เดือน (8 สัปดาห์)

↓

ทำการวิเคราะห์ค่า pH, peroxide value ค่าสี ความหนืด และขนาดอนุภาคของมายองเนส เปรียบเทียบกับมายองเนสตัวควบคุม มายองเนสทางการค้าที่มีการเติมสารกันเสีย และมายองเนสที่มีการเติมสารสกัดจากโหระพาที่ไม่ทำเอนแคปซูเลชัน

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดจากใบโหระพา

ผลของการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบโหระพา

โหระพาที่รู้จักกันทั่วไปนี้มีการค้นพบลักษณะทางพันธุกรรมอยู่ระหว่าง 65 และ 150 สายพันธุ์ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะต่าง ๆ เช่น ลักษณะการเจริญเติบโต (สีใบ ขนาด และรูปร่าง) และองค์ประกอบของกลิ่น (Makri and Kintzios, 2007) จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากใบโหระพา แสดงดังตารางที่ 3 พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอกลิกทั้งหมด 21.41±0.05 มิลลิกรัมแกลลิกต่อร้อยกรัมน้ำหนัก สอดคล้องกับการศึกษาของ Eileen M. Kwee and Emily D. Niemeyer (2011) ซึ่งศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของโหระพา (*Ocimum basilicum* L.) 15 ชนิด พบว่าค่าเฉลี่ยของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของโหระพาอยู่ในช่วง 3.47 – 17.58 มิลลิกรัมแกลลิกต่อร้อยกรัมน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง โดยทั่วไปสารประกอบฟีนอลิกเป็นสารกลุ่มหลักในพืชที่มีบทบาทสำคัญในการต้านอนุมูลอิสระ เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่จำนวนมาก (สุนิสา ศรีสุวรรณ์ และคณะ, 2557)

ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ทำการศึกษาด้วยวิธี DPPH assay ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชั่นได้ ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชั่นสูง ความเข้มข้นของสารละลายสีม่วงจะลดลง และสำหรับการศึกษาโดยวิธี ABTS assay เป็นการวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระ โดยสารละลายจะมีสีเขียว ถ้าตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์มีความสามารถในการต้านออกซิเดชั่นจะเกิดปฏิกิริยาทำให้ความเข้มข้นของสารละลายสีเขียวลดลง (รัชฎาพร อุ่นศิวิไลย์, มปป) การรายงานค่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมีการรายงานค่าในรูป IC_{50} (inhibition concentration, ความเข้มข้นของสารที่มีความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50) ค่าที่ได้ต่ำแสดงถึงฤทธิ์การดักจับอนุมูลอิสระที่ดี แต่ถ้าค่าที่ได้สูง แสดงถึงฤทธิ์การดักจับอนุมูลอิสระที่ไม่ดี (สุนิสา ศรีสุวรรณ์ และคณะ, 2557) จากการศึกษาพบว่าค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ รายงานค่าในรูป IC_{50} ของวิธี DPPH assay ได้ค่าคือ 4.78±0.01 และวิธี ABTS assay มีค่า 2.9±0.14 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อพิจารณาค่าทั้งสองค่านี้มีความสัมพันธ์ และสอดคล้องกับค่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดซึ่งมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ

ตารางที่ 4 ผลของการต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณยูจีนอลของสารสกัดใบโหระพา

การทดสอบ	ปริมาณ
Total Phenolic	21.41±0.05 (mg GAE)
DPPH	4.78±0.01 (mg/ml)
ABTS	2.90±0.14 (mg/ml)
Eugenol	0.01±0.005 (mg)

ปริมาณสารประกอบยูจีนอลของสารสกัดใบโหระพา

ยูจีนอล (4-allyl-2-methoxyphenol) เป็นสารประกอบที่พบเป็นส่วนใหญ่ใน น้ำมันกานพลู ลูกจันทน์เทศ อบเชย และโหระพา มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ และต้านจุลชีพ (Sarunya Phunpee et al., 2016) การวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบยูจีนอลในสารสกัดใบโหระพา โดยใช้เครื่อง HPLC พบว่าในสารสกัดใบโหระพา 1 มิลลิลิตร มีสารประกอบยูจีนอล 0.01±0.005 มิลลิกรัม ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Farhin Inam et al., 2014 ทำการศึกษาการหาปริมาณสารประกอบยูจีนอลจากการสกัดเครื่องเทศบางชนิด พบว่า *Ocimum sanctum* มีปริมาณสารประกอบยูจีนอล 5.93 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นของสารสกัดใบโหระพา

ประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่น เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการทำเอนแคปซูเลชั่น ค่าที่มากจะแสดงถึงความสามารถในการทำเอนแคปซูเลชั่นที่มีประสิทธิภาพดี ซึ่งทำให้แคปซูลมีความสามารถในการห่อหุ้มสารที่อยู่ภายในได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนค่าที่น้อยแสดงถึงความสามารถในการทำเอนแคปซูเลชั่นที่ไม่ดี และเป็นกุญแจสำคัญในกระบวนการทำเอนแคปซูเลชั่น เพราะเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงปริมาณโดยตรงของการสูญเสียน้ำมัน (José A. Piornos et al., 2017)

การศึกษาประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นของสารสกัดใบโพระพาโดยใช้โซเดียมอัลจิเนต และไคโตซานเป็นสารเคลือบ ทำการเปรียบเทียบชนิดของสารเคลือบ และอัตราส่วนของสารสกัดใบโหระพา ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบ คือร้อยละ 41.85±0.18 - 5.28±0.65 ในขณะที่ใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบ ค่าประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่น คือร้อยละ 2.42±0.08 - 0.13±0.01

จากผลการทดลองประสิทธิภาพของการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพา ทำการเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารเคลือบ 2 ชนิด และอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ และสารสกัด พบว่า พบว่าโซเดียมอัลจิเนตมีประสิทธิภาพในการทำเอนแคปซูเลชั่นอยู่ในช่วงที่สูงกว่าการใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารสกัดพบว่าประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นลดลง เช่นเดียวกับการศึกษาของ Saravanan M.and Panduranga K. Rao (2010) ทำการเอนแคปซูเลชั่นด้วยวิธี coacervation พบว่าประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นที่ได้เป็นช่วงกว้างระหว่างร้อยละ 2.92 - 96.3 และในการทดลองเมื่อใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบประสิทธิภาพในการทำเอนแคปซูเลชั่นสูงกว่าไคโตซาน เนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ ทำให้แคปซูลเกิดโครงสร้างที่แข็งแรง ซึ่งมีความสามารถในการจับกับสารที่อยู่ภายในแคปซูลได้ดี นอกจากนี้การศึกษาของ Sakrekha and Rangrong (2013) ศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นยูจีนอลโดยใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบ พบว่าประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นอยู่ในช่วงร้อยละ 2.4 - 20.2 ซึ่งค่าที่ได้มีเหตุผลมาจากการหดตัวของอนุภาคผนังของแคปซูล เนื่องจากระดับของการทำ cross-linking มีค่าสูง สารที่อยู่ภายในจึงถูกบีบออกมาระหว่างการทำเอนแคปซูเลชั่น

ตารางที่ 5. ประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นของสารสกัดใบโหระพาที่ใช้โซเดียมอัลจิเนต

และไคโตซานเป็นสารเคลือบกับการเปรียบเทียบอัตราส่วนของสารเคลือบกับสารสกัดใบโหระพา

อัตราส่วน wall:core	ร้อยละ1 (w/v) โซเดียมอัลจิเนต	ร้อยละ 2.5 (w/v) ไคโตซาน
1:0.25	41.85^{aA}±0.18	2.42^{aB}±0.08
1:0.50	23.22^{bA}±0.00	1.37^{bB}±0.20
1:0.75	11.16^{cA}±0.03	1.08^{bB}±0.60
1:1.00	8.26^{dA}±0.15	0.24^{cB}±0.17
1:1.25	5.28^{eA}±0.65	0.13^{cB}±0.01

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ขนาดอนุภาคของแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นของสารสกัดใบโหระพา

การศึกษาขนาดอนุภาคของแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพาด้วยวิธี coacervation โดยศึกษาความแตกต่างกันของอัตราส่วนที่ใช้ในการทำแคปซูล และศึกษาสารที่ใช้เป็นสารเคลือบที่แตกต่างกัน วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแคปซูลชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 6 พบว่าแคปซูลที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 1.34±0.07 - 3.07±0.32 มิลลิเมตร และแคปซูลที่ใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 2.28±0.17 - 3.81±0.32 มิลลิเมตร

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของสารสกัดใบโหระพาในแคปซูลที่เตรียมโดยใช้ โซเดียมอัลจิเนต และไคโตซานเป็นสารเคลือบ พบว่าขนาดอนุภาคของแคปซูลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นน้ำมันอาริกาโน่โดยใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันอาริกาโน่จะส่งผลทำให้ขนาดของแคปซูลเพิ่มขึ้น (Seyed et al., 2013) สำหรับผลการทดลองที่ระบุว่าไม่สามารถตรวจวัดได้นั้น เนื่องจากแคปซูลที่ได้มีลักษณะที่ไม่เป็นรูปร่าง และไม่เป็นทรงกลม สารที่อยู่ภายในแคปซูลมีผลโดยตรงกับขนาดของแคปซูล อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบขนาดของแคปซูลที่ใช้โซเดียมอัลจิเนต และไคโตซานพบว่าแคปซูลที่ได้จากการใช้โซเดียมอัลเจเนตเป็นสารเคลือบจะมีลักษณะของแคปซูลเป็นทรงกลมกว่าแคปซูลที่ใช้ไคโตซาน ดังภาพที่ 13 และ 14

ตารางที่ 6. ขนาดของอนุภาคแคปซูลของการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพาที่ความแตกต่างของอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบกับสารสกัดใบโหระพา

อัตราส่วน wall: core	ร้อยละ 1 (w/v) โซเดียมอัลจิเนต (มิลลิเมตร)	ร้อยละ 2.5 (w/v) ไคโตซาน (มิลลิเมตร)
1:0	2.00^{cA} ±0.15	2.28^{bA}±0.17
1:0.25	1.34^{eA}±0.07	3.81^{aB}±0.320
1:0.50	1.74^{d}±0.12	nd
1:0.75	2.65^{b}±0.21	nd
1:1.0	2.68^{b}±0.27	nd
1:1.25	3.07^{a}±0.32	nd

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95, nd = not detected

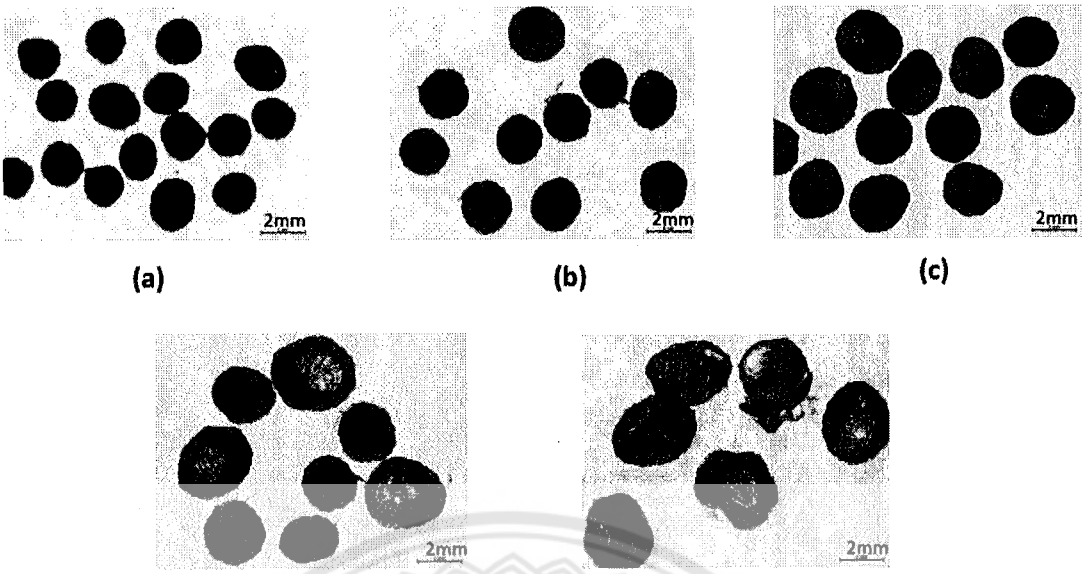
ลักษณะของแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพา

ประสิทธิภาพของแคปซูลขึ้นอยู่กับลักษณะของแคปซูล ลักษณะทางเคมี และลักษณะของสารเคลือบซึ่งมีอิทธิพลต่อการเกิดแคปซูล (Yadav, Suresh, and Khilar, 1990).โดยทั่วไปมักจำแนกตามลักษณะของสารแกนกลางเป็น 2 ประเภท คือ แคปซูลที่แกนกลางทั้งหมดถูกห่อหุ้มด้วยสารหุ้ม เรียกว่า แคปซูลแบบแกนกลางเดียว (mononuclear core หรือ single core) และแคปซูลที่แกนกลางเล็กๆ จำนวนมากถูกห่อหุ้มด้วยสารห่อหุ้ม เรียกว่า แคปซูลแบบหลายแกนกลาง (multinuclear core หรือ multiple core) ลักษณะของแคปซูลศึกษาโดยใช้เครื่อง stereo microscope กำลังขยาย 10 เท่า โดยศึกษาลักษณะของแคปซูลที่ได้ โดยศึกษาขนาด รูปร่าง และรูปทรงของแคปซูลเปรียบเทียบปริมาณสารสกัดใบโหระพา (core material) รวมทั้งเปรียบเทียบชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในการทำเอนแคปซูเลชั่น คือ โซเดียมอัลจิเนต และไคโตซาน จากการศึกษาพบว่าผลการทำเอนแคปซูเลชั่น ของสารสกัดใบโหระพาโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบ ผลของลักษณะของแคปซูลโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบ แสดงดังรูปที่ 13 ลักษณะของแคปซูลจากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพาโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบที่อัตราส่วนต่างๆ มีลักษณะเป็นทรงกลม ลักษณะของแคปซูลเป็นแบบ multiple core และเมื่อเปรียบเทียบการใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบ ลักษณะของแคปซูลที่ได้มีลักษณะไม่เป็นรูปร่าง แคปซูลที่ได้มีลักษณะแบบ single core

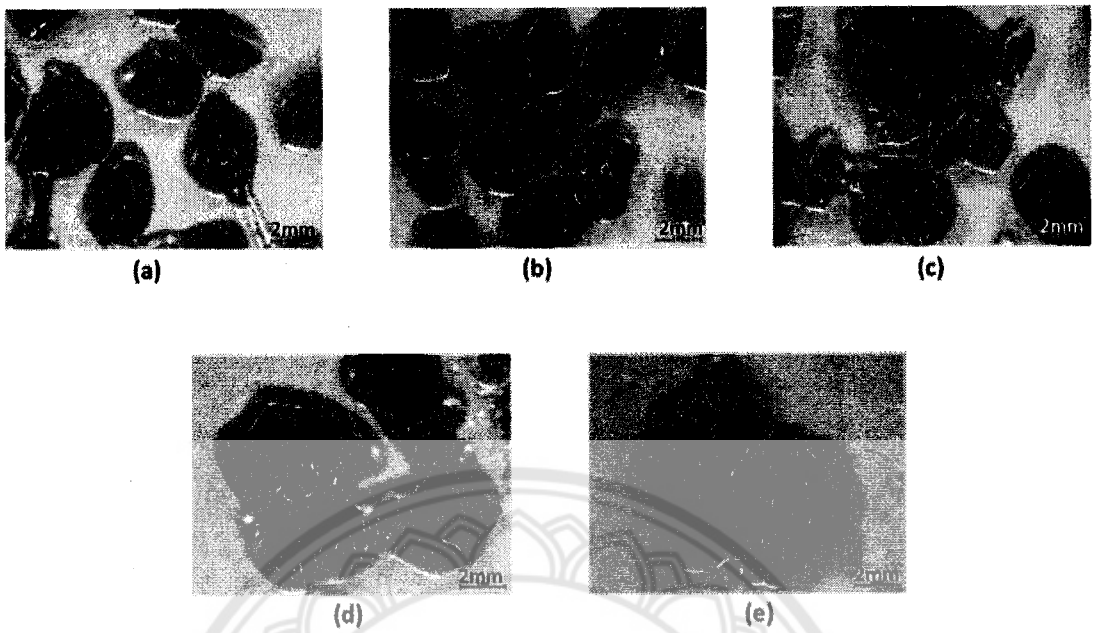
เมื่อเพิ่มระดับปริมาณของสารสกัดใบโหระพา (core material) พบว่าแคปซูลที่ได้มีขนาดอนุภาคเพิ่มมากขึ้น และรูปทรงเปลี่ยนจากเป็นทรงกลมเป็นลักษณะไม่เป็นทรงกลมมากขึ้น เช่นเดียวกับผลการทดลองของ นภชา พิริยะชนานุสรณ์ และพิษณุ คงเมือง (2547), Ziming Yang et al., (2014) และ Seyed Fakhreddin Hosseini et al., (2013) พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารที่ถูกห่อหุ้ม (core material) แคปซูลมีขนาดเพิ่มขึ้น และการศึกษาของ Bo Wang et al., (2014) ซึ่งศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นน้ำมันปลา (tuna oil) ด้วยวิธี coacervation พบว่า เกิดการเอนแคปซูเลชั่นรอบๆ

หยดของน้ำมัน การรวมกลุ่มของหยดน้ำมันภายในสารเคลือบนำไปสู่การเกิด multi-core microcapsules โดยปกติถือว่าเป็นกระบวนการที่ดีในการควบคุมการปลดปล่อยมากกว่า single-core โดย multi-core จะปลดปล่อยสารภายในออกมาอย่างช้าๆ มากกว่า single core ที่มีการปลดปล่อยสารออกมาภายในครั้งเดียว และ multi-core เป็นกลไกที่มีประสิทธิภาพมากกว่า single-core ซึ่งเหมาะแก่การนำมาใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหาร เช่น กระบวนการ homogenization และ extrusion

ลักษณะของแคปซูลที่ใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบ ดังภาพที่ 14 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดจากใบโหระพาแคปซูลที่ได้มีลักษณะไม่เป็นทรงกลม และไม่เป็นรูปร่าง จากรายงานของ Li, Song, Yang and Fan, 2006 ให้เหตุผลว่าเนื่องจากไคโตซานเป็นพวก polyelectrolyte เมื่อมีการนำสารละลายไคโตซานไปละลายในกรดอะซิติก หรือปรับค่า pH ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าของไคโตซานลดลงที่ pH ประมาณ 4 เมื่อปรับ pH ให้มีค่าต่ำกว่า 2 ค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้น หมู่อะมิโนในสายของไคโตซานจะจับกับโปรตอนอิสระซึ่งเกี่ยวข้องกับการหด และขยายตัวของโครงสร้างเนื่องจากเกิด electrostatic repulsions เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไคโตซาน ร้อยละ 3 (w/v) ทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง เนื่องจากไอออนอิสระในสารละลายลดลง ซึ่งสอดคล้องกับในการทดลองการทำเอนแคปซูเลชั่นที่ใช้ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2.5 (w/v) ทำให้มีความสามารถในการเป็นสารเคลือบที่ไม่ดี นอกจากนี้ยังมีสาเหตุอื่นที่มีผลต่อการทำเอนแคปซูเลชั่นอีกด้วย โดย Ziming Yang et al., (2014) ศึกษา และพัฒนาการทำเอนแคปซูเลชั่นสารให้กลิ่นรสด้วยวิธี complex coacervation ในการศึกษาพบว่า ความหนืดของไคโตซานมีผลต่อการเกิดแคปซูลโดยค่าความหนืดที่เหมาะสมที่สุดในการทำเอนแคปซูเลชั่น คือ ไคโตซานที่มีความหนืดปานกลาง ซึ่งทำให้แคปซูลมีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลม และมีผิวเรียบ โดยถ้าใช้ไคโตซานที่มีความหนืดต่ำจะทำให้แคปซูลที่ได้มีลักษณะของผนังแข็ง และจะพบปัญหาในการรวมตัวกันเป็นแคปซูลเมื่อใช้ไคโตซานความหนืดสูง ซึ่งการควบคุมการปลดปล่อยสารออกจากแคปซูลต้องขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ และความแข็งแรงของผนังแคปซูล



ภาพที่ 13. ลักษณะของแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโห**ระพา โดยใช้** โซเดียมอัลจิเนตความเข้มข้นร้อยละ 1 เป็นสารเคลือบความแตกต่าง**กันของ** อัตราส่วน wall/core material จากกล้อง stereo microscope **กำลังขยาย 10 เท่า:** (a) 1:0.25 (b)1:0.50 (c) 1:0.75 (d) 1:1และ (e) 1:



ภาพที่ 14. ลักษณะของแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโห**ระพา โดยใช้** ไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 2.5 เป็นสารเคลือบความแตกต่างกันของ อัตราส่วน wall/core material จากกล้อง stereo microscope **กำลังขยาย 10 เท่า:** (a) 1:0.25 (b)1:0.50 (c) 1:0.75 (d) 1:1และ (e) 1:1.25

การละลายของแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพา

การศึกษาการละลายมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนา ปรับปรุง ความสามารถในการละลาย และความคงตัวของแคปซูล (Miriana Kfoury et al., 2016) ในการทดสอบการละลายนี้ได้ทำการทดสอบการละลายได้ของแคปซูลในน้ำกลั่น เพื่อวัดความสามารถในการละลายน้ำของแคปซูล จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดจากใบโหระพาด้วยสารเคลือบต่างชนิด และต่างความเข้มข้นของอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ และสารสกัดใบโหระพา แสดงดังตารางที่ 7 พบว่าค่าการละลายของแคปซูลที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบมีค่าระหว่าง 1.54±0.09 - 5.10±0.08 เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารสกัดใบโหระพา ค่าการละลายน้ำเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และเมื่อใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบค่าการละลายมีค่าระหว่าง 1.67±0.01 - 5.10±0.04 ค่าการละลายเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารสกัดใบโหระพาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และมีค่าการละลายน้ำดีกว่าการใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากไคโตซานเป็นสารประกอบโพลิแซกคาไรด์ และมี amino group ที่ช่วยเพิ่มการละลาย (Ung-Jin Kim et al., 2017) จากการทดลองก่อนหน้านี้พบว่าประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นที่ใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบมีประสิทธิภาพต่ำกว่าอัลจิเนต จากข้อมูลดังกล่าวมีความสอดคล้องกับค่าการละลายของแคปซูล โดยแคปซูลที่มีประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นต่ำจะมีความสามารถในการละลาย หรือสลายตัวได้ดีกว่าแคปซูลที่มีประสิทธิภาพการทำแคปซูลที่สูง จากการศึกษาของ Talita et al., (2013) ให้เหตุผลเพิ่มเติมอีกว่าสารเคลือบกลุ่มที่มีขั้วมีความสามารถในการดูดซับน้ำจากภายนอกได้ส่งผลให้ค่าการละลายน้ำที่สูงกว่า ดังนั้นจึงมีความเป็นไป

ได้ว่าจากการทดลองใช้ไคโตซาน กับโซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบ ไคโตซานมีสมบัติความเป็นขั้วมากกว่า ทำให้มีความสามารถในการละลายน้ำมากกว่า ความสามารถของการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเคลือบที่มีความเป็นขั้วมาก (Miriana Kfoury et al., 2016) มีความเป็นไปได้ที่จะมีการปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในแคปซูลออกมาได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สารสกัดออกมาจากแคปซูลในระยะเวลาที่รวดเร็วกว่าการใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบ นอกจากนี้ Zhijian Dong et al., 2011 กล่าวว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารที่อยู่ภายใน และสารเคลือบ พบว่าแคปซูลมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่ผนังของแคปซูลมีความหนาลดลง เมื่อผนังของแคปซูลบางลงการจับกันของพันธะความสามารถในการจับกันของพันธะจึงลดลง ทำให้ความสามารถในการละลายของแคปซูลเพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 7. การละลายของแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพาที่ใช้สารเคลือบที่แตกต่างกันและอัตราส่วนของสารสกัดใบโหระพาที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน Wall: Core	ร้อยละ 1 (w/v) โซเดียมอัลจิเนต	ร้อยละ 2.5 (w/v) ไคโตซาน
1:0.00	1.54^{eA}±0.09	1.67^{dA}±0.01
1:0.25	1.64^{eA}±0.00	4.92^{bcB}±0.02
1:0.50	2.10^{dA}±0.04	5.00^{bB}±0.01
1:0.75	3.20^{cA}±0.05	5.00^{abB}±0.03
1:1.00	3.38^{bA}±0.01	5.06^{aB}±0.01
1:1.25	5.10^{aA}±0.08	5.10^{aB}±0.04

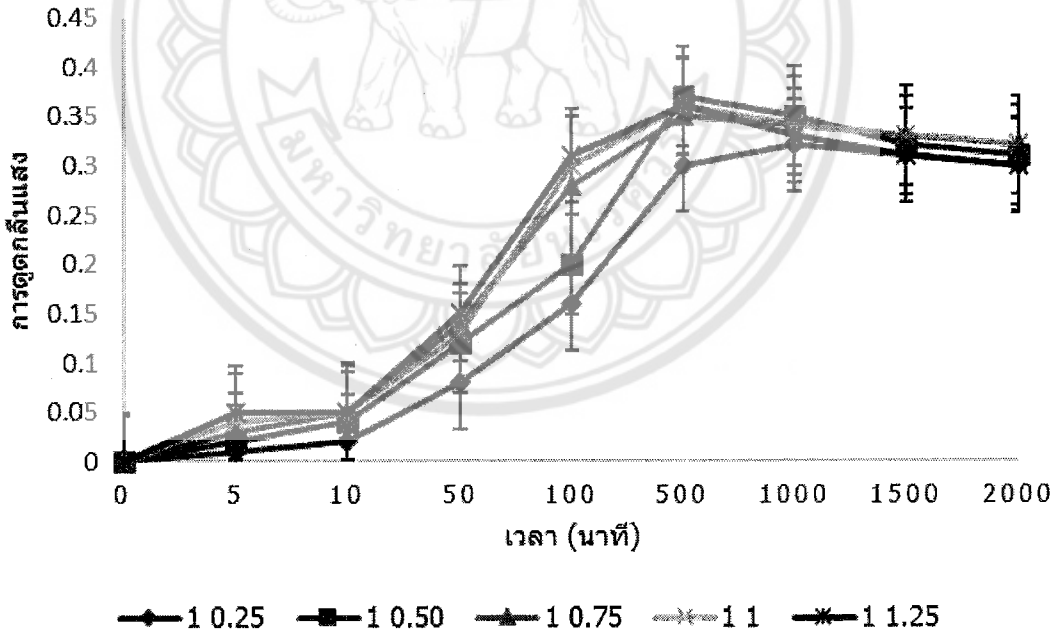
ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

อัตราการปลดปล่อยสารสกัดจากใบโหระพาจากแคปซูล

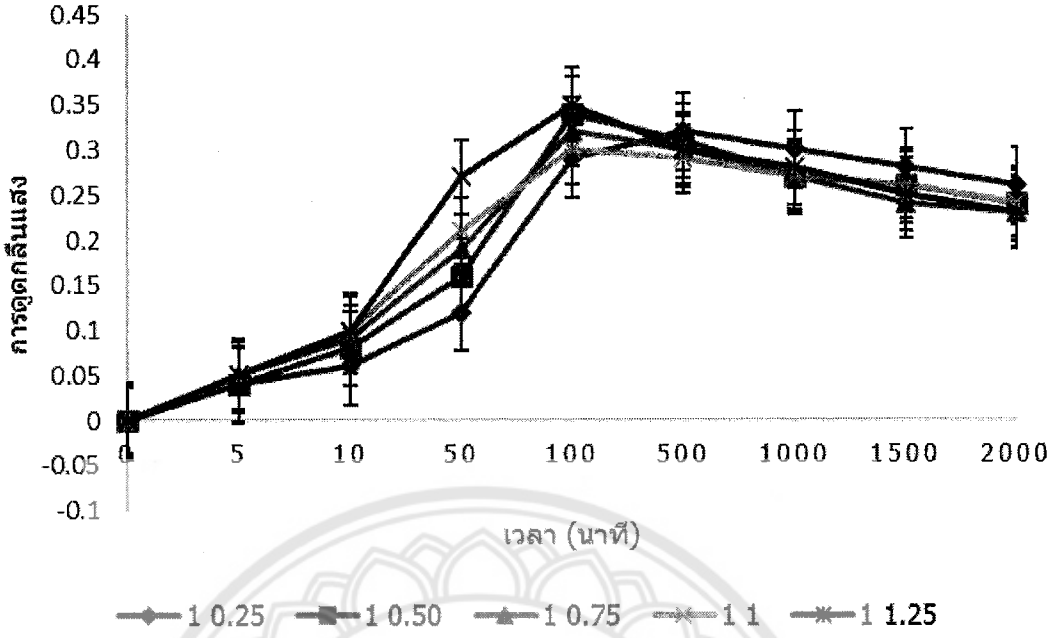
อัตราการปลดปล่อยของแคปซูลเป็นค่าที่แสดงถึงการปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในแคปซูลออกมาสู่ภายนอก โดยอัตราการปลดปล่อยสามารถคาดการณ์ได้จากการสร้างแบบจำลองของการปลดปล่อยของแคปซูลจากสภาวะ และตัวทำละลายต่างๆ แล้วนำค่าที่ได้มาคาดการณ์อัตราการปลดปล่อย เพื่อแสดงอัตราการปลดปล่อย อัตราการปลดปล่อยจะขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ และความหนาแน่นของสารเคลือบ (Ziming Yang et al., 2014) จากการทดลองได้ทำการจำลองอัตราการปลดปล่อยโดยวัดอัตราการปลดปล่อยจากค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ที่ความยาวคลื่น 338 นาโนเมตร (Paulo H. M. Marfil et al., 2016) ในเวลาที่แตกต่างกันพบว่าอัตราการปลดปล่อยของสารสกัดใบโหระพาที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น และเมื่อระยะเวลา 500 นาที อัตราการปลดปล่อยค่อยๆ คงที่ และลดลง เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นแสดงดังภาพที่ 15

สำหรับอัตราการปลดปล่อยของสารสกัดใบโหระพาจากแคปซูลที่ใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบพบว่า อัตราการปลดปล่อยมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่เวลา 100 นาที และอัตราการปลดปล่อยค่อยๆ ลดลง หลังจาก 100 นาที (ภาพที่ 16) เมื่อเปรียบเทียบไคโตซาน และโซเดียมอัลจิเนตที่ใช้เป็นสารเคลือบ ไคโตซานมีอัตราการปลดปล่อยที่เร็วกว่าแคปซูลจากโซเดียมอัลจิเนต จากการทดลองพบว่าอัตราการปลดปล่อยจะมีความสัมพันธ์กับค่าประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นด้วย เนื่องจากแคปซูลที่มีประสิทธิการทำเอนแคปซูเลชั่นต่ำ จะมีอัตราการปลดปล่อยที่รวดเร็วกว่า เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของสารสกัดใบโหระพา พบว่าอัตราการปลดปล่อยของสารสกัดมีอัตราการปลดปล่อยสูงขึ้นทั้งในแคปซูลที่ใช้โซเดียมอัลจิเนต และไคโตซานเป็นสารเคลือบ

อัตราการปลดปล่อยจะแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกอัตราการปลดปล่อยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ระยะที่ 2 คือ ระยะที่อัตราการปลดปล่อยจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และลดลง เนื่องจากสารที่อยู่ภายในถูกปลดปล่อยสู่ภายนอก เช่นเดียวกับในการศึกษาของ Nathalia et al., (2016) ศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดจาก Stevia rebaudiana Bertoni โดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบ พบว่าในระยะแรกอัตราการปลดปล่อยเกิดขึ้นประมาณร้อยละ 50 ในระยะเวลา 10 นาที และในช่วงระยะที่สอง (40 - 240 นาที) อัตราการปลดปล่อยเกิดขึ้นอย่างช้าๆ อัตราการปลดปล่อยที่ดีควรมีการปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในแคปซูลออกมาอย่างช้าๆ เพื่อช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษา หรือยืดระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ให้นานขึ้น



ภาพที่ 15. อัตราการปลดปล่อยสารสกัดใบโหระพาโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 16. อัตราการปลดปล่อยสารสกัดใบโหระพาโดยใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพา เปรียบเทียบระหว่างชนิดของสารเคลือบ คือ โซเดียมอัลจิเนต และไคโตซาน และเปรียบเทียบอัตราส่วนของสารเคลือบกับสารสกัดเพื่อเลือกแคปซูลที่ดีที่สุดไปทำการทดลองในการทดลองถัดไป จากผลการศึกษาพบว่า โซเดียมอัลจิเนตอัตราส่วน 1:0.25 เป็นสารเคลือบ และอัตราส่วนที่ดีที่สุดของการทดลอง โดยวิเคราะห์จากผลของประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นที่มีค่าสูงที่สุด และมีขนาดอนุภาคของแคปซูลเล็กที่สุด มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อย และมีแนวโน้มของอัตราการปลดปล่อยที่ดี คือ อัตราการปลดปล่อยเป็นไปอย่างช้าๆ ตามระยะเวลา และค่อยๆ ลดลง ทำให้สารสกัดใบโหระพาที่อยู่ภายในค่อยๆ ปลดปล่อยออกมาจากแคปซูลซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปทำการทดลองในการทดลองต่อไปมากที่สุด

ตอนที่ 2 ศึกษาการประยุกต์ใช้ในมายองเนส

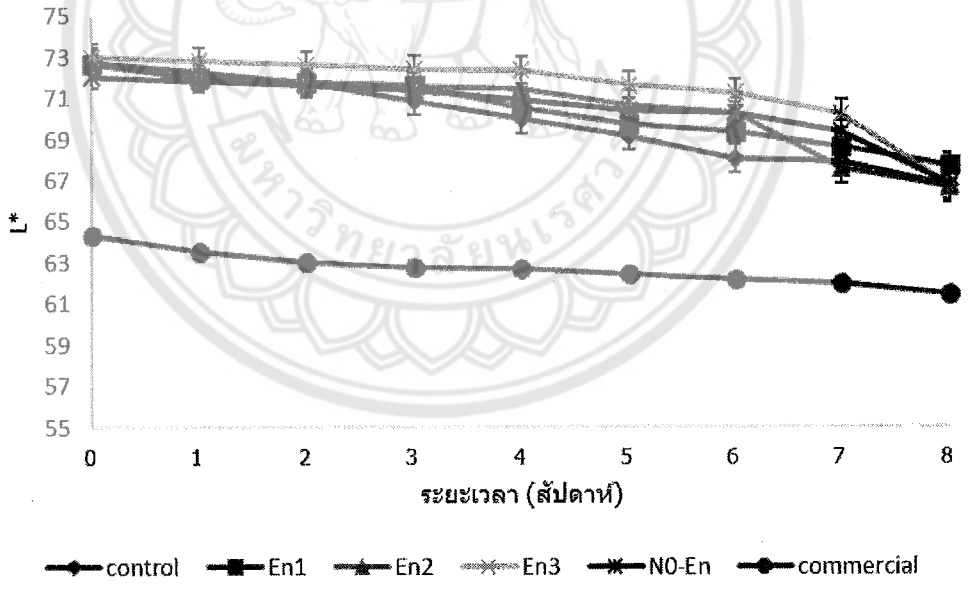
จากการศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นในการศึกษาข้างต้นได้ทำการคัดเลือกชนิดของสารเคลือบ และอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดมาทำการทดสอบการประยุกต์ใช้ในอาหาร โดยสารเคลือบที่เหมาะสมที่สุด คือ โซเดียมอัลจิเนต และอัตราส่วนของสารเคลือบต่อสารสกัดที่เหมาะสมที่สุด คือ 1:0.25

ในการศึกษาการประยุกต์ใช้ในมายองเนส ทำการเตรียมมายองเนสจากสูตรพื้นฐานดังสูตร ตอนที่ 2 ข้อที่ 1 และนำแคปซูลที่ได้จากตอนที่ 1 มาใส่ลงในมายองเนสที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1, 2 และ 3 ของน้ำหนัก ศึกษาโดยเปรียบเทียบกับมายองเนสตัวควบคุม มายองเนสที่ใส่สารสกัดใบโหระพาความเข้มข้นร้อยละ 1 และมายองเนสทางการค้าที่มีการเติมสารต้านการเกิดออกซิเดชั่น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 8 สัปดาห์ สุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์ค่าทางเคมี และกายภาพทุกๆ สัปดาห์

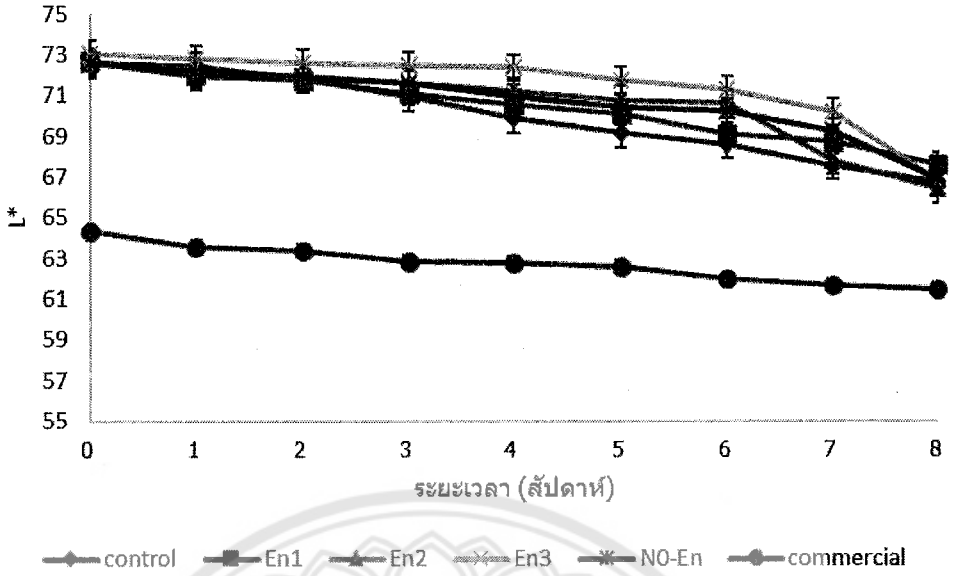
การเปลี่ยนแปลงของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษา

ค่าสี (Color)

ค่า L* คือ ค่าความสว่าง (Lightness) ค่า 100 แสดงถึงสีขาวไปจนถึงค่า 0 แสดงถึงสีดำ จากการวิเคราะห์ค่า L* ของมายองเนสที่มีการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยพบว่าค่า L* ในช่วงเริ่มต้นถึงสัปดาห์ที่ 8 ค่า L* มีค่าต่ำกว่าค่าเริ่มต้น โดยค่า L* ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสมีค่าอยู่ในช่วง 72.04±0.02 - 66.63±0.01 ยกเว้นในมายองเนสทางการค้าซึ่งอยู่ในช่วง 64.34±0.03 - 61.45±0.02 (ภาพที่ 17) และค่า L* ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสมีค่าอยู่ในช่วง 72.55±0.02 - 66.34±0.02 และในมายองเนสทางการค้ามีค่าอยู่ในช่วง 64.33±0.02 - 61.45±0.02 (ภาพที่ 38) เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่า L* มีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะการเก็บเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และสุริยาพร นิพรรัมย์ (2557) โดยค่า L* ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำสลัดสามารถเกิดสีน้ำตาลแบบปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้ เนื่องจากในไข่แดงมีส่วนผสมของน้ำตาล และกรดอะมิโนอิสระ (free amino acids) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้อย่างช้าๆ ที่สภาวะที่เป็นกรดมีค่า) ประมาณ pH 3-4 (Smittle, 2000)

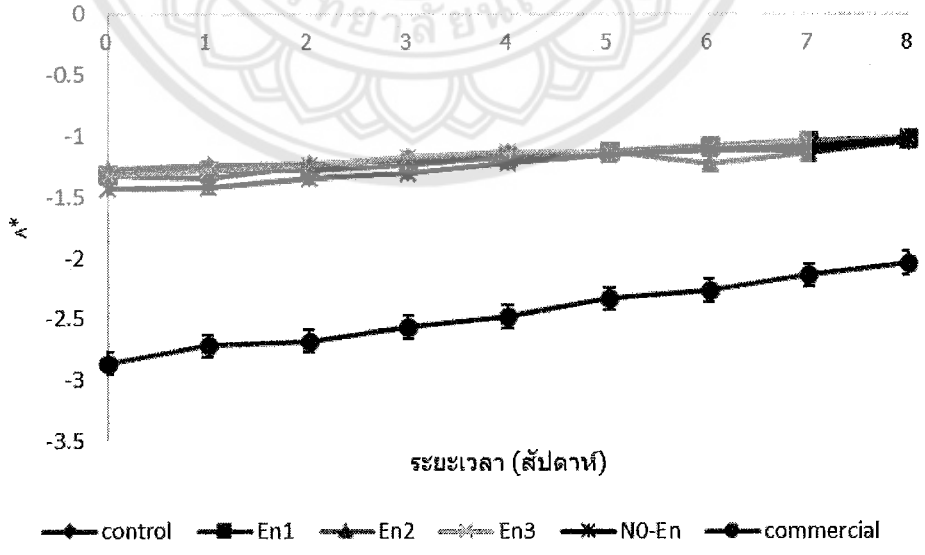


ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C

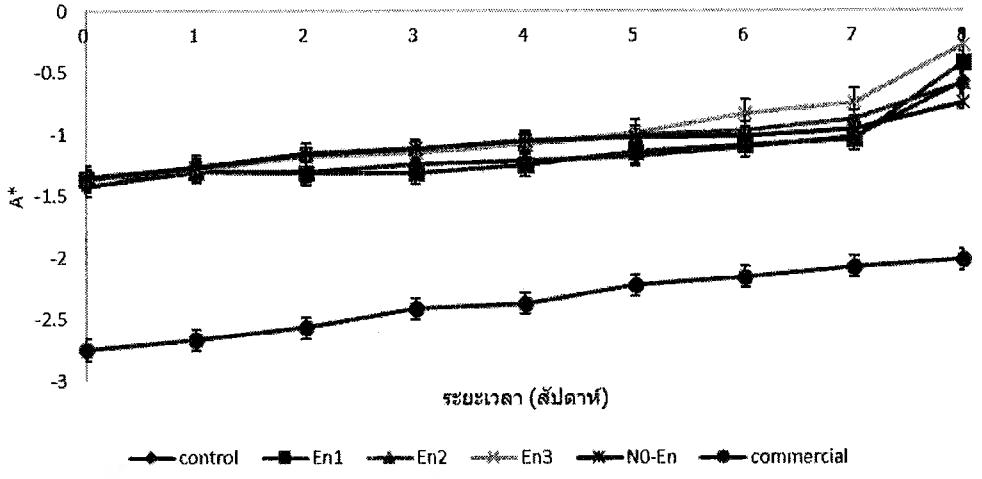


ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่าสี L* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C

ค่า a* จะแสดงถึงค่าสีเขียว (-) ไปจนถึงสีแดง (+) การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* พบว่าเมื่อเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ค่า a* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) (ภาพที่ 19 และ 20) แต่ในการเก็บมายองเนสที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ค่า a* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยค่าสีมีแนวโน้มมาทางสีแดงมากขึ้นเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล

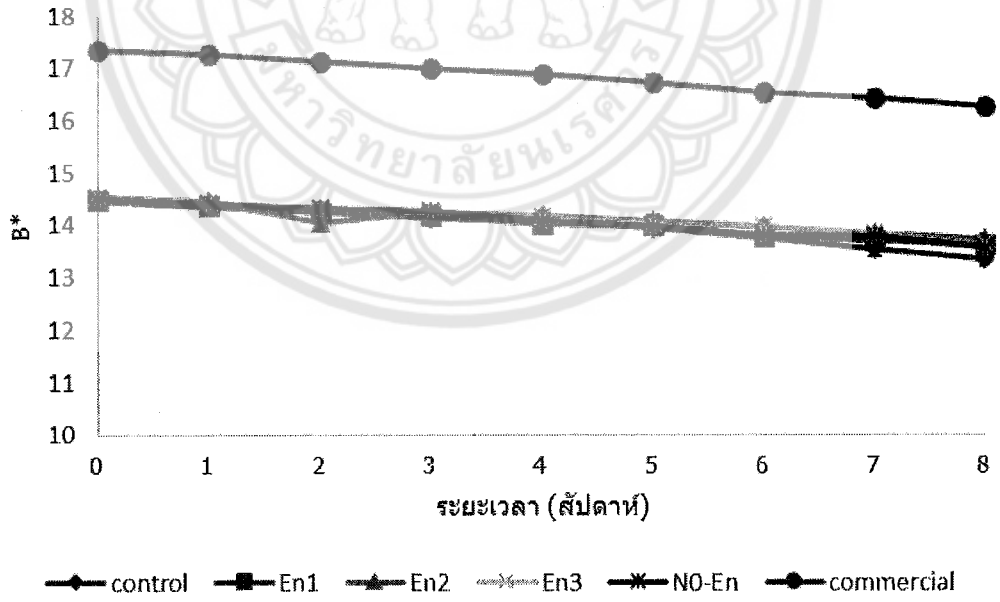


ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C

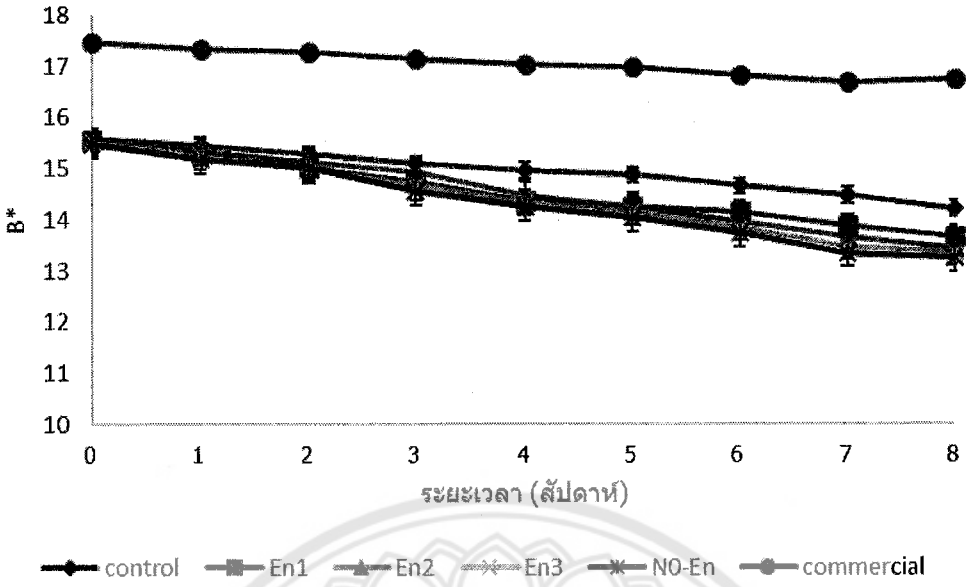


ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าสี a* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C

ค่า b* จะแสดงสีเหลือง (-) ไปจนถึงสีน้ำเงิน (+) เมื่อทำการเก็บรักษาตัวอย่างเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ จากภาพที่ 21 และ 22 พบว่าในทุกๆ ตัวอย่าง ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ค่า b* มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากสารสกัดใบโหระพามีลักษณะเป็นสีเหลือง เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นทำให้สารสกัดที่อยู่ภายในแคปซูลที่ถูกเอนแคปซูเลชั่น ถูกปลดปล่อยออกมา ค่าที่วัดได้จึงมีแนวโน้มไปทางค่าที่เป็นสีเหลืองมากขึ้น



ภาพที่ 21. การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C



ภาพที่ 22. การเปลี่ยนแปลงค่าสี b* ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C

การเติมแคปซูลลงในมายองเนสที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลทำให้ค่า L* และ a* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อสารสกัดที่อยู่ภายในถูกปลดปล่อยออกมาในมายองเนสแนวโน้มค่า b* เพิ่มขึ้นตามลักษณะสีของสารสกัดใบโหระพาที่ปลดปล่อยออกมาจากแคปซูล

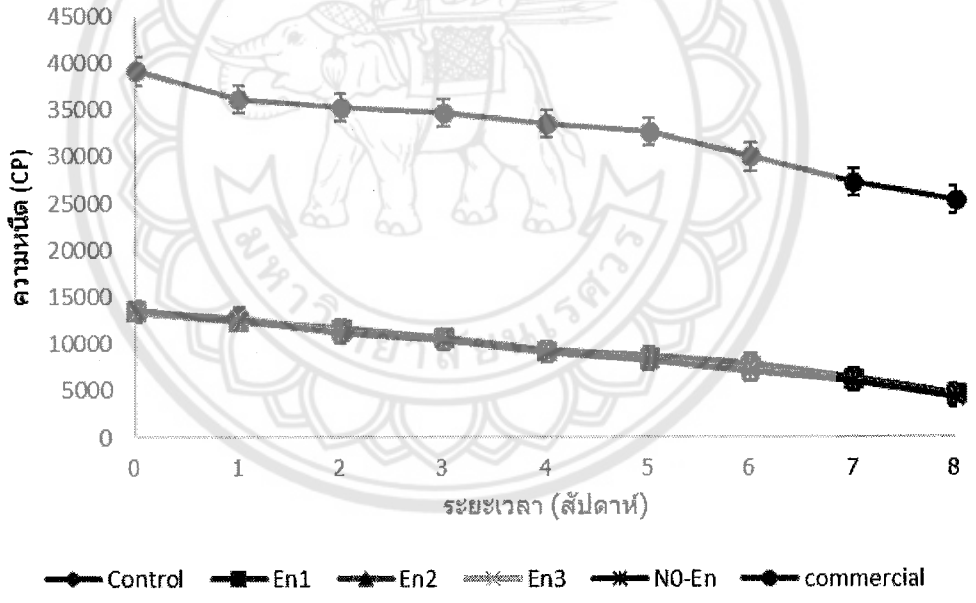
ความหนืด (viscosity)

ผู้บริโภครับรู้ความหนืดของอาหารได้ทางประสาทสัมผัสระหว่างการใช้ผลิตภัณฑ์ เช่น การเท การตัก ออกจากบรรจุภัณฑ์ การกวน การปาด การจิ้มการชุบทอด (battering) และระหว่างการรับประทาน อาหารที่มีความหนืดผิดปกติ เช่น ซอสที่เหลวเกินไป หรือแยกชั้น ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นเพื่อให้อาหารมีความหนืดตามที่ผู้บริโภคต้องการ ผู้ผลิตอาหารจึงจำเป็นต้องเข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของอาหาร และรักษาความหนืดของอาหารให้มีความสม่ำเสมอ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, มปป)

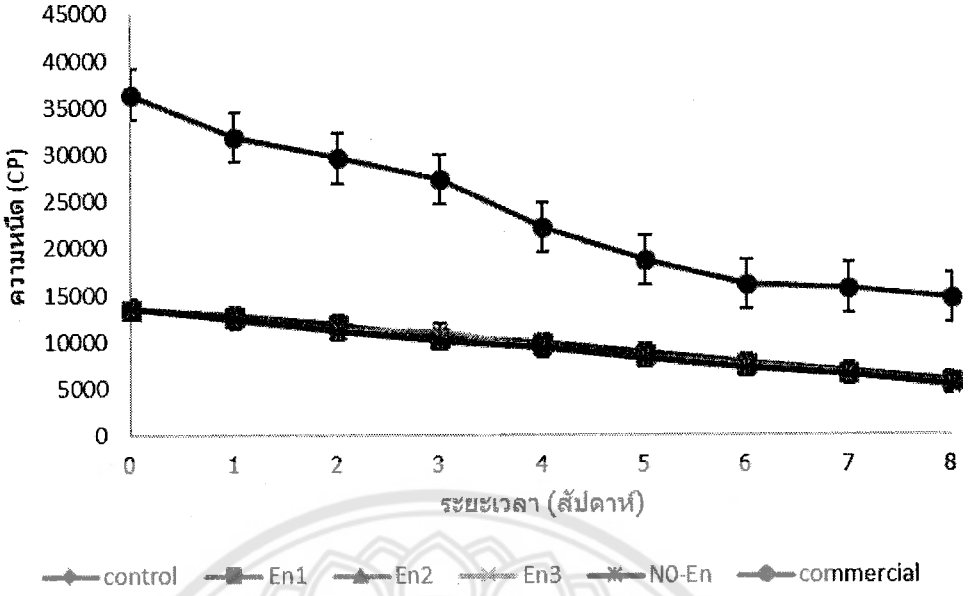
ความหนืด (viscosity) เป็นสมบัติทางรีโอโรยี (Rheological properties) ของของเหลว ที่บ่งบอกถึงความต้านทานการไหล เป็นสมบัติที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของอาหาร และการยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์กลุ่มอาหารเหลว ความหนืดของอาหารถือเป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในระหว่างการผลิต การขนส่ง และการเก็บรักษาก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะถึงมือผู้บริโภค (บทปฏิบัติการที่ 4 มหาวิทยาลัยราชมงคลล้านนา, มปป.) ความหนืดของอาหารยังเป็นตัวแปรสำคัญ ที่ใช้เพื่อการออกแบบกรรมวิธีการผลิตกำหนดชนิด และขนาดของเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหาร

ความหนืดของมายองเนสทางการค้ามีค่าความหนืดสูงที่สุดที่ระยะเวลา 0 สัปดาห์ มีค่า 39,133.33±678.85 Cp (เซ็นติพอยส์, Centipoise) เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นค่าความหนืดมี

แนวโน้มลดลงมีค่า 25,350.00±409.27 Cp ดังแสดงในภาพที่ 23 ซึ่งแสดงค่าความหนืดของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยในมายองเนสชนิดอื่น มีค่าความหนืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยในวันที่ 0 มีค่าระหว่าง 13,283.33 - 13,650 Cp เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นมายองเนสทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับมายองเนสทางการค้า และเมื่อถึงสัปดาห์ที่ 8 ค่าความหนืดอยู่ในช่วงระหว่าง 4,316.67 - 4,750.00 Cp ที่อุณหภูมิการเก็บ 40 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 24) ค่าความหนืดของมายองเนสแต่ละชนิดมีแนวโน้มเช่นเดียวกับมายองเนสที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส คือค่าความหนืดจะค่อยๆ ลดลง และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยมายองเนสทางการค้ามีค่าความหนืดสูงสุด เนื่องจากมายองเนสทางการค้ามีการเติมสารเพิ่มความคงตัวทำให้ค่าความหนืดมีค่าสูงกว่ามายองเนสที่ใช้ในการทดลอง เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างมายองเนสที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส พบว่าค่าความหนืดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับการทดลองของ Kishk Y.S.M และ Hemat E. Elsheshetawy (2013) ซึ่งได้กล่าวว่าเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของขิงผงในมายองเนส และเก็บรักษา 20 สัปดาห์ พบว่าค่าความหนืดของมายองเนสไม่แตกต่างกัน ค่าที่ลดลงทำให้โครงสร้างปรับลดลงอย่างต่อเนื่องหลังการเกิดอิมัลชั่น (Zhen Ma et al.,2013, N.G. Diftis et al., 2005) เมื่อเก็บรักษานานขึ้นจึงสามารถเกิดการแยกชั้นของลิพิดได้



ภาพที่ 23. ค่าความหนืดของมายองเนสระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C

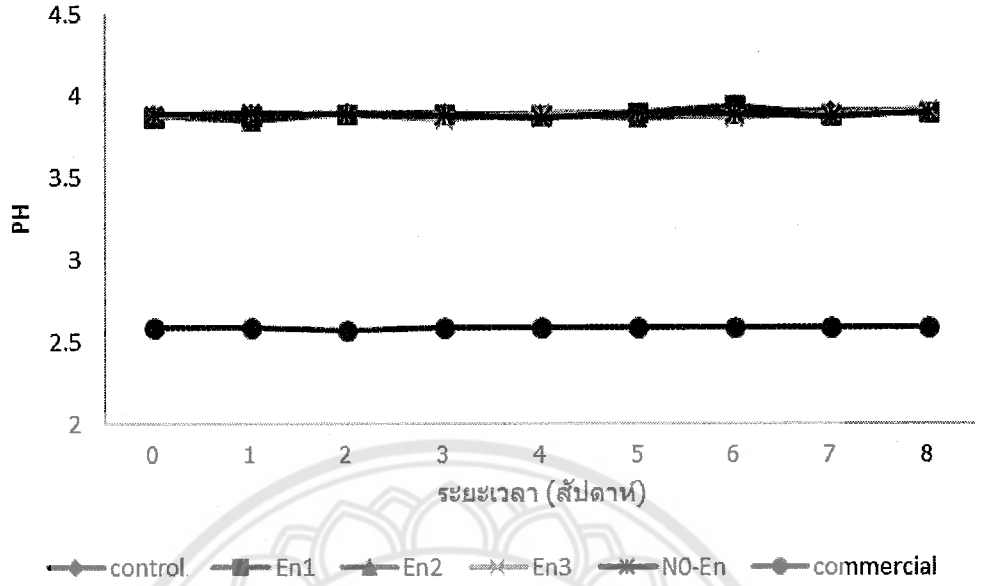


ภาพที่ 24. ค่าความหนืดของมายองเนสระหว่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C

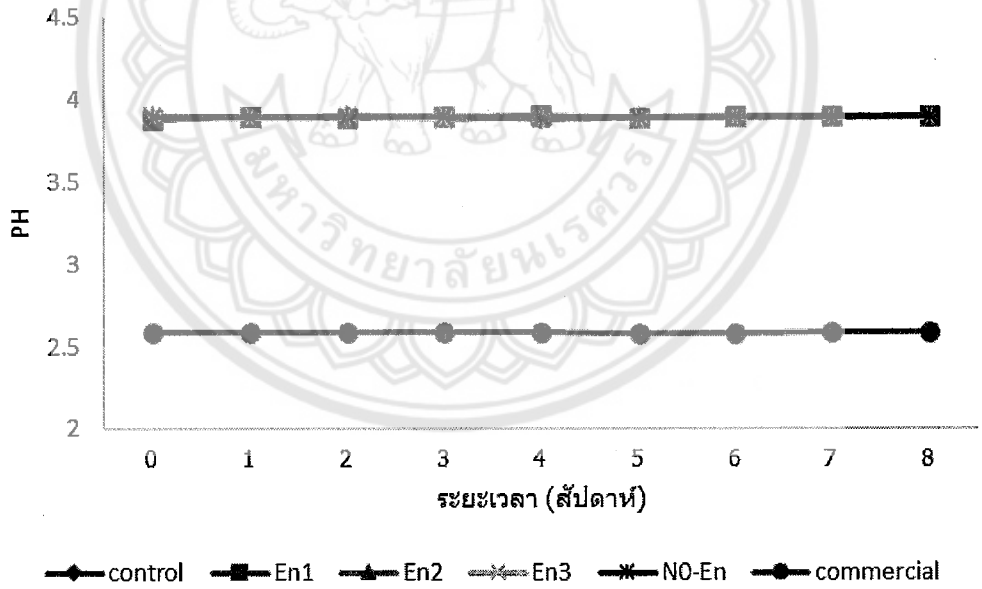
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เมื่อเปรียบเทียบความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์มายองเนสตัวอย่างแต่ละชนิดที่การเก็บรักษาอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ภาพที่ 25 พบว่าในมายองเนสมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 3.88±0.01 - 3.92±0.01 โดยเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นกรดมีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ยกเว้นในมายองเนสทางการค้าที่มีค่าความเป็นกรดด่างสูงกว่ามายองเนสชนิดอื่น เนื่องจากมายองเนสทางการค้ามีการใช้ปริมาณส่วนผสมจำพวกน้ำมะนาว และน้ำส้มสายชูในปริมาณที่สูงกว่ามายองเนสสูตรพื้นฐานที่ใช้ในการทดลอง โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 2.57±0.02 - 2.59±0.01 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) และที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 40 องศาเซลเซียสระยะเวลา 8 สัปดาห์ ภาพที่ 26 พบว่ามายองเนสทางการค้ามีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 2.58±0.01 - 2.59±0.01 ในขณะที่มายองเนสชนิดอื่นมีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ระหว่าง 3.88±0.01 - 3.90±0.01 และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างที่อุณหภูมิการเก็บ 30 และ 40 องศาเซลเซียสพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ปริมาณของความเป็นกรดด่างไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.1402-2540) มายองเนส และสลัดครีม ที่กำหนดไว้ว่า ความเป็นกรดด่างต้องไม่เกิน 4.1 เช่นเดียวกับในการศึกษาการต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากเปลือกผลไม้ตระกูลส้มที่สกัดด้วยคลื่นเสียง และการประยุกต์ใช้ในน้ำสลัดของเหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และสุริยาพร นิพรรัมย์ (2557) ที่ให้เหตุผลว่าปริมาณกรดทั้งหมดไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากน้ำสลัดเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดสูงสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ที่สร้างกรดบางชนิดได้ ทำให้ปริมาณกรดไม่เปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 25. ค่าความเป็นกรด-เบสของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C

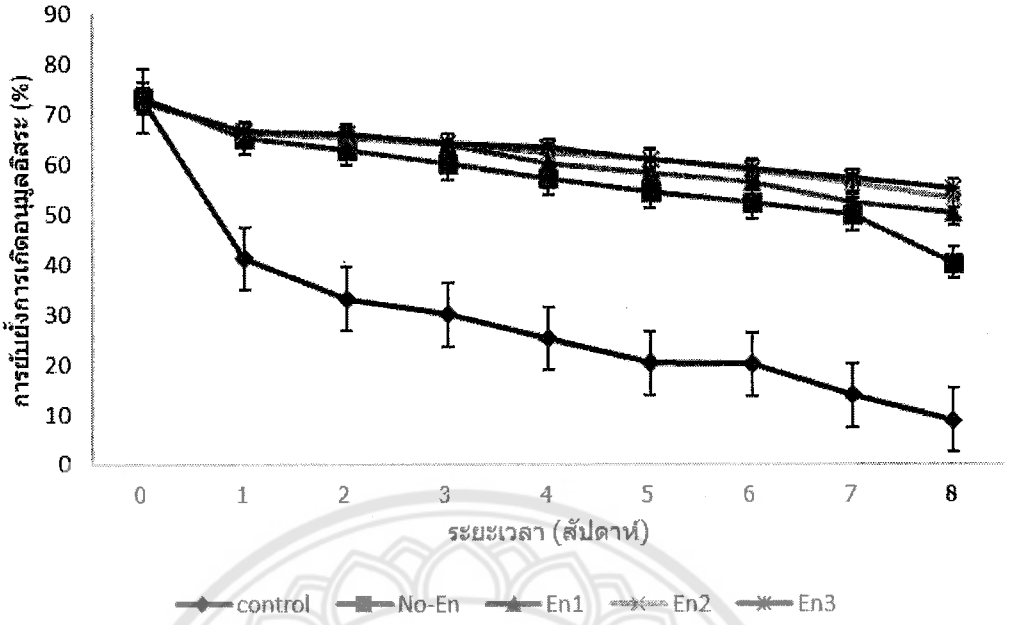


ภาพที่ 26. ค่าความเป็นกรด-เบสของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C

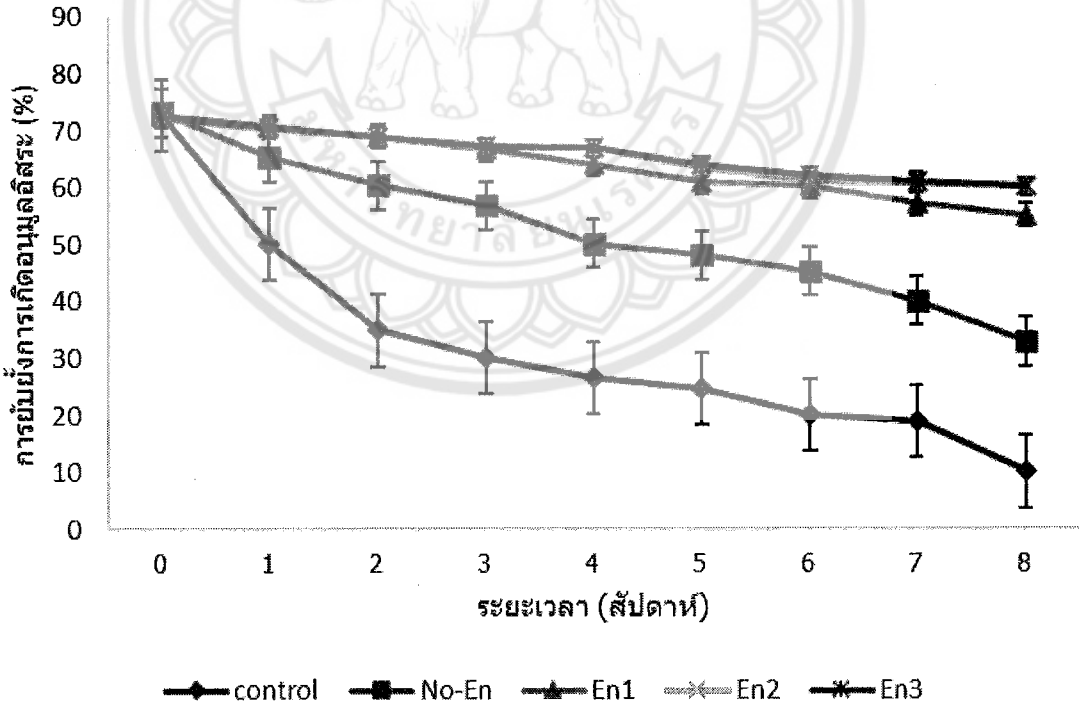
ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบโหระพาในมายองเนส

ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในมายองเนสทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH assay ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชั่นโดยจะวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น517 นาโนเมตร ถ้าตัวอย่างมีความสามารถในการต้านออกซิเดชั่นได้สูงความเข้มข้นของสารละลายสีม่วงจะลดลง โดยค่าที่มากแสดงถึงความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี (รัชฎาพร อุ่นศิวิไลย์, มปป) และมีความสามารถในการป้องกันการเกิดออกซิเดชั่นในอาหารได้อีกด้วย (Adeleh Mohammadi et al,. 2016)

จากการทดลองทำการวัดค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของมายองเนสที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ภาพที่ 27 พบว่าค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของตัวควบคุมลดลงจากร้อยละ 72.73±0.01 - 10.10±0.02 ซึ่งลดลงร้อยละ 86.11 หลังเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ค่าการต้านอนุมูลอิระของมายองเนสที่เติมแคปซูลปริมาณต่างๆ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) เนื่องจากการทำเอนแคปซูเลชั่นมีส่วนทำให้สารสกัดใบโหระพาที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระค่อยๆ ถูกปลดปล่อยออกมา ทำให้สามารถเพิ่มระยะเวลาของการต้านอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นได้ โดยค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงร้อยละ 24.31 - 17.23 เช่นเดียวกับในการศึกษาของ Takunrat Taksima et al,. (2015) ที่พบว่าเมื่อเปรียบเทียบการทำสารในการเคลือบสารต้านอนุมูลอิสระทำให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และมีระยะเวลาในการต้านอนุมูลอิสระที่นานขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลในการวัดค่ามายองเนสที่เติมสารสกัดใบโหระพาที่ไม่ทำเอนแคปซูเลชั่นที่มีค่าความกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่ใกล้เคียงกับการทำเอนแคปซูเลชั่นในระยะแรก แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นพบว่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง เนื่องจากสารสกัดจากใบโหระพาได้ถูกใช้ในการทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอกจนหมดทำให้ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงนั่นเอง มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงร้อยละ 55.10 เช่นเดียวกับในการเก็บรักษามายองเนสที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 48) พบว่าในมายองเนสที่เติมสารสกัดจากใบโหระพาที่ไม่ทำเอนแคปซูเลชั่นมีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่ามายองเนสที่เติมแคปซูลของสารสกัดจากใบโหระพาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)



ภาพที่ 27. กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบโหระพาในมายองเนสเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30องศาเซลเซียส ระยะเวลา 8 สัปดาห์



ภาพที่ 28. กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบโหระพาในมายองเนสเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40องศาเซลเซียส ระยะเวลา 8 สัปดาห์

ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Value)

จากมุมมองในเรื่องของคุณภาพและความปลอดภัยของอาหาร การควบคุมการเกิดออกซิเดชั่นของน้ำมันในอาหารจึงมีความสำคัญ เพื่อเป็นการป้องกันการเสื่อมเสียของอาหาร และป้องกันสุขภาพของผู้บริโภค ดังนั้นการกำหนดค่าเปอร์ออกไซด์จึงเป็นค่าหนึ่งที่มีความสำคัญในการวัดคุณภาพของอาหาร (Adeleh Mohammadi et al., 2016)

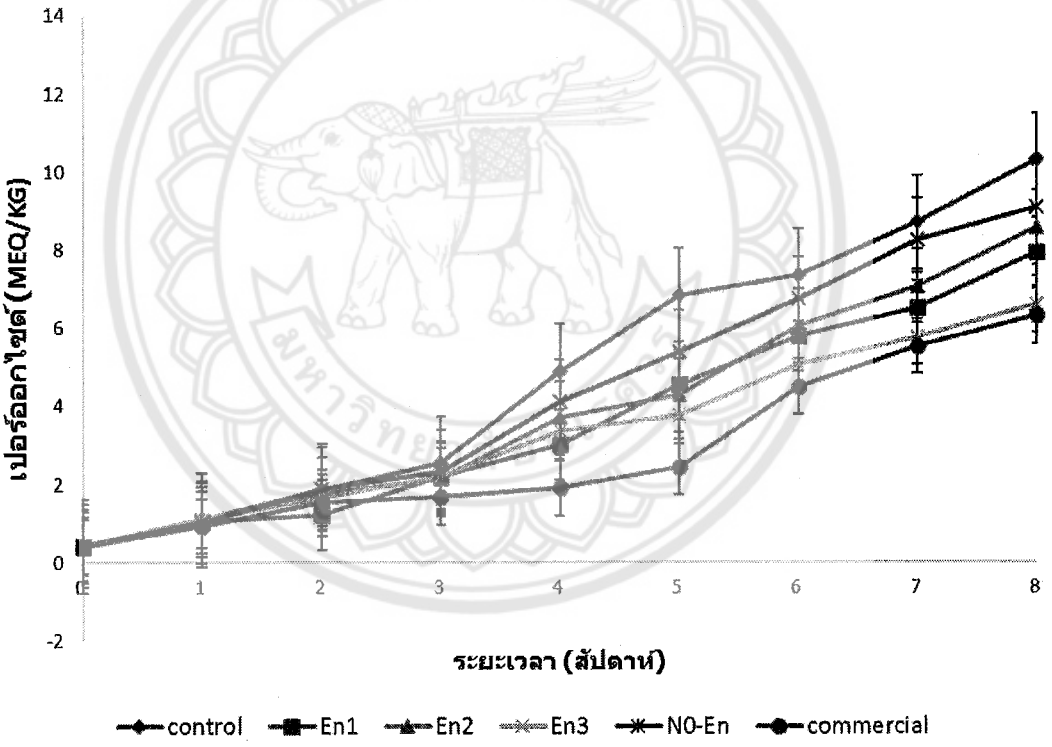
ค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัดดัชนีบ่งชี้การเกิดปฏิกิริยาลิพิดออกซิเดชั่น โดยการหาปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมัน หรือไขมัน สารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในลิพิดที่ถูกเก็บไว้สัมผัสอากาศ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2529) ค่าเปอร์ออกไซด์ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าลิพิดเกิดปฏิกิริยาลิดพิดออกซิเดชั่น การเกิดลิพิดออกซิเดชั่นจะเกิดที่บริเวณพื้นผิวของ oil-in-water emulsion (Mc Clement และ Decker, 2000)

ค่าเปอร์ออกไซด์ในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 29 ซึ่งสามารถเรียงลำดับค่าการเกิดเปอร์ออกไซด์จากค่ามากที่สุดไปหาน้อยที่สุดได้ ดังนี้ control > No-En > En2 > En1 > En3 > Commercial ตามลำดับ โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์ตามลำดับ ดังนี้ 10.29±0.17, 9.09±0.03, 8.56±0.19, 7.94±0.02, 6.59±0.14 และ 6.30±0.11 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (meq/kg) และภาพที่ 30 แสดงการเก็บรักษาของมายองเนสที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าค่าเปอร์ออกไซด์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) และค่าเปอร์ออกไซด์เรียงลำดับจากค่ามากที่สุดไปหาน้อยที่สุดคือ control > No-En > En1 > En2 >En3 > Commercial ตามลำดับ โดยมีค่าเปอร์ออกไซด์ ดังต่อไปนี้ 17.91±0.01, 15.26±0.03, 13.78±0.04, 11.49±0.03, 10.34±0.04 และ9.03±0.03 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (meq/kg) จะเห็นได้ว่ามายองเนสที่มีการเติมแคปซูลของสารสกัดใบโหระพา เมื่อเพิ่มปริมาณแคปซูล ค่าเปอร์ออกไซด์ของมายองเนสมีค่าลดลง แต่ลดลงน้อยกว่ามายองเนสที่เติมสารต้านออกซิเดชั่นที่ได้จากการสังเคราะห์

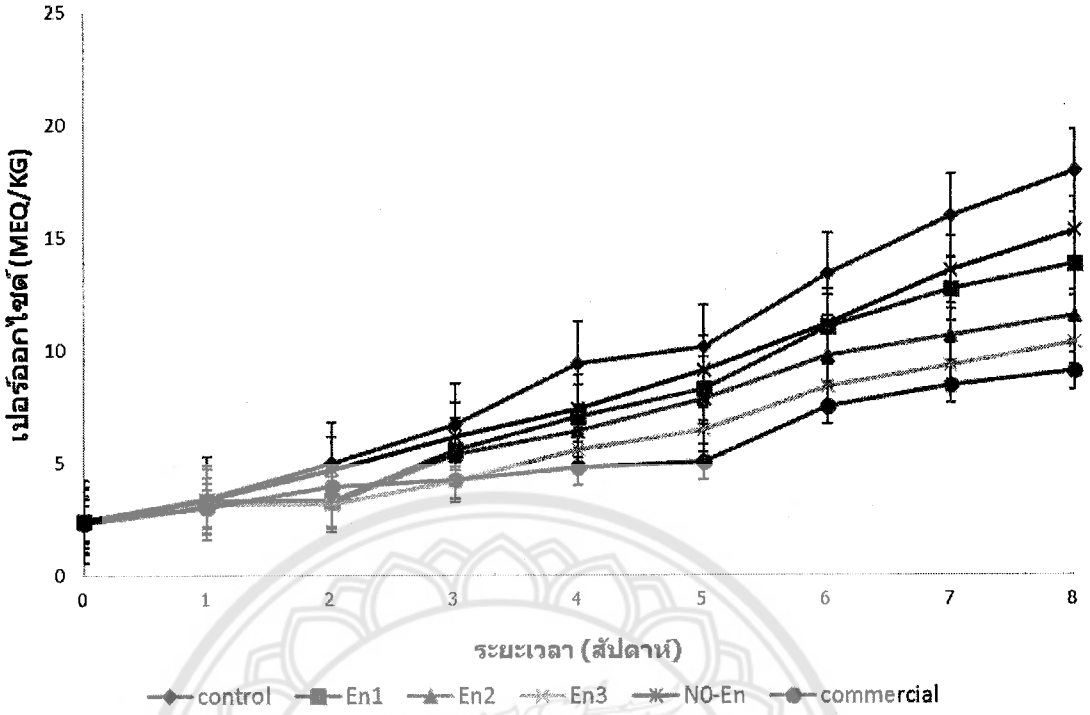
เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำเอนแคปซูเลชั่น และไม่ทำเอนแคปซูเลชั่นของสารสกัดใบโหระพา พบว่าในระยะเวลาเริ่มต้นของการเก็บรักษาค่าเปอร์ออกไซด์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาของมายองเนสเพิ่มขึ้น พบว่ามายองเนสที่ไม่ทำเอนแคปซูเลชั่นมีค่าเปอร์ออกไซด์ที่มากกว่าการทำเอนแคปซูเลชั่นทุกความเข้มข้น เนื่องจากแคปซูลที่ห่อหุ้มสารต้านออกซิเดชั่นอยู่นั้นมีความสามารถในการปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในออกมาอย่างช้าๆ ระหว่างการเก็บรักษา ทำให้แนวโน้มการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของไขมันเกิดขึ้นอย่างช้าๆ และในตัวอย่างที่ทำเอนแคปซูเลชั่นมีค่าเปอร์ออกไซด์ที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกัน จากภาพที่ 29 และ30 แนวโน้มของกราฟจะแตกต่างกันโดยการเติมสารสกัดใบโหระพาที่ไม่ทำเอนแคปซูเลชั่น พบว่าในระยะเริ่มแรกค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าไม่แตกต่างกันกับการทำเอนแคปซูเลชั่น แต่เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นค่าเปอร์ออกไซด์จะมีแนวโน้มสูงขึ้นกว่ามายองเนสที่ไม่มีการเติมเอนแคปซูเลชั่นเนื่องจากสารสกัดได้ถูกใช้ในการทำปฏิกิริยาจนหมด (Adeleh Mohammadi et al., 2016) แม้สารสกัดใบโหระพาจะมีความสามารถในการต้านออกซิเดชั่นได้ดี แต่ต้องใช้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับสารต้านออกซิเดชั่นที่ได้จากการสังเคราะห์

ตัวอย่างมายองเนสทางการค้า (commercial) มีการเติมสารต้านการเกิดออกซิเดชั่นที่ได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งในตัวอย่างมายองเนสทางการค้าในการทดลองมีการใช้สารต้านออกซิเดชั่นจาก

การสังเคราะห์ คือ EDTA ปริมาณ 75 ppm (กฎระเบียบสหรัฐอเมริก เรื่องวัตถุเจือปนอาหาร, มปป.) ซึ่งสาร EDTA นี้มีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชั่นสูง จึงมีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่ามายองเนส ในการทดลองทุกชนิด โดยค่าเปอร์ออกไซด์ที่ระยะเวลาการเก็บสัปดาห์ 8 ที่อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์ออกไซด์ 6.30±0.11 และ 9.03±0.03 มิลลิกรัมสมมูลย์ต่อกิโลกรัมตัวอย่าง (meq/kg) จากรายงานของ Angela Tseng and Yangun Zhao (2013) ได้ทำการศึกษาการต้านอนุมูลอิสระของกากองุ่นเพื่อเพิ่มการเก็บรักษาของโยเกิร์ต และน้ำสลัดพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 4 สัปดาห์ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐาน และการศึกษาผลของผงขิงต่อความคงตัวในการเกิดออกซิเดชั่นของมายองเนส ลักษณะทาง rheology และลักษณะทางประสาทสัมผัส (Kishk Y.F.M. and Hemat E. Elsheshetaw, 2013) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของขิงผงค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าลดลง และเมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่าค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น โดยค่าเปอร์ออกไซด์จากการทดลองมีค่าสอดคล้องกัน ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับค่าการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดโหระพาซึ่งมีความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชั่นได้



ภาพที่ 29 ค่าเปอร์ออกไซด์ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C



ภาพที่ 30 ค่าเปอร์ออกไซด์ของมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 40°C

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดจากใบโหระพา

ในการศึกษาการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดจากใบโหระพา ศึกษาโดยทำการสกัดสารใบโหระพา สารสกัดที่ได้มีค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอยู่ในปริมาณที่สูง และพบสารประกอบยูจีนอลปริมาณ 0.01 มิลลิกรัม จากนั้นทำการเปรียบเทียบสารที่ใช้เป็นสารเคลือบ 2 ชนิด ได้แก่ โซเดียมอัลจิเนต และไคโตซานทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างสารเคลือบ และสารสกัดจากใบโหระพา พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดจากใบโหระพาพบว่า แคปซูลที่ได้มีลักษณะเป็น multi-core ขนาดของอนุภาคแคปซูลมีขนาดใหญ่ขึ้น และพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากใบโหระพาแคปซูลที่ใช้ไคโตซานเป็นสารเคลือบมีลักษณะไม่เป็นรูปร่าง ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่ดีของการทำเอนแคปซูเลชั่น นอกจากนี้เมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดจากใบโหระพาพบว่าประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นลดลงอีกด้วย นอกจากนี้พบว่าค่าการละลายมีค่าสอดคล้องกับประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่น โดยเมื่อประสิทธิภาพการทำเอนแคปซูเลชั่นต่ำจะมีค่าการละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้สารที่อยู่ภายในแคปซูลถูกปลดปล่อยออกมาอย่างรวดเร็ว โดยอัตราการปลดปล่อยของสารสกัดจากใบโหระพาจะแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ โดยระยะแรกอัตราการปลดปล่อยจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ระยะที่ 2 อัตราการปลดปล่อยจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยจากการทดลองเปรียบเทียบค่าต่างๆ พบว่าโซเดียมอัลจิเนตมีคุณสมบัติการทำเอนแคปซูเลชั่นได้ดีกว่าไคโตซาน และเมื่อทำการเลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุดเพื่อทำการศึกษาการประยุกต์ใช้ในอาหารจึงเลือกแคปซูลที่ใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นสารเคลือบที่ระดับความเข้มข้น 1:0.25

ตอนที่ 2 ศึกษาการประยุกต์ใช้ในมายองเนส

จากในการศึกษาตอนที่ 1 ได้ทำการเลือกอัตราส่วน และสารเคลือบที่เหมาะสมในการทำเอนแคปซูเลชั่นของสารสกัดใบโหระพา มาทำการประยุกต์ใช้ในมายองเนสเพื่อศึกษาการเก็บรักษาของมายองเนสต่อการเกิดออกซิเดชั่น ทำการศึกษาการใช้แคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพามาใส่ลงในมายองเนสที่ความเข้มข้นระดับต่างๆ ทำการเปรียบเทียบกับมายองเนสที่มีการเติมสารสกัดใบโหระพาที่ไม่ทำเอนแคปซูเลชั่น และมายองเนสทางการค้าที่มีการเติมสารต้านออกซิเดชั่น (EDTA) เก็บรักษาเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าค่าสี L* ของมายองเนสมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ค่า a* มีค่าไม่แตกต่างกัน และค่า b*มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสารสกัดใบโหระพามีลักษณะเป็นสีเหลืองใส ความหนืดของมายองเนสมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บ เมื่อระยะการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของมายองเนส พบว่าเมื่อระยะการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลงในมายองเนสที่มีการเติมสารสกัดใบโหระพาที่ไม่ทำเอนแคปซูเลชั่นค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพา พบว่าค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระลดลงอย่างช้าๆ เนื่องจากแคปซูลทำหน้าที่ในการควบคุมการปลดปล่อยสารสกัดใบโหระพาออกมาทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระทีละน้อย ค่าเปอร์ออกไซด์ของแคปซูลที่ได้จาการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพามีค่าเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น ในระยะการเก็บรักษาระยะแรกค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างมีค่าใกล้เคียง

กัน เมื่อระยะการเก็บเพิ่มขึ้นค่าเปอร์ออกไซด์ของตัวอย่างที่เติมสารสกัดใบโหระพาที่ไม่มีการทำเอนแคปซูเลชั่นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแคปซูลค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าน้อย แต่มากกว่าค่าเปอร์ออกไซด์ของมายองเนสทางการค้า เนื่องจากสาร EDTA ที่ใช้มีประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชั่นสูง

การเติมแคปซูลที่ได้จากการทำเอนแคปซูเลชั่นสารสกัดใบโหระพามีความสามารถในการชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นของลิพิดในมายองเนสระหว่างการเก็บรักษาได้ และเมื่อเปรียบเทียบการทำเอนแคปซูเลชั่น และไม่ทำเอนแคปซูเลชั่น พบว่าการทำเอนแคปซูเลชั่นสามารถยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มายองเนสได้ดีกว่าการไม่ทำเอนแคปซูเลชั่น แต่ประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชั่นน้อยกว่ามายองเนสทางการค้าที่มีการเติมสารต้านออกซิเดชั่นที่ได้จากการสังเคราะห์

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าสารสกัดจากใบโหระพาเมื่อนำมาทำเอนแคปซูเลชั่น และนำไปใส่ลงในมายองเนส พบว่ามีความสามารถในชะลอการเกิดออกซิเดชั่นได้ แต่ทั้งนี้ยังไม่มีการศึกษาอย่างชัดเจนเกี่ยวกับการยอมรับของผู้บริโภค ว่าเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคหรือไม่ จึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางประสาทสัมผัสของมายองเนสที่มีการเติมแคปซูลของสารสกัดใบโหระพาต่อ

บรรณานุกรม

เคมีอาหาร 1 รหัสวิชา 03-621-309. สืบค้นเมื่อ7 สิงหาคม 2557, จาก http://courseware.rmutl.ac.th/courses/103/unit1502.html.

ฉันทรา พูนศิริ. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (ม.ป.ป.). **เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน.** สืบค้นเมื่อ7 กันยายน 2556, จาก opac.tistr.or.th/Multimedia/STJN/4904/4904-11.pdf.

ธนะพร อัศวพัฒนากูล, วัชรี คุณกิตติ, รัตนภรณ์ ลีสิงห์ และจรีรัตน์ เอี่ยมสะอาด. (2556). ประสิทธิภาพของน้ำมันหอมระเหยที่ต้านเชื้อยีสต์มาลาสซิเซียพาไคเดอมาติสที่คัดแยกจากช่องหูชั้นนอกอักเสบในสุนัข. **ว.เภสัชศาสตร์อีสาน.** 9(1), 40-51.

นภชา พิริยะชนานุสรณ์ และพิษณุ คงเมือง. (2547). **การพัฒนาตำรับไมโครเอนแคปซูลเลชันเพื่อเก็บน้ำมันหอมระเหย.** การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเองภ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2529). **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิธิยา รัตนาปนนท์. (2551). **เคมีอาหาร.** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพ ฯ : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (ม.ป.ป.).**ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร viscosity/ความหนืด.** สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2560, จาก http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0546/viscosity-%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B8%B7%E0%B8%94

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1402-2540 มายองเนสและสลัดครีม. สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2559, จาก http://www.fio.co.th/p/tisi_fio/fulltext/TIS1402-2540.pdf.

วัลลภ บรรจง. (2550). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำสลัดชนิดข้นคอเลสเตอรอลต่ำ.** การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง คศ.ม., มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

ศิวาพร ศิวเวชช. (2546). **วัตถุเจือปนอาหาร เล่ม 1** (พิมพ์ครั้งที่ 1). นครปฐม: โรงพิมพ์ ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

สารต้านออกซิเดชัน. สืบค้นเมื่อ7 สิงหาคม 2557,จาก http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning50/FT320/0311.htm.

สุนิสา ศรีสุวรรณ์ อัณศยา ท่อนโพธิ์ และประสงค์ สีหานาม. (2557). สารสกัดจากผลอุ่นป่า: พฤกษเคมีและฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน. **การประชุมวิชาการ มหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 10,** (x), 374-382.

เหรียญทอง สิงห์จานุสงค์ และสุริยาพร นิพรรัมย์. (2557). **การต้านออกซิเดชั่นของสารสกัดจากเปลือกผลไม้ตระกูลส้มที่สกัดด้วยคลื่นเสียงและการประยุกต์ใช้ในน้ำสลัด.** การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

เอนแคปซูเลชันและการควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรส. (ม.ป.ป.). สืบค้นเมื่อ5 กันยายน 2556, จาก e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf.

Adeleh Mohammadi, Seid Mahdi Jafari, Afshin Afshin Faridi Esfanjani, Sahar Akhavan. (2016). Application of nano-encapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil. **Food Chemistry**.190, 513-519.

A. Boonpan, S. Pongswat, P. Pongthai and S. Saijai. (2011). The Effect of Chitosan on Quality and Extension of Shelf Life of Tofu. **Science and Technology RMUTT Journal**.1, 45-57.

Adma Nadja Ferreira de Melo, Evandro Leite de Souza, Vilma Barbosa da Silva Araujo and Marciane Magnani. (2014). Stability, mutritional and sensory characteristics of French salad dressing made with mannoprotein from spent brewer' s yeast. **Food Science and Technology**.xxx, 1-4.

Angela Tseng and Yanyun Zhao. (2013). Wine grape pomace as antioxidant dietary fibre for enhancing nutritional value and improving storability of yogurt and salad dressing. **Food Chemistry**.138, 356-365.

Anna M. Bakowska-Barczak and Paul P. Kolodziejczyk. (2011). Black currant polyphenols : Their storage stability and microencapsulation. **Industrial Crops and Products**. 34, 1301-1309.

Bo Wang, Benu Adhikari and Collin J. Barrow. (2014). Optimisation of the microencapsulation of tuna oil in gelatin- sodium hexametaphosphate using complex coacervation. **Food Chemistry**. 158, 358-365.

Carla Di Mattia, Febderica Balestra, Giampiero Sacchetti, Lilia Neri, Dino Mastrocola and Paola Pittia. (2014). Physical and structural properties of extra-virgin olive oil based mayonnaise. **Food Science and Technology**. xxx, 1-7.

Chloé Butstraen and Fabien Salaün. (2014). Preparation of microcapsules by complex coacervation of gum Arabic and chitosan. **Carbohydrate Polymers**. 99, 608-616.

Chun-Ying Li, Hee-Woong Kim, He Li, Deug-Chan Lee, Hae-lk Rhee. (2014). Antioxidative effect of purple corn extract during storage of mayonnaise. **Food Chemistry**. 152, 592-596.

Eileen, M. Kwee, Emily, D. Niemeyer. (2011). Variations in phenolic composition and antioxidant properties among 15 basil (*Ocimum basilicum* L.) cultivars. **Food Chemistry**. 128, 1044-1050

Farhin Inam, Sujata Deo and Neha Narkhed. (2014). HPLC- UV Method Development and Quantification of Eugenol from Methanolic Extracts of Some Spices. **International Journal of Chemical and Physical Sciences**. 3, 96-102.

Helena C.F. Carneiro, Renata V. Tonon, Carlos R.F. Grosso and Míriam D. Hubinger. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. **Journal of Food Engineering**. 115, 443-451.

José, A. Piornos, César Burgos-Díaz, Eduardo Morales, Móinca Rubilar, Francisca Acevedo. (2017). Highly efficient encapsulation of linseed oil into alginate/lupin protein beads: Optimization of the emulsion formulation. **Food Hydrocolloids**. 63, 139-148.

Makri, O. and Kintzios, S. (2007). *Ocimum* ap. (basil): Botany, cultivation, pharmaceutical properties, and biotechnology. **Journal of Hearbs, spice & Medicinal Plants.** 13, 123-150.

Miriana Kfoury, David Landy, Steven Ruellan, Lizette Auezova, Hélène Greige-Gerges, Sophie Fourmentin. (2016). Nootkatone encapsulation by cyclodextrins: Effect on water solubility and photostability. **Food Chemistry**. xxx, xxx-xxx.

Leilane Costa de Conto, Carlos Raimundo Ferrira Grosso and Lireny Aparecida Guaraldo Gonçalves. (2013). Chemonetryas applied to the production of omega-3 microcapsules by complex coacervation with soy protein isolate and gum Arabic. **LWT- Food Science and Technology**. 53, 218-224.

Li, Q.-X., Song, B.-Z., Yang, Z.-Q., and Fan, H.-L. (2006). Electrolytic conductivity behaviors and solution conformations of chitosan in difference acid solutions. **Carbohydrate Polymers.** 63(2), 272–282.

Liqin Zheng, Zhansheng Ding, Min Zhang and Jincai Sun. (2011). Microencapsulation of bayberry polyphenols by ethyl cellulose: Preparation and characterization. **Journal of Food Engineering**.104, 89-95

Lorena Tavano, Rita Muzzalupo, NevioPicci and Bruno de Cindio. (2014). Co-encapsulation of antioxidants into niosomal carriers : Gastrointestinal release studies for nutraceutical applications. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. 114, 82-88.

Patrick M. Flanigan and Emily D. Niemeyer. (2014). Effect of cultivar on phenolic levels, anthocyanin composition, and antioxidation properties in purple basil (*Ocimum basilicum* L.). **Food Chemistry**. 164, 518-526.

Paulo, H. M. Marfil, Felipe, H. T. Vasconcelos, Márcia, H. Pontieri and Vânia, R. N. Telib. (2016). Development and validation of analytical method for palm oil determination in Microcapsules produced by complex coacervation. **Química Nova**. 39(1), 94-99.

Sarunya Phunpee, Somsak Saesoo, Suwatchai Jarussophon, Warayuth Sajomsang, Satit Puttipipatakhajorn, Apinan Soottitantawat and Uracha Rungsardthong Ruktanonchai. (2016). A comparison of eugenol and menthol on encapsulation characteristics with water-soluble quanternized β-cyclodextrin grafted. **International Journal of Biological Macromolecules**. 84, 472-480.

Saravanan, M., Panduranga Rao, K. (2010). Pectin– gelatin and alginate– gelatin complex coacervation for controlled drug delivery: Influence of anionic polysaccharides and drugs being encapsulated on physicochemical properties of microcapsules. **Carbohydrate Polymers**, 80, 808–816

Sarekha Woranuch and Rangrong Yoksan. (2013). Eugenol-loaded chitosan nanoparticles : I. Thermal stability improvement of eugenol through encapsulation. **Carbohydrate Polymers**. 96, 578-585.

Seung-Joo Lee, KatumiUmano, Takayuki Shibamoto and Kwang-Geun Lee. (2005). Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. **Food Chemistry**.91, 131-137.

Seyed Fakhreddin Hosseini, MojganZandi, MasoudRezaei and Farhid Farahmandghavi. (2013). Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles : Proparation, characterization and in vitro release study. **Carbohydrate Polymers**. 95, 50-56.

Smittle, R.B. (2000). Microbiological safety of mayonnaise, salad dressing and sauces produced in the united states: A review. **Journal of Food Protection**. 63(8), 1144-1153.

Takunrat Taksima, Maruj Limpawattana and Wanwimol Klaypradit. (2015) . Astaxanthin encapsulated in beads using ultrasonic atomizer and application in yogurt as evaluated by consumer sensory profile. **Food Science and Technology**. 62, 431-437.

Talita A. Comunian, Marcelo Thomazini, Ana Julia Gouvêa Alves, Fernando Eustáquio de Matos Junior, Júlio C. de Carvalho Balieiro and Carmen S. Favaro- Trindede. (2013) . Microencapsulation of ascorbic acid by complex coacervation: Protection and controlled release. **Food Research International**. 52, 373-379.

Ung-Jin Kim, Yeong Ro Lee, Tong Ho Kang, Joon Weon Choi, Satoshi Kimura, Masahisa Wada. (2017). Protein adsorption of dialdehyde cellulose-crosslinked chitosan with high amino group contents. **Carbohydrate Polymers**. 163, 34-42.

Vishruta DomlurThyagaraj, Rojison Koshy, Monica Kachroo, Anand S. Mayachari, Laxman P. Sawant and Murali Barasubramanium. (2013) . A validated RP- HPLC- UV/ DAD method for simulataneous quantitative determination for rosmarinic acid and eugenol in *Ocimum sanctum* L.. **Pharmaceutical Methods**. 4, 1-5.

Yadav, S. K., Suresh, A. K., & Khilar, K. C. (1990). Microencapsulation in polyuria shell by interfacial polycondensation. **AIChE Journal**. 36(3), 431–438.

Y.F.M. Kishk, Hemat E. Elsheshetawy. (2013). Effect of ginger powder on the mayonnaise oxidative stability, rheological measurements, and sensory characteristics .**Annals of Agricultural Science**. 58(2), 213-220.

Zhen Ma, Joycel I. Boye, Jacinthe Fortin, Benjamin, K. Simpson and Shiv O. Prasher. (2013). Rheological, physical stability, microstructural and sensory properties of salad dressing supplemented with raw and thermally treated lentil flours. **Journal of Food Engineering**. 116, 862-872.

Zhijian Dong, Yong Ma, Khizar Hayat, Chengsheng Jia, Shuqin Xia, Xiaoming Zhang. (2011). Morphology and release profile of microcapsules encapsulating peppermint oil by complex coacervation. **Food Engineering**. 104, 455-460.

Ziming Yang, ZhengPeng, Jihua Li, Sidong Li, Lingxue Kong, Puwang Li and Qinghuang Wang. (2014). Development and evaluation of novel flavour microcapsules containing vanilla oil using complex coacervation approach. **Food Chemistry**. 145, 272-277.