

ผลของการใช้ผงร่วมกับมอลโตเดกซ์ทรินต่อคุณภาพของสารสกัดจากใบหม่อน  
โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย



นางสาวนนท์นิตย์ สุรพันธุ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

EFFECTS OF USING KONJAC POWDER IN COMBINATION WITH MALTODEXTRIN ON  
QUALITY OF MULBERRY LEAF EXTRACT BY SPRAY DRYING

Miss Nuntanit Suraphan

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการใช้ผงบุกร่วมกับมอลโตเดกซ์ทรินต่อคุณภาพ
โดย	ของสารสกัดจากใบหม่อนโดยการอบแห้งแบบฟนฝอย
สาขาวิชา	นางสาวนันท์นิตย์ สุรพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์

---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ปราณี อ่านเปรื่อง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ศิริมา พ่วงประพันธ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระเชษฐ จิตตานิษฐ์)

นันทนิตย์ สุรพันธุ์ : ผลของการใช้ผงบุกร่วมกับมอลโตเดกซ์ทรินต่อคุณภาพของสารสกัดจากใบหม่อนโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย. (EFFECTS OF USING KONJAC POWDER IN COMBINATION WITH MALTODEXTRIN ON QUALITY OF MULBERRY LEAF EXTRACT BY SPRAY DRYING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย, 111 หน้า.

กระบวนการไมโครเอนแคปซูลเลชันเป็นกระบวนการที่สำคัญในผลิตไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อนที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของเอทานอล (50% 60% 70% และ 95% (v/v)) ที่เหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกจากใบหม่อน โดยศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ ปริมาณรูตินและเคออสตินด้วยวิธี HPLC และฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ด้วยวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) และวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging จากการศึกษาพบว่าสารสกัดจากใบหม่อนที่ความเข้มข้นของเอทานอล 60% (v/v) ให้ฤทธิ์ต้านออกซิเดชันได้ในปริมาณสูงทั้งในการศึกษาด้วยวิธี FRAP ( $51.83 \pm 1.90$  mmol Trolox / g wb) และ DPPH radical scavenging ( $10.45 \pm 0.16$  mmol Trolox / g wb) นอกจากนี้ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 60% ยังสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกโดยรวม ( $122.15 \pm 5.32$  mg GAE / g wb) สารรูติน ( $102.43 \pm 1.73$  ppm) และสารเคออสติน ( $0.21 \pm 0.00$  ppm) ได้ในปริมาณสูงเช่นเดียวกัน ในกระบวนการผลิตไมโครแคปซูลด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย เมื่อแปรอัตราส่วนของผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน (7.5%:2.5% 7.92%:2.08% และ 8.33%:1.67%) ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ (15% 22.5% และ 30%) และอุณหภูมิอากาศขาเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอย (150 165 และ 180 องศาเซลเซียส) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูล คือ ภาวะที่ใช้อัตราส่วนของผงบุกและมอลโตเดกซ์ทรินเท่ากับ 7.5%:2.5% ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบเท่ากับ 30% และอุณหภูมิอากาศขาเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส และไมโครแคปซูลที่ได้มีฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันสูง เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี FRAP ( $6194.19 \pm 124.98$   $\mu$ mol Trolox / g db) และ DPPH radical scavenging ( $334.16 \pm 14.66$   $\mu$ mol Trolox / g db) เมื่อนำไมโครแคปซูลมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น โดยที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส มีค่าครึ่งชีวิตเมื่อศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 79 50 และ 30 วันตามลำดับ และมีค่าครึ่งชีวิตเมื่อศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 79 48 และ 35 วันตามลำดับ

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

# # 5472001223 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS: MULBERRY / ANTIOXIDATION / KONJAC GLUCOMANNAN / SPRAY DRYING

NUNTANIT SURAPHAN: EFFECTS OF USING KONJAC POWDER IN COMBINATION WITH MALTODEXTRIN ON QUALITY OF MULBERRY LEAF EXTRACT BY SPRAY DRYING. ADVISOR: ASST. PROF. CHALEEDA BOROMPICHAICHARTKUL, Ph.D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. KIATTISAK DUANGMAL, Ph.D., 111 pp.

Microencapsulation is an important process to produce microcapsules of mulberry leaves extract containing antioxidant activity. This research is aimed to find the suitable concentration of ethanol (50%, 60%, 70% and 95%) to extract the antioxidants from mulberry leaf. The ethanolic extract of mulberry leaf was screened by Total phenolic content (TPC), amount of rutin and quercetin by HPLC, Ferric Reducing Antioxidant Potential (FRAP) method and 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay. On the basis of TPC method, amount of rutin and quercetin, FRAP method and DPPH radical scavenging assay of each concentration of ethanol in the mulberry leaf extracts, the antioxidant activity of 60% ethanolic extract of mulberry leaf was the most potent antioxidant in FRAP method ( $51.83 \pm 1.90$  mmol Trolox / g wb) and DPPH radical scavenging assay ( $10.45 \pm 0.16$  mmol Trolox / g wb) and also have high content of total phenolic content ( $122.15 \pm 5.32$  mg GAE / g wb), amount of rutin ( $102.43 \pm 1.73$  ppm) and amount of quercetin ( $0.21 \pm 0.00$  ppm). After the extraction, the mulberry leaf extract was encapsulated and transformed into powder by spray drying using coating materials namely, Konjac glucomannan (KGM) and maltodextrin (DE 20). Three parameters that were optimized are (1) ratio of konjac glucomannan/maltodextrin (7.5%:2.5%, 7.92%:2.08%, 8.33%:1.67%), (2) amount of mulberry leaves extract (15%, 22.5%, 30%) and (3) Inlet temperature (150 °C, 165 °C, 180 °C). From the result, it was found that at 3:1 ratio of konjac glucomannan/maltodextrin, 30% mulberry leaf extract and Inlet air temperature of 180 °C yielded a highest antioxidant capacity powder screened by FRAP method ( $6194.19 \pm 124.98$   $\mu$ mol Trolox / g db) and DPPH radical scavenging assay ( $334.16 \pm 14.66$   $\mu$ mol Trolox / g db) when compared to other conditions. Moreover, in this condition high amount of rutin ( $1.10 \pm 0.06$  ppm) was also found. In the final part, changing of properties and shelf life of microcapsules were studied. Microcapsules were kept at 35, 45 and 55 °C for 3 months. It was found that the longer time of storage, the more reduction of antioxidant property was observed. Microcapsules had half-life of 79, 50 and 30 days at 35, 45 and 55 °C respectively when determined by the antioxidant property with FRAP and 79, 48 and 35 days respectively when determined by the antioxidant property with DPPH.

Department: Food Technology

Field of Study: Food Technology

Academic Year: 2013

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับเสร็จสมบูรณ์ได้นี้จำเป็นต้องกราบขอบพระคุณความกรุณาและความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมเป็นอย่างสูง ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ แก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานวิจัย รวมทั้งกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. ปราณี อานเป็รื่อง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ศิริมา พ่วงประพันธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระเชษฐ จิตตานิษฐ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องต่างๆมากมาย ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยฉบับนี้ ขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สุทธิธรรวัช ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการวิจัย บริษัท ไปโอ ฟังก์ชั่น อินกรีเดียน (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์หมอลโตเดกซ์ทรินที่ใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องนิสิตภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย ตลอดจนนักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการ ที่ช่วยให้ความช่วยเหลือ ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านการเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกคนในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา และกำลังใจจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1    ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2    สมมุติฐานงานวิจัย.....	2
1.3    วัตถุประสงค์.....	2
1.4    ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1    หม่อน.....	3
2.1.1    ความสำคัญทางเศรษฐกิจของหม่อน.....	3
2.1.2    หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60.....	4
2.1.3    สารสำคัญในใบหม่อน.....	4
2.2    อนุมูลอิสระ.....	6
2.3    สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant).....	6
2.3.1    สารประกอบโพลีฟีนอล.....	7
2.3.1.1    สารฟลาโวนอยด์.....	7
2.3.1.2    สารที่ไม่มีโครงสร้างเป็นฟลาโวนอยด์.....	9
2.3.2    กลไกการต้านออกซิเดชันของสารกลุ่มโพลีฟีนอล.....	9
2.3.2.1    การจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging).....	9
2.3.2.2    การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนโตเดี่ยว (Singlet oxygen, O <sub>2</sub> ).....	10
2.3.2.3    การจับกับโลหะ (metal chelation).....	10
2.3.3    การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน.....	10
2.3.3.1    Reducing power assay.....	10

2.3.3.2	DPPH Radical Scavenging Assay .....	11
2.4	การสกัดด้วยตัวทำละลาย.....	11
2.5	การอบแห้งแบบพ่นฝอย .....	15
2.5.1	หลักการอบแห้งแบบพ่นฝอย .....	16
2.6	ไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation) .....	18
2.7	สารเคลือบ (wall) .....	20
2.7.1	บุก .....	22
2.7.1.1	กลูโคแมนแนน.....	23
2.8	สารตัวพา .....	24
2.9	อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์.....	25
2.9.1	เกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ .....	26
2.9.2	การหาอายุการเก็บรักษา .....	29
2.9.3	การคาดคะเนอายุการเก็บ โดยการศึกษาอันดับของปฏิกิริยา และอัตราเร็วของปฏิกิริยา.....	29
บทที่ 3	วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมี.....	32
3.1	วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมี .....	32
3.1.1	วัตถุดิบ.....	32
3.1.2	สารเคมี/วัสดุ.....	32
3.1.3	อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	33
3.2	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	34
3.2.1	การศึกษาวิธีการสกัดสารสกัดจากใบหม่อน .....	34
3.2.1.1	การเตรียมสารสกัดจากใบหม่อน .....	34
3.2.1.2	วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของสารสกัดจากใบหม่อน.....	34
3.2.2	ศึกษาวิธีการผลิตไมโครแคปซูลที่เหมาะสมในการกักเก็บสารสกัดจากใบหม่อน โดยใช้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย .....	35
3.2.2.1	การเตรียมไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อน.....	35
3.2.2.2	วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของไมโครแคปซูล .....	36
3.2.3	ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อน .....	37



บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	38
4.1 การศึกษาวิธีการสกัดสารสกัดจากใบหม่อน.....	38
4.2 ศึกษาวิธีการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	44
4.3 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อน.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	76
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	76
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	76
รายการอ้างอิง.....	78
ภาคผนวก ก. วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ.....	87
ก.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก.....	88
ก.2 ปริมาณของสารฟลาโวนอยด์ กลุ่มรูติน (rutin) และเคอควิซิติน (quercetin) ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) และชนิดของสารด้วยเทคนิค LC-MS.....	89
ก.3 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power assay (FRAP).....	90
ก.4 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical-scavenging activity.....	92
ก.5 ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM).....	93
ก.6 ความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูล (water solubility index, WSI).....	94
ก.7 ค่าความชื้น.....	94
ก.8 อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนที่อุณหภูมิต่างๆ.....	95
ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม.....	98
ภาคผนวก ค. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	111

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ปริมาณของผงบุก ปริมาณของมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อน และ อนุมูลอากาศาเข้าที่ใช้ในการผลิตไมโครแคปซูลที่สภาวะต่างๆ.....	36
ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดจากใบหม่อนที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอล ต่างๆ.....	38
ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารรูติน (rutin) และเคอควิซิน (quercetin) ของสารสกัดจากใบหม่อนที่ระดับ ความเข้มข้นของเอทานอลต่างๆ ซึ่งได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC).....	40
ตารางที่ 4.3 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในสารสกัดจากใบหม่อนที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอล ต่างๆ.....	42
ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการละลายและความข้นของไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอล โตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอนุมูลอากาศาเข้าต่างๆ .	45
ตารางที่ 4.5 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอนุมูลอากาศาเข้าในการอบแห้งแบบพ่น ฝอยต่างๆ.....	46
ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารรูตินและเคอควิซินของไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอนุมูลอากาศาเข้าในการอบแห้ง แบบพ่นฝอยต่างๆ ซึ่งได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC).....	49
ตารางที่ 4.7 ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจาก ใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอนุมูลอากาศาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยต่างๆด้วยกล้อง จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM).....	53
ตารางที่ 4.8 ค่าครึ่งชีวิตของไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศา เซลเซียส.....	75
ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การ ต้านออกซิเดชันซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP และ DPPH ของสารสกัดจากใบหม่อนที่ระดับความเข้มข้น ของเอทานอลต่างๆ.....	108
ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารรูตินและเคอควิซินของสารสกัด จากใบหม่อนที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอลต่างๆ ซึ่งได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค HPLC.....	108

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการละลาย ความชื้น และ  
 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP และ DPPH ของไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนของผงบุก  
 ต่อมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอุณหภูมิอากาศขาเข้า  
 ในการอบแห้งแบบพ่นฝอย ..... 109

ตารางที่ ค.4 ปริมาณสารรูดินของไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณ  
 สารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอุณหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอย  
 ต่างๆ ซึ่งได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค HPLC ..... 110



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของสารฟลาโวนอยด์.....	5
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างเคอควิซิน (Quercetin).....	8
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างรูติน (Rutin).....	9
ภาพที่ 2.4 การอบแห้งแบบพ่นฝอย .....	15
ภาพที่ 2.5 ทิศทางการไหลของของเหลวและอากาศภายในถังอบแห้ง .....	17
ภาพที่ 2.6 ลักษณะของไมโครแคปซูล .....	19
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของสารกลูโคแมนแนน.....	23
ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นแบบปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับหนึ่ง.....	30
ภาพที่ 4.1 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานรูติน (rutin) และเคอควิซิน (quercetin).....	39
ภาพที่ 4.2 โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 60% (v/v) .....	40
ภาพที่ 4.3 มวลโมเลกุลของสารที่พบในปริมาณมากกว่ารูติน และเคอควิซิน .....	41
ภาพที่ 4.4 โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน.....	48
ภาพที่ 4.5 ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า.....	51
ภาพที่ 4.6 ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 1500 เท่า.....	52
ภาพที่ 4.7 ค่าร้อยละความชื้นของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ .....	54
ภาพที่ 4.8 ค่า water activity ของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ .....	55
ภาพที่ 4.9 ค่าการละลายของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ .....	55
ภาพที่ 4.10 ค่า L* value ของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ .....	57
ภาพที่ 4.11 ค่า a* value ของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ .....	58



ภาพที่ 4.23 ข ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส .....	71
ภาพที่ 4.24 ก ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส .....	72
ภาพที่ 4.24 ข ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส .....	73
ภาพที่ 4.25 ก ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส .....	74
ภาพที่ 4.25 ข ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส .....	74
ภาพที่ ข.1 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 50% (v/v) .....	99
ภาพที่ ข.1 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 50% (v/v) .....	99
ภาพที่ ข.2 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 60% (v/v) .....	100
ภาพที่ ข.2 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 60% (v/v) .....	100
ภาพที่ ข.3 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 70% (v/v) .....	101
ภาพที่ ข.3 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 70% (v/v) .....	101
ภาพที่ ข.4 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v) .....	102
ภาพที่ ข.4 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v) .....	102
ภาพที่ ข.5 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 15% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส .....	103

ภาพที่ ข.5 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทรีน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 15% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ..... 103

ภาพที่ ข.6 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทรีน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ..... 104

ภาพที่ ข.6 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทรีน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส ..... 104

ภาพที่ ข.7 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทรีน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ..... 105

ภาพที่ ข.7 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทรีน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ..... 105

ภาพที่ ข.8 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทรีน 5:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ..... 106

ภาพที่ ข.8 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทรีน 5:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 180 องศาเซลเซียส ..... 106

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ใบหม่อน (Mulberry Leaf) มีสารสำคัญที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ ประกอบด้วยสารกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenol) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) โดยสารเหล่านี้ให้ประโยชน์ครอบคลุมปัญหาสุขภาพหลายอย่างด้วยกัน เช่น สารสำคัญในใบหม่อนช่วยลดภาวะหลอดเลือดแดงแข็งตัวและตีบตัน เนื่องจากคอเลสเตอรอลเกาะหลอดเลือด โดยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ของแอลดีแอลคอเลสเตอรอล (LDL Cholesterol) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของภาวะไขมันอุดตันเส้นเลือด การออกฤทธิ์นี้เกิดจากความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยสารที่ออกฤทธิ์ คือ ไอโซควิเชติน (isoquercetin) และแอสตรากาลิน (astragalins) (Oku et al., 2006) ฟลาโวนอยด์ช่วยป้องกันและบำบัดโรคเบาหวาน โดยออกฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ในลำไส้เล็กที่ทำหน้าที่เปลี่ยนน้ำตาลโมเลกุลคู่ให้กลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ร่างกายจึงไม่สามารถดูดซึมได้ มีผลทำให้น้ำตาลในกระแสเลือดลดลง นอกจากนี้ในใบหม่อนยังมีสารที่สามารถป้องกันการเกิดมะเร็งได้ (Ji et al., 1997) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าฟลาโวนอยด์มีคุณสมบัติต่างๆ มากมาย จึงเหมาะสมในการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ แต่เนื่องจากในปัจจุบันใบหม่อนยังไม่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง และฟลาโวนอยด์ไม่เสถียร โดยไวต่อความร้อน แสง และอากาศ จึงมีการคิดค้นวิธีให้สารสกัดที่ได้จากใบหม่อนเสถียรมากขึ้น เพื่อให้สะดวกในการใช้งาน เพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร สร้างนวัตกรรมที่สามารถขยายผลในในการผลิตเชิงการค้าต่อไปในอนาคต เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดอาหารเพื่อสุขภาพ และให้ใช้ในผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย โดยศึกษากระบวนการเพื่อกักเก็บสารสกัดจากใบหม่อน เช่น เอนแคปซูลชัน (encapsulation) เป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น เพื่อป้องกันสารจากสภาพแวดล้อม ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการแปรรูปได้ พร้อมทั้งสามารถควบคุมและชะลอการปลดปล่อยสารออกตามระยะเวลาที่ต้องการ ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการกักเก็บสารมีหลายชนิดทั้งคาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช มอลโตเดกซ์ทริน กัมอารบิก โปรตีน เช่น เวย์โปรตีน สารเคลือบที่นิยมใช้กันมากคือ กัมอารบิก เนื่องจากมีความหนืดต่ำ สามารถละลายน้ำได้ดี มีคุณสมบัติการเป็นอิมัลชัน และกักเก็บสารได้ดี แต่กัมอารบิกมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาสารเคลือบชนิดอื่น ได้แก่ ผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน เพื่อทดแทนหรือลดการใช้กัมอารบิก โดยศึกษาวิธีการผลิตไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของตัวทำละลาย อัตราส่วนของผงบุกร่วมกับมอลโตเดกซ์ทริน (DE 20) ปริมาณสารฟลาโวนอยด์ สภาพวะในการอบแห้งแบบพ่นฝอย และอายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล



## 1.2 สมมุติฐานงานวิจัย

ไมโครแคปซูลที่ได้จากการศึกษาโดยใช้สารเคลือบผงบุกกับมอลโตเดกซ์ทริน (DE 20) สามารถกักเก็บสารต้านออกซิเดชันจากสารสกัดจากใบหม่อนไว้ได้ โดยผ่านกระบวนการเอนแคปซูลชันด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย

## 1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อผลิตไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อนโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของตัวทำละลาย อัตราส่วนของผงบุกร่วมกับมอลโตเดกซ์ทริน (DE 20) ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ สภาพะในการอบแห้งแบบพ่นฝอย และอายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล

## 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาความเข้มข้นของเอทานอลที่ใช้ในการสกัดสารกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenol) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) จากใบหม่อน

1.4.2 ศึกษาวิธีการผลิตไมโครแคปซูลที่เหมาะสมในการกักเก็บสารสกัดจากใบหม่อน ด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้บุกและมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารเคลือบ

1.4.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนที่ได้

1.4.4 ศึกษาคุณภาพของไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างกระบวนการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน

## บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

### 2.1 หม่อน

หม่อนเป็นไม้ยืนต้นประเภทพุ่มในวงศ์ Moraceae ที่มีอยู่มากมายหลายพันธุ์ พบมากคือพันธุ์ *Morus alba* Linn. เป็นพืชกึ่งร้อน (subtropical) ซึ่งมีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชีย สามารถปลูกได้ทั่วไปในประเทศไทย โดยเฉพาะทางภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย เป็นพืชที่เจริญได้ทั้งในเขตหนาวและเขตร้อน

หม่อนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายอย่าง เช่น เป็นอาหารของหนอนไหม ใบหม่อนนั้นมีสารอาหารมากมาย โดยเฉพาะโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต ดังนั้นจึงเหมาะสมสำหรับเป็นอาหารของหนอนไหม หม่อนเป็นพืชสมุนไพร เนื่องจากส่วนต่างๆของหม่อนมีสรรพคุณทางสมุนไพร เช่น ยอดหม่อนมีสรรพคุณในการบำรุงสายตา กิ่งของหม่อนมีสรรพคุณในการช่วยให้เลือดไหลเวียนได้ดี ถ้าใส่ทำงานได้ดีขึ้น ขจัดความร้อนภายในร่างกาย และรักษาอาการปวดต่างๆ รวมทั้งตะคริวและเหน็บชา ผลหม่อนมีสรรพคุณในการรักษาโรคไขข้อ บำรุงหัวใจ บำรุงเส้นประสาท และขจัดความร้อนภายในร่างกาย รากหม่อนมีสรรพคุณในการลดปริมาณน้ำตาลในเลือด (ส่งเสริมการเกษตร, 2532) นอกจากนี้หม่อนยังสามารถนำมาเป็นอาหารและเครื่องดื่มได้อีกด้วย เช่น ผลหม่อนสามารถนำมารับประทาน ยอดหม่อนและใบหม่อนยังสามารถนำมาใช้ในการประกอบอาหาร และยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกด้วย เช่น ชาใบหม่อน เป็นต้น

#### 2.1.1 ความสำคัญทางเศรษฐกิจของหม่อน

หม่อนเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งในประเทศไทย ส่วนต่างๆของหม่อนสามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างหลากหลายและมีสรรพคุณทางสมุนไพรอีกด้วย ประโยชน์ของหม่อนที่เห็นได้อย่างชัดเจน คือ เป็นอาหารของหนอนไหม เพื่อให้ผลิตเส้นใยมาทำผ้าไหม นอกจากการนำใบหม่อนมาเป็นอาหารของหนอนไหมแล้ว ยังสามารถนำมาประกอบอาหาร แปรรูป เช่น ชาใบหม่อน เป็นต้น

อย่างไรก็ตามใบหม่อนยังสามารถนำมาแปรรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายมากขึ้น นอกจากนี้จะเป็นการช่วยเกษตรกรแล้ว ยังเป็นการนำใบหม่อนมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

### 2.1.2 หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60

หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 เป็นหม่อนที่เกิดจากการผสมระหว่างหม่อนหมายเลข 44 จากสาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งมีใบใหญ่หนา ขอบปล้องถี่ ให้ผลผลิตต่อไร่สูง แต่มีอัตราการงอกของรากต่ำและปักชำในแปลงโดยตรงไม่ได้ หม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 เป็นพันธุ์ที่มีใบขนาดใหญ่ ไม่มีแฉก ใบหนา อ่อนนุ่ม ไม่เหนียวง่าย มีพื้นที่ใบมาก แตกกิ่งได้เร็ว ไม่มีการพักตัวในทุกฤดู อัตราการงอกของรากดี ทนต่อปุ๋ยได้ดี สามารถปลูกได้ในทุกสภาพพื้นที่ ให้ผลผลิตสูงกว่าทุกๆพันธุ์ ลักษณะใบอ่อนนุ่ม เหมาะสำหรับการเลี้ยงหนอนไหม ขยายพันธุ์โดยการปักชำหรือปลูกในแปลงโดยตรง แต่มีข้อเสีย คือ เป็นพันธุ์ที่ไม่เหมาะที่จะปลูกในบริเวณที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ บริเวณที่ขาดการปรับปรุงดินหรือบริเวณที่มีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอ (ส่งเสริมการเกษตร, 2532)

จากการศึกษาของ รัตติยา สำราญสกุล (2544) พบว่า สถานที่ในการปลูกหม่อนอายุของใบ และพันธุ์ของหม่อน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมกัน ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยรวมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) นอกจากนี้ยังพบว่า ใบหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยรวมสูงที่สุด เมื่อเทียบกับใบหม่อนพันธุ์นครราชสีมา 60 ใบหม่อนพันธุ์คุณไพ และใบหม่อนพันธุ์น้อย

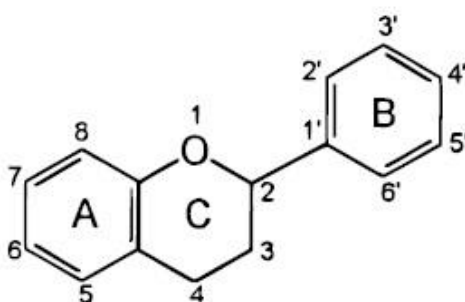
จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 เป็นพันธุ์ที่ปลูกได้ง่าย ขยายพันธุ์ได้ง่าย มีปริมาณใบต่อต้นสูง เนื่องจากแตกกิ่งได้อย่างรวดเร็ว มีพื้นที่ใบมาก และมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยรวมสูง ดังนั้นหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 จึงเป็นพันธุ์ที่เหมาะสมในการนำมาศึกษาวิจัยต่อไป

### 2.1.3 สารสำคัญในใบหม่อน

ใบหม่อนประกอบด้วยสารสำคัญต่างๆมากมาย เช่น โพรตีน คาร์โบไฮเดรต แคลเซียม ธาตุเหล็ก กรดแอสคอร์บิก เบต้าแคโรทีน วิตามินบี1 กรดโฟลิก วิตามินดี เป็นต้น (Bose, 1989) สารสำคัญบางชนิดที่พบมีความสำคัญต่อสุขภาพ เช่น สารแอลคาลอยด์ 1- ดีออกซีโนจิริมัยซิน (1-deoxynojirimycin, DNJ) ช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดของสัตว์ทดลอง (Chen et al., 1995) กรดแกมมา-อะมิโนบิวทีริก (gamma-aminobutyric acid, GABA) ช่วยลดความดันในเลือดและลดอาการอักเสบของสมองในผู้ที่ได้รับอุบัติเหตุทางสมอง (Shimizu, Yazawa, and Takeda, 1992)

นอกจากนี้ในใบหม่อนยังพบสารฟลาโวนอยด์ (ภาพที่ 2.1) หลายชนิด เช่น เควอซิทิน (quercetin) ไอโซเควอซิทิน (isoquercetin) รุทีน (rutin) แอสตรากาลิน (astragalin) แคมเฟอรอล (kaempferol) เควอซิทิน-3-โอ-(6-โอ-อะซิติล)-เบตา-ดี-กลูโคไพราโนไซด์ (quercetin-3-O-(6-O-acetyl)-beta-D-glucopyranoside) เควอซิทิน-3-โอ-เบตา-ดี-กลูโคไพราโนไซด์ (quercetin-3-O-beta-D-glucopyranoside) เควอซิทิน-3-โอ-เบตา-ดี-กลูโคไพราโนซิล-(1-6)-เบตา-ดี-กลูโคไพราโนไซด์ (quercetin-3-O-beta-D-glucopyranosyl-(1-6)-beta-Dglucopyranoside) เควอซิทิน-3,7-ได-โอ-เบตา-ดี-กลูโคไพราโนไซด์ (quercetin-3,7-di-O-beta-D-glucopyranoside) แคมเฟอรอล-3-โอ-(6-โอ-อะซิติล)-เบตา-ดี-กลูโคไพราโนไซด์ (kaempferol-3-O-(6-O-acetyl)-beta-D-glucopyranoside) แคมเฟอรอล-3-โอ-แอลฟา-แอล-รามโนไพราโนซิล-(1-6)-เบตา-ดี-กลูโคไพราโนไซด์ (kaempferol-3-O-alpha-L-rhamnopyranosyl-(1-6)-beta-D-glucopyranoside) (Katsube et al., 2006; Kim et al., 1999)

จะเห็นได้ว่าใบหม่อนมีสารสำคัญต่างๆมากมาย โดยเฉพาะสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์ สารฟลาโวนอยด์ จากการศึกษาของนุตติยา วีระวัจนชัย และระวีวรรณ แก้วอมตวงศ์ (2555) พบว่า รุทีน (rutin) มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงจากการศึกษาด้วยวิธี DPPH radical scavenging นอกจากนี้ยังพบว่าส่วนสำคัญในการออกฤทธิ์ต้านออกซิเดชันของฟลาโวนอยด์จะอยู่ที่การจับของหมู่ 3',4'-ortho-dihydroxy ของ ring B ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Rice-Evans, Miller, and Paganga (1996) พบว่า สารฟลาโวนอยด์มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน โดยฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของสารฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดมีความเกี่ยวข้องกับโครงสร้างของสารฟลาโวนอยด์ชนิดนั้น



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของสารฟลาโวนอยด์

ที่มา : Pietta (2000)

## 2.2 อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ คือ โมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่รอบนอกของอะตอมหรือโมเลกุล เช่น อนุมูลไฮดรอกซิล อนุมูลเพอร์ออกไซด์ อนุมูลไฮโดรเจน เป็นต้น โมเลกุลหรือไอออนเหล่านี้ไม่เสถียร อายุสั้น และมีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากการขาดอิเล็กตรอน ดังนั้นโมเลกุลหรือไอออนเหล่านี้จึงต้องรับหรือให้อิเล็กตรอนโดดเดี่ยวแก่สารอื่นทั้งที่เป็นอนุมูลอิสระหรือไม่เป็นอนุมูลอิสระ เพื่อให้เกิดความเสถียร ส่งผลให้สารอื่นที่ให้หรือรับอิเล็กตรอนจะเกิดความไม่เสถียร ดังนั้นปฏิกิริยาจึงเกิดต่อเนื่องไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในร่างกายมนุษย์ อาจทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบของเซลล์รอบๆบริเวณนั้น ไม่ว่าจะเป็น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต หรือดีเอ็นเอ ทำให้สารชีวโมเลกุลเหล่านั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและเสียหายที่การทำงาน ดังนั้นหากร่างกายของมนุษย์มีการสร้างอนุมูลอิสระจำนวนมากจะก่อให้เกิดการบาดเจ็บของเซลล์ ส่งผลให้เสี่ยงต่อการเป็นโรคหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือดตีบและแข็งตัว โรคความจำเสื่อม โรคไขข้ออักเสบ เป็นต้น (ไมตรี สุทธิจิตต์, 2555)

## 2.3 สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant)

สารต้านออกซิเดชัน คือ สารที่ป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารตั้งต้นที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา สารเหล่านี้มีกลไกการทำงานในการต้านออกซิเดชันมากมายหลายแบบ เช่น จับอนุมูลอิสระโดยตรง เข้าจับกับเหล็ก เป็นต้น โดยปกติทั่วไปร่างกายของมนุษย์มีการสร้างสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่เอนไซม์ แต่เนื่องจากสารต้านออกซิเดชันที่ร่างกายสร้างขึ้นมีจำนวนจำกัด ดังนั้นหากร่างกายมนุษย์มีปริมาณอนุมูลอิสระมากเกินไปกว่าสารต้านออกซิเดชันที่ร่างกายสร้างขึ้น อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายมนุษย์ได้ ดังนั้นร่างกายจึงต้องมีการรับสารต้านออกซิเดชัน เพื่อให้เพียงพอกับอนุมูลอิสระภายในร่างกาย เช่น สารกลุ่มโพลีฟีนอล ซึ่งพบมากในพืช ผัก และผลไม้ทั่วไป วิตามินบางชนิด เช่น วิตามินซี วิตามินอี เป็นต้น (Punchard and Kelly, 1996)

สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ พบได้ทั้งในจุลชีพ พืช และสัตว์ มีทั้งชนิดที่เป็นวิตามิน เช่น วิตามินอี วิตามินซี เป็นต้น และสารต้านออกซิเดชันที่ไม่ให้คุณค่าทางอาหารที่มีโครงสร้างเป็นสารประกอบฟีนอลิก โดยเฉพาะกลุ่มโพลีฟีนอล เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นต้น สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติสามารถใช้ทดแทนสารต้านออกซิเดชันที่สังเคราะห์ขึ้นได้ เช่น butylated hydroxyanisole (BHA) และ butylated hydroxytoluene (BHT) ซึ่งใช้กันอยู่ทั่วไป สารต้านออกซิเดชันที่สังเคราะห์ขึ้นนั้นเมื่อใช้ในปริมาณที่มากเกินไปอาจเกิดพิษหรือก่อให้เกิดมะเร็งได้ ตัวอย่างสารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ เช่น น้ำมันที่สกัดจากเมล็ดพืช เช่น African breadfruit

seed มีสารอาหารต่างๆมากมาย ได้แก่ โปรตีน 14-17%, เส้นใย 35-60%, คาร์โบไฮเดรต 35-60% รวมทั้งวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ เช่น วิตามินเอ ซึ่งเป็นสารต้านออกซิเดชัน ช่วยในการมองเห็น ป้องกันโรคตาบอด บำรุงสายตา บำรุงผิว ผม และเล็บ วิตามินอี ซึ่งเป็นสารต้านออกซิเดชัน ช่วยให้เลือดไหลเวียนดี ป้องกันการแข็งตัวของเลือด เป็นต้น (Nwabueze and Okocha, 2008)

ในปัจจุบันสารต้านออกซิเดชันจากพืชได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น เมื่อวิเคราะห์ในด้านของความปลอดภัย สารประกอบโพลีฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชันกลุ่มใหญ่ที่รวมทั้งสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) แอนโทไซยานิน (anthocyanins) กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ลิกนิน (lignins) และสตีลเบน (stilbenes) สารประกอบโพลีฟีนอลได้รับความสนใจจากผู้บริโภคและโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากมาย เช่น มีฤทธิ์เป็นสารต้านการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (antibacterial) ลดการอักเสบ (anti-inflammatory) ลดอาการภูมิแพ้ (antiallergic) ป้องกันการเป็นพิษต่อตับ (hepatoprotective) ป้องกันเส้นเลือดอุดตันจากลิ่มเลือด (antithrombotic) ต้านไวรัส (antiviral) ต้านมะเร็ง (anticarcinogenic) และช่วยให้หลอดเลือดขยายตัว (vasodilatory)

### 2.3.1 สารประกอบโพลีฟีนอล

สารประกอบโพลีฟีนอลเป็นสารต้านออกซิเดชันที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติประเภทหนึ่ง โดยสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

#### 2.3.1.1 สารฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์เป็นสารที่พบมาก และเป็นสารกลุ่มหนึ่งที่สำคัญของสารประกอบโพลีฟีนอล สารฟลาโวนอยด์มีโครงสร้างหลัก คือ ฟลาเวน (flavan) หรือ 2-ฟีนิลเบนโซไพแรน (2-phenylbenzopyran) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม เรียงต่อกันเป็นวงแหวน 3 วง (C<sub>6</sub>-C<sub>3</sub>-C<sub>6</sub>) ดังภาพที่ 2.1 สารฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งตามหมู่ฟังก์ชันของวงคาร์บอนกับสมบัติการแทนที่ได้เป็น 6 กลุ่มย่อย ได้แก่ ฟลาวานอล (flavanol) ฟลาโวน (flavone) ฟลาโวนอล (flavonol) ฟลาวาโนน (flavanone) ไอโซฟลาโวน (isoflavone) และแอนโทไซยานิน (anthocyanin) (Pietta, 2000) หมู่ฟังก์ชันของสารฟลาโวนอยด์นั้นมีบทบาทสำคัญในการดักจับอนุมูลอิสระ ทำให้อนุมูลอิสระไม่สามารถกระตุ้น หรือก่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยการให้อนุมูลไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระเหล่านี้ นอกจากนั้นในสารฟลาโวนอยด์ที่มีโครงสร้าง ortho-dihydroxyl phenol อยู่ในโมเลกุลพบว่าสามารถยับยั้งการเกิดอนุมูลไฮดรอกซิลในกระบวนการที่มีอนุมูลโลหะทรานซิชันเป็นส่วนประกอบ ได้แก่ Fe<sup>2+</sup> Cu<sup>2+</sup> ซึ่งอนุมูลโลหะทรานซิชันเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำ เมื่อ

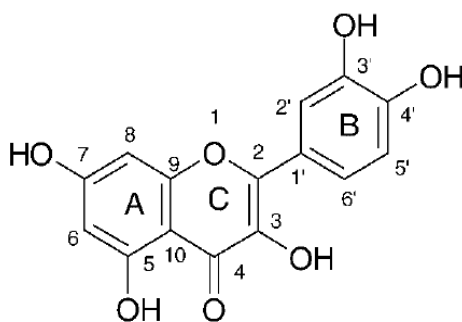
สารฟลาโวนอยด์จับกับโลหะดังกล่าวจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Sánchez-Moreno, Jiménez-Escrig, and Saura-Calixto, 2000)

ฟลาโวนอยด์ที่พบในธรรมชาติมีมากกว่า 4,000 ชนิด ส่วนใหญ่ที่พบมักอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ (glycoside) ไกลโคไซด์นั้นมีโครงสร้างที่ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำตาล จับกับส่วนที่ไม่ใช่น้ำตาล ซึ่งเรียกว่า อะไกลโคน (aglycone) (ตรีเพชร กาญจนภูมิ, 2552; พรหทัย กันแก้ว, 2555) โดยฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์จะมีส่วนที่เป็นอะไกลโคนเป็นสารจำพวกฟลาโวนอยด์

ตัวอย่างสารฟลาโวนอยด์ เช่น

- เควอซีติน (Quercetin)

เควอซีติน (Quercetin) ดังแสดงในภาพที่ 2.2 สามารถเรียกได้มากมายหลายชื่อ เช่น sophoretin, meletin, xanthaurine เป็นต้น เควอซีตินเป็นสารฟลาโวนอยด์ในกลุ่มฟลาโวนอล ซึ่งสามารถพบได้ในพืช ผัก ผลไม้ ใบ และเมล็ด เควอซีตินเป็นส่วนประกอบที่ไม่ใช่น้ำตาลที่เรียกว่า อะไกลโคน หรือ จินิน (genin) ของฟลาโวนอยด์มากมายหลายชนิด เช่น รุทีน (rutin) ไอโซเควอซีติน (isoquercetin) เป็นต้น โดยน้ำตาลจับกับเควอซีตินที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 (Rice-Evans, Miller, and Paganga, 1996)



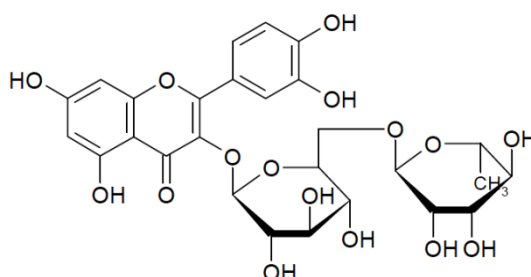
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างเควอซีติน (Quercetin)

ที่มา : Zheng et al. (2005)

- รุทีน (Rutin)

รุทีน (Rutin) ดังแสดงในภาพที่ 2.3 สามารถเรียกได้มากมายหลายชื่อ เช่น rutoside, quercetin-3-O-rutinoside, sophorin เป็นต้น รุทีนเป็น

ไกลโคไซด์ที่ประกอบด้วย เควอซิติน และ disaccharide rutinose ( $\alpha$ -L-rhamnopyranosyl-(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ -D-glucopyranose) ดังนั้นรูตินจึงเป็นกลูโคไซด์ของเควอซิติน รูตินเป็นหนึ่งในสารประกอบฟีนอลิกที่พบในพืช ผัก และผลไม้หลายชนิด เช่น ส้ม แอปเปิ้ล หม่อน เป็นต้น (Rice-Evans, Miller, and Paganga, 1996)



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างรูติน (Rutin)

ที่มา : Uivarosi et al. (2010)

### 2.3.1.2 สารที่ไม่มีโครงสร้างเป็นฟลาโวนอยด์

เช่น กรดแกลลิก (gallic acid) ไฮดรอกซีซินนามेट (hydroxycinnamate) และสติลบินเนส (stilbinase) (Burns et al., 2000)

ในการตรวจวัดปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอล ทำได้โดยนำสารประกอบโพลีฟีนอล ทำปฏิกิริยากับ Folin-Ciocalteu และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) วัดค่าการดูดกลืนแสงของที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร เพื่อหาปริมาณของสารประกอบโพลีฟีนอล โดยเทียบกับสารมาตรฐาน คือ กรดแกลลิก แสดงค่าเป็น มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมเทียบเท่ากับกรดแกลลิก (gallic acid equivalent, GAE) การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยม เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว และแม่นยำ (Waterhouse, 2005)

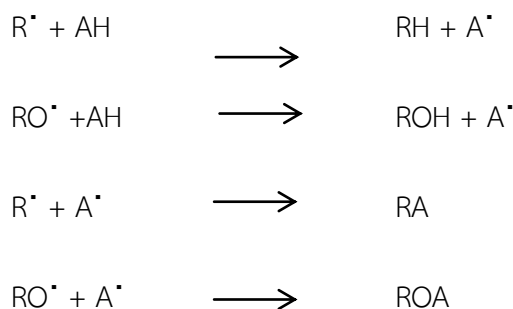
## 2.3.2 กลไกการต้านออกซิเดชันของสารกลุ่มโพลีฟีนอล

การทำงานของสารต้านออกซิเดชันของสารกลุ่มโพลีฟีนอล มีดังนี้

### 2.3.2.1 การจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging)

สารต้านออกซิเดชันจะทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้น โดยให้ไฮโดรเจน หรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ (Valacchi et al., 2004) ดังสมการ





### 2.3.2.2 การยับยั้งการทำงานของออกซิเจนโตดเดี่ยว (Singlet oxygen, $O_2$ )

ออกซิเจนโตดเดี่ยว (singlet oxygen) คือ ออกซิเจนอะตอมเดี่ยวซึ่งไม่เสถียร จึงว่องไวต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันจะยับยั้งออกซิเจนโตดเดี่ยว (singlet oxygen) โดยเปลี่ยนออกซิเจนโตดเดี่ยว (singlet oxygen) ให้อยู่ในรูปของ triplet oxygen ซึ่งมีความเสถียร และปล่อยพลังงานที่ได้รับออกมาในรูปของความร้อน (Sies, Stahl, and Sundquist, 1992)

### 2.3.2.3 การจับกับโลหะ (metal chelation)

สารต้านออกซิเดชันจะจับหรือสร้างพันธะกับโลหะ เช่น ทองแดง หรือ เหล็ก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกระตุ้นการสร้างอนุมูลอิสระ รวมทั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระ

## 2.3.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน

การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันนั้นสามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ได้แก่

### 2.3.3.1 Reducing power assay

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้หลักการการถ่ายโอนอิเล็กตรอนของสารต้านออกซิเดชัน โดยสารต้านออกซิเดชันจะถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้กับสารประกอบเชิงซ้อน ferric tripyridyltriazine (Fe(III)-TPTZ) ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ferrous tripyridyltriazine (Fe(II)-TPTZ) ซึ่งมีสีน้ำเงิน ปริมาณสารประกอบเชิงซ้อนของ ferrous ( $Fe^{2+}$ ) สามารถตรวจสอบได้โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร (Benzie and Strain, 1996)

### 2.3.3.2 DPPH Radical Scavenging Assay

การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้เป็นการวิเคราะห์ที่นิยมใช้ เนื่องจากสะดวก รวดเร็ว และง่ายต่อการวิเคราะห์ รวมทั้งให้ผลที่ถูกต้องและแม่นยำ โดยใช้สาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ซึ่งเป็นสารอนุมูลอิสระที่มีคงตัว ละลายในเอทานอล และสามารถดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร สาร DPPH จะรับโปรตอน (H<sup>+</sup>) จากสารต้านออกซิเดชัน ได้เป็นสาร diphenyl picrylhydrazyl (DPPH-H) และเปลี่ยนสีจากสีม่วงเป็นสีเหลือง ดังนั้นจึงสามารถหาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันโดยคำนวณจากค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)



การวิเคราะห์ผลนิยมวิเคราะห์เป็นค่า 50% effective concentration (EC<sub>50</sub>) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงปริมาณสารต้านออกซิเดชันที่ทำให้ความเข้มข้นของ DPPH• ลดลง 50%

$$\text{DPPH Radical Scavenging (\%)} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100 \quad \dots\dots (1)$$

A<sub>control</sub> = ค่าการดูดกลืนแสงของสาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

A<sub>sample</sub> = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

สารมาตรฐานที่ใช้ในการเทียบฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน คือ โทร็อกซ์ (trolox, 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchlorman-2-carboxylic acid) โดยแสดงค่าที่ได้เป็น TEAC (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) ซึ่งมีหน่วยเป็น mM/mg หรือ μM/mg

## 2.4 การสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นกระบวนการที่ใช้ในการแยกสารที่ต้องการออกจากของแข็งหรือเนื้อเยื่อพืช โดยตัวทำละลายจะแพร่ผ่านโครงสร้างของของแข็งหรือเนื้อเยื่อพืช ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดด้วยวิธีนี้นั้นมีมากมายหลายชนิด เช่น เอทานอล อะซิโตน เมทานอล เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการสกัด

การสกัดด้วยตัวทำละลายนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

- การสกัดแบบกะ (Batch extraction) ใช้การสกัดวิธีนี้เมื่อตัวถูกละลายอยู่ในสารตัวอย่างของแข็งที่บริเวณผิวและความสามารถในการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลายสูง การสกัดสามารถทำได้ง่าย และใช้เวลาน้อยกว่าการสกัดแบบต่อเนื่อง
- การสกัดแบบต่อเนื่อง (Continuous extraction) ใช้การสกัดวิธีนี้เมื่อตัวถูกละลายเป็นสารอินทรีย์หรือสารทางชีววิทยา ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายต่ำ หรือการสกัดที่สมบูรณ์จะต้องใช้เวลานาน จำเป็นต้องใช้วิธีการสกัดอย่างต่อเนื่อง

Ruengroengklin et al. (2008) ศึกษาสภาวะความเป็นกรด-ต่างในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จากเปลือกลิ้นจี่ ด้วยเอทานอลความเข้มข้น 60% (v/v) เป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิในการสกัด 25 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง โดยปรับพีเอช เท่ากับ 2, 3, 4, 5 และ 6 พบว่า ค่าความเป็นกรด-ต่างมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ เนื่องจากการสกัดภายใต้สภาวะความเป็นกรดปานกลางจะยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (enzymatic oxidation) ทำให้สารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ และมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

Chan et al. (2009) ศึกษาความเข้มข้นของตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จาก limau purut (*Citrus hystrix*) โดยใช้เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 20 40 60 80 และ 100 (v/v) เป็นตัวทำละลาย สกัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของเอทานอล 60% (v/v) สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ในปริมาณมากกว่าความเข้มข้นของเอทานอลอื่นๆที่ระดับความเข้มข้น 95% เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดที่ผสมตัวทำละลายสองชนิด เช่น เอทานอล 60% (v/v) สามารถสกัดสารได้ดีกว่าตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว เช่น เอทานอล 100% (v/v) โดยตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ จะมีปริมาณน้ำในตัวทำละลายมาก ทำให้ความเข้มข้นของตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงสามารถสกัดสารที่มีขั้วสูงได้มากขึ้น ดังนั้นที่ความเข้มข้นของเอทานอล 60% (v/v) จึงสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้มากที่สุด นอกจากนี้ Chan et al. (2009) ยังได้ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดต่อสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จาก limau purut (*Citrus hystrix*) ด้วยเอทานอลความเข้มข้น 60% (v/v) เป็นตัวทำละลาย โดยใช้อุณหภูมิในการสกัด ดังนี้ 25 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิ 25 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ที่ใช้ในการสกัดให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ )

Uma, Ho, and Wan Aida (2010) ศึกษาชนิดของตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จาก Henna (*Lawsonia inermis*) Leaves โดยใช้ อะซิโตน 60% (v/v) เอทานอล

60% (v/v) และเมทานอล 60% (v/v) สกัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง พบว่า อะซิโตน (60% (v/v) สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ในปริมาณมากกว่าการสกัดด้วยเมทานอล 60% (v/v) และเอทานอล 60% (v/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากตัวทำละลายในกลุ่มเดียวกันที่มีมวลโมเลกุลต่างกัน ตัวทำละลายที่มีมวลโมเลกุลสูง เช่น เอทานอล จะมีความมีขั้วของตัวทำละลายต่ำเมื่อเทียบกับเมทานอล และในกระบวนการสกัด ตัวทำละลายมักจะสกัดสารที่มีมวลใกล้เคียงกับตัวทำละลายออกมา ดังนั้นอะซิโตนเป็นตัวทำละลายที่มีมวลโมเลกุลสูงจึงสามารถสกัดสารแทนนิน ซึ่งเป็นสารประกอบฟีนอลิกชนิดหนึ่งออกมาได้ดี ทำให้อะซิโตนสามารถสกัดสารฟีนอลิกได้มากกว่าสารสกัดอื่น Uma, Ho, and Wan Aida (2010) ได้ศึกษาความเข้มข้นของตัวทำละลาย อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัด ต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จาก Henna (*Lawsonia inermis*) Leaves เมื่อศึกษาความเข้มข้นของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสารประกอบฟีนอลิก จาก Henna (*Lawsonia inermis*) Leaves พบว่า ความเข้มข้นของอะซิโตน 60% (v/v) สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ในปริมาณมากกว่าอะซิโตนที่ร้อยละ 20 40 60 80 และ 100 (v/v) เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดที่ผสมตัวทำละลายสองชนิด เช่น อะซิโตน 60% (v/v) สามารถสกัดสารได้ดีกว่าตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว เช่น อะซิโตน 100% (v/v) โดยตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ จะมีปริมาณน้ำในตัวทำละลายมาก ทำให้ความมีขั้วของตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงสามารถสกัดสารที่มีขั้วสูงได้มากขึ้น ดังนั้นที่ความเข้มข้นของอะซิโตน 60% (v/v) จึงสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้มากที่สุด เมื่อศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดสารประกอบฟีนอลิก จาก Henna (*Lawsonia inermis*) Leaves พบว่า อุณหภูมิ 25 35 และ 45 องศาเซลเซียส ที่ใช้ในการสกัดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากการใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้ปริมาณตัวทำละลายลดลง เนื่องจากตัวทำละลายบางส่วนอาจจะเหือดกลายเป็นไอ ทำให้ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นและความมีขั้วลดลง ซึ่งมีผลต่อปริมาณสารที่สกัดได้ รวมทั้งอุณหภูมิสูงอาจส่งผลต่อสารที่ต้องการสกัด เพราะสารบางชนิดจะสลายตัวเมื่ออุณหภูมิสูง และเมื่อศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัดสารประกอบฟีนอลิก จาก Henna (*Lawsonia inermis*) Leaves พบว่า เวลาที่ใช้ในการสกัด 30 นาที สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้มากกว่าเวลาที่ใช้ในการสกัด 90 180 270 360 และ 450 นาที เนื่องจากเวลาในการสกัดที่มากขึ้น ทำให้เอนไซม์บางชนิดที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อของตัวอย่างสลายสารประกอบฟีนอลิก ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่ได้น้อยลง นอกจากนั้นแล้วอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดและเวลาที่ใช้ในการสกัดยังมีผลต่อพลังงานและต้นทุนในการสกัดอีกด้วย

Chew et al. (2011) ศึกษาความเข้มข้นของตัวทำละลายต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จาก *Centella asiatica* โดยใช้เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 0 20 40 60 80 และ 100 (v/v) เป็นตัวทำละลาย สกัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้นของเอทานอล 40% (v/v) และ 60% (v/v) สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ในปริมาณที่ไม่แตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดที่ผสมตัวทำละลายสองชนิด เช่น เอทานอล 60% (v/v) สามารถสกัดสารได้ดีกว่าตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว เช่น เอทานอล 100% โดยตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ จะมีปริมาณน้ำในตัวทำละลายมาก ทำให้ความเข้มข้นของตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงสามารถสกัดสารที่มีขั้วสูงได้มากขึ้น ด้วยเหตุนี้ทำให้ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 40% (v/v) และ 60% (v/v) จึงสามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้มากที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกให้เอทานอลที่ความเข้มข้น 40% (v/v) มาใช้ในการศึกษาอนุมูลอิสระที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้จาก *Centella asiatica* พบว่า ที่อนุมูลอิสระในการสกัด 65 องศาเซลเซียส สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ในปริมาณมากกว่าที่อนุมูลอิสระในการสกัด 25 35 45 และ 55 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากเมื่ออนุมูลอิสระในการสกัดเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ตัวทำละลายสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อเยื่อของตัวอย่างได้มากขึ้น และยังทำให้สารประกอบฟีนอลิกบริเวณผนังเซลล์และที่เกิดพันธะกับสารอื่นๆออกมาได้มากขึ้น นอกจากนี้ Chew et al. (2011) ยังได้ศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ พบว่า ที่ระยะเวลาในการสกัด 60 และ 120 สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ในปริมาณสูงกว่าที่ระยะเวลาในการสกัด 180 240 และ 300 นาที แต่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ที่ระยะเวลา 60 และ 120 นาที ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อเอนไซม์ที่อยู่ภายในเนื้อเยื่อของตัวอย่าง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Uma, Ho, and Wan Aida (2010)

จากการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่าปัจจัยต่างๆมีผลต่อปริมาณสารที่สกัดได้ดังนี้

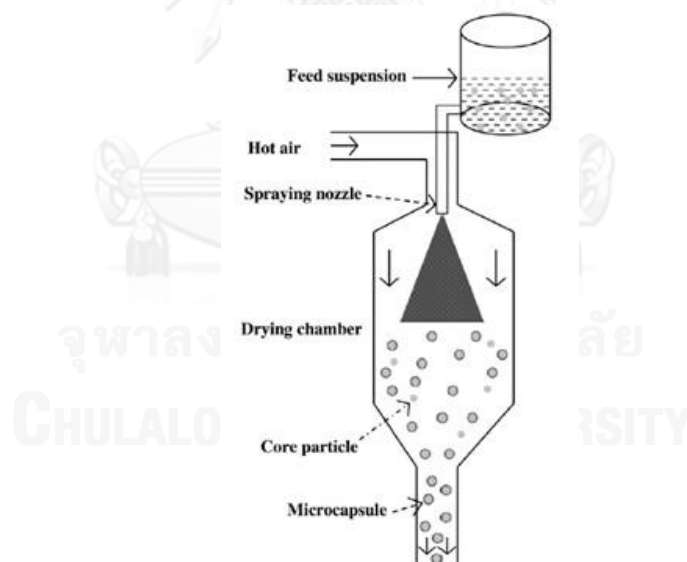
- ความเข้มข้นของตัวทำละลายมีผลต่อการสกัด ตัวทำละลายในกลุ่มเดียวกันที่มีมวลโมเลกุลต่างกัน ตัวทำละลายที่มีมวลโมเลกุลสูงจะมีความเข้มข้นของตัวทำละลายต่ำ ในกระบวนการสกัดสารตัวทำละลายมักจะสกัดสารที่มีมวลใกล้เคียงกับตัวทำละลายออกมา และตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดที่ผสมตัวทำละลายสองชนิด เช่น เอทานอล 60% (v/v) สามารถสกัดสารได้ดีกว่าตัวทำละลายเพียงชนิดเดียว เช่น เอทานอล 100% โดยตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ จะมีปริมาณน้ำในตัวทำละลายมาก ทำให้ความเข้มข้นของตัวทำละลายเพิ่มมากขึ้นด้วย จึงสามารถสกัดสารที่มีขั้วสูงได้มากขึ้น
- อุณหภูมิในการสกัดที่สูงเกินไปอาจทำให้ปริมาณตัวทำละลายลดลง เนื่องจากตัวทำละลายบางส่วนอาจจะเหือดกลายเป็นไอ ทำให้ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น และความเข้มข้นลดลง ซึ่งมีผลต่อปริมาณสารที่สกัดได้ รวมทั้งอุณหภูมิสูงอาจส่งผลต่อสารที่ต้องการสกัด เพราะสารบางชนิดจะสลายตัวเมื่ออุณหภูมิสูง นอกจากนั้นการใช้อุณหภูมิสูงยังเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและต้นทุนในการสกัด การสกัดภายใต้สภาวะความเป็นกรดสูงจะยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง (enzymatic oxidation) ทำให้ปริมาณสารที่สกัดได้เพิ่มมากขึ้น

- เวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อพลังงานและต้นทุนในการสกัด

ดังนั้นการศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสกัดมีความสำคัญ เพื่อให้ได้สารสำคัญที่ต้องการในปริมาณสูง

## 2.5 การอบแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงสารจากที่มีสถานะเป็นของเหลวเป็นอนุภาคของแข็งโดยวิธีการพ่นฝอยผ่านอากาศร้อน การอบแห้งแบบพ่นฝอยมีทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง สารตั้งต้นที่จะนำมาทำแห้งนั้นอาจอยู่ในรูปสารละลาย สารแขวนลอย (suspension) หรือสารที่มีความหนืด (paste) สารที่ได้จากการอบแห้งด้วยวิธีนี้จะอยู่ในรูปของผง (powders) เม็ด (granules) หรือรวมกันเป็นก้อน (agglomerates) ซึ่งลักษณะของสารที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและลักษณะทางเคมีของสารตั้งต้น และการออกแบบหรือกระบวนการที่ใช้ในการอบแห้ง กระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์แห้งและเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะตามที่ต้องการและเหมาะสมในการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตหรือส่งขายให้แก่ผู้บริโภคโดยตรง (Masters, 1979)



ภาพที่ 2.4 การอบแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : Ghosh (2006)

### 2.5.1 หลักการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ขั้นตอนในการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบ กระบวนการผลิต และลักษณะทางกายภาพและเคมีของสารตั้งต้น ซึ่งจะมีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้ สารตั้งต้นจะถูกฉีดผ่านหัวฉีดของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยออกมาในรูปของละออง โดยละอองเหล่านี้จะสัมผัสกับอากาศร้อยภายในหอบแห้ง ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างละอองของสารตั้งต้นและอากาศร้อน ละอองของสารตั้งต้นนั้นมีขนาดเล็ก ทำให้พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับความร้อนเพิ่มมากขึ้น เกิดการถ่ายเทของความร้อนอย่างรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผง (powders) เม็ด (granules) หรือรวมกันเป็นก้อน (agglomerates) และแยกออกจากลมร้อน เพื่อนำไปใช้ต่อไป ขั้นตอนในการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน (Masters, 1979) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การฉีดสารตั้งต้นเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยในรูปละออง (Atomization of Feed into a Spray)

ขั้นตอนนี้เป็นการทำให้ของเหลวพ่นฝอยออกมาในรูปของละออง โดยใช้หัวฉีดแบบหมุน การทำของเหลวให้มือนุภาคขนาดเล็กนั้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากขั้นตอนนี้ทำให้เกิดอนุภาคขนาดเล็กที่มีลักษณะทางกายภาพเฉพาะทั้งขนาด รูปร่าง และความหนาแน่น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มพื้นที่ผิว ซึ่งมีผลต่อความเร็วในการถ่ายเทความร้อน ถ้าอนุภาคของเหลวมีพื้นที่ผิวมากจะส่งผลให้อนุภาคของเหลวมีพื้นที่ในการสัมผัสกับความร้อนเพิ่มมากขึ้น การถ่ายเทความร้อนเกิดได้ดีขึ้น น้ำระเหยออกจากอนุภาคของเหลวได้รวดเร็วขึ้น หัวฉีดแบบหมุนซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยมีหลายรูปแบบโดยแบ่งเป็น 3 แบบหลัก คือ

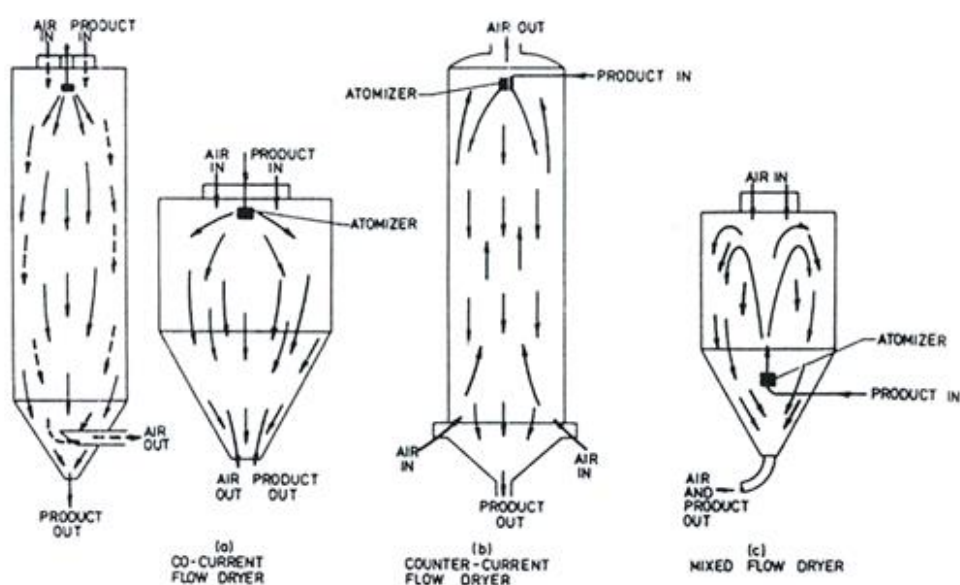
- หัวฉีดแบบหมุน (Rotary Atomizer)
- หัวฉีดแบบแรงดัน (Pressure Nozzles Atomizer)
- หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (Two-fluid Nozzle Atomizer)

ขั้นตอนที่ 2 การสัมผัสระหว่างละอองฝอยของของเหลวกับอากาศร้อน

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่อนุภาคของของเหลวสัมผัสกับอากาศร้อน ทำให้อนุภาคของของเหลวเกิดการถ่ายโอนมวลสารและความร้อนกับอากาศร้อน ส่งผลให้น้ำถูกระเหยออกไป ทิศทางการไหลของอากาศมีความสำคัญมากในขั้นตอนนี้ เนื่องจากทิศทางการไหลของ

อากาศที่เหมาะสมจะช่วยให้การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทิศทางการไหลของของเหลวและอากาศสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด

- การไหลไปในทิศทางเดียวกัน (Co-current flow)
- การไหลสวนทางกัน (Counter-current flow)
- การไหลแบบผสมกัน (Mixed-flow)



ภาพที่ 2.5 ทิศทางการไหลของของเหลวและอากาศภายในถังอบแห้ง

(a) การไหลไปในทิศทางเดียวกัน (Co-current flow)

(b) การไหลสวนทางกัน (Counter-current flow)

(c) การไหลแบบผสมกัน (Mixed-flow)

ที่มา : Masters (1979)

### ขั้นตอนที่ 3 การอบแห้งละอองฝอย (Drying of spray)

เมื่อละอองฝอยสัมผัสกับอากาศแห้งส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำ โดยการระเหยของละอองฝอยนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ชั้น ชั้นแรกนั้นเกิดจากความชื้นภายในละอองฝอยเกิดการแพร่ความชื้นจากภายในละอองฝอยมาสู่บริเวณผิวของละอองฝอยเพื่อรักษาสมดุลความชื้นระหว่างภายในของละอองฝอยและบริเวณผิวของละอองฝอย ชั้นแรกนี้อัตราการระเหยของความชื้นคงที่ อัตราการระเหยจะคงที่จนกระทั่งความชื้นลดลงเกินกว่าที่จะรักษาสมดุลความชื้น



ภายในและผิวของละอองฝอย ซึ่งเรียกสภาวะนี้ว่า จุดวิกฤต (critical point) ซึ่งเกิดการแห้งบริเวณผิวของละอองฝอย การระเหยของความชื้นในชั้นนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ของความชื้นผ่านผิวแห้งของละอองฝอย ความหนาของผิวแห้งของละอองฝอยจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้การแพร่ของความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการระเหยลดลง ชั้นที่สองนี้เป็นชั้นที่อัตราการระเหยลดลง

สารตั้งต้นที่แตกต่างกันนั้นจะส่งผลให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้แตกต่างกัน บางชนิดมีการพองตัว บางชนิดเกิดการแตกส่งผลให้เกิดรูหรือรูพรุนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่แน่นอน บางชนิดเกิดการอยู่ตัวเป็นรูปทรงกลม นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของรูปร่างของผลิตภัณฑ์นั้นยังมีความเกี่ยวข้องกับอัตราการอบแห้งอีกด้วย

ขั้นตอนที่ 4 การแยกผลิตภัณฑ์ออกจากอากาศร้อน (Separation of dried product from the air)

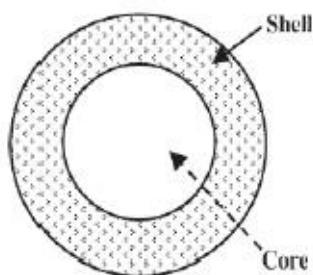
การแยกผลิตภัณฑ์ออกจากอากาศร้อนนั้นเกิดขึ้นหลังจากขั้นตอนการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงกระจายอยู่ในอากาศร้อน อากาศร้อนจะพาผลิตภัณฑ์ไปยังส่วนไซโคลน (cyclone) ไซโคลนจะแยกอากาศร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ โดยอากาศร้อนจะแยกออกจากผลิตภัณฑ์ไปยังตัวกรองอากาศ ส่วนผลิตภัณฑ์นั้นจะกระทบกับผนังของไซโคลนและตกลงสู่ภาชนะที่รองรับไว้สำหรับเก็บผลิตภัณฑ์

การผลิตไมโครแคปซูลด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีการใช้มาเป็นเวลานาน เนื่องจากความเหมาะสมทางด้านต้นทุนในการผลิต ความยืดหยุ่นในการผลิต กระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง และการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ การผลิตด้วยวิธีนี้เป็นวิธีการผลิตไมโครแคปซูลที่มีการใช้อย่างแพร่หลายทั้งในระดับอุตสาหกรรมและใช้ในเตรียมอาหารแห้งและสารให้กลิ่นรส สำหรับในการผลิตไมโครแคปซูลมักใช้แป้งตัดแปร มอลโตเดกซ์ทริน กัม และอื่นๆ เป็นสารเคลือบ โดยสารเคลือบจะถูกผสมเข้ากับสารที่ต้องการกักเก็บ และฉีดเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย น้ำในอนุภาคของตัวอย่างจะถูกระเหยโดยอากาศร้อน ไมโครแคปซูลจะถูกเก็บหลังจากตกลงสู่ด้านล่างของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ไมโครแคปซูลที่ได้จะมีลักษณะเป็นทรงกลม ขนาดของไมโครแคปซูลมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10-100 ไมโครเมตร (Masters, 1979)

## 2.6 ไมโครเอนแคปซูลชัน (microencapsulation)

ไมโครเอนแคปซูลชันเป็นกระบวนการในการนำสารเคลือบชนิดหนึ่งมาห่อหุ้มสารชนิดเดียวหรือหลายชนิดเข้าด้วยกัน โดยสารที่ถูกห่อหุ้มนั้นสามารถอยู่ทั้งในสถานะของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ สารที่เคลือบนั้นจะเคลือบในลักษณะเป็นฟิล์มบางๆ ห่อหุ้มสารสำคัญเอาไว้ เมื่ออยู่ในสภาวะที่

เหมาะสมสารสำคัญเหล่านี้จะถูกปลดปล่อยออกมา สารสำคัญที่ถูกเคลือบนั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในสถานะของเหลว เรียกว่า แกน (core) ส่วนสารที่ใช้เคลือบนั้น เรียกว่า เซลล์ (shell) สารเคลือบที่ใช้โดยทั่วไปนั้นมีทั้งที่ได้จากธรรมชาติและสังเคราะห์ขึ้น ไมโครแคปซูลที่ได้จากกระบวนการเอนแคปซูลชันจะมีขนาดอยู่ในช่วง 1-1,000 ไมโครเมตร และมีรูปร่างแตกต่างกันไปตามสารเคลือบองค์ประกอบของสารเคลือบ และเทคนิคที่ใช้ในการผลิต (Benita, 2006; Chen and Mujumdar, 2008; Dziezak, 1998)



ภาพที่ 2.6 ลักษณะของไมโครแคปซูล

ที่มา : Ghosh (2006)

Gharsallaoui et al. (2007) และ Risch and Reineccius (1988) ได้กล่าวถึงข้อดีของการนำไมโครแคปซูลมาใช้ในระบบอุตสาหกรรมอาหารไว้หลายประการ ได้แก่ ช่วยในการเจือจางสารสำคัญ ช่วยในการกักเก็บกลิ่นรสที่ต้องการหรือปกปิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ ช่วยควบคุมการปลดปล่อยสารในสภาวะที่ต้องการ รวมทั้งชะลอการปลดปล่อยสารแกน ช่วยการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางอย่างให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น เปลี่ยนสถานะของสารแกนจากสถานะของแข็งเป็นสถานะของเหลว ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้มากขึ้น ลดปฏิกิริยาต่างๆที่เกิดจากสารสำคัญทำปฏิกิริยากับสภาวะแวดล้อมภายนอก เช่น แสงแดด ออกซิเจนในอากาศ เป็นต้น สามารถช่วยในการลดกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดจากสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ทำปฏิกิริยากัน และช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษาสารให้กลิ่นรส

ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการนำไมโครแคปซูลมาใช้ในระบบอุตสาหกรรมอาหารจำนวนมาก โดยสารเคลือบเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถบ่งชี้ถึงความเสถียรและประสิทธิภาพในการกักเก็บสารสำคัญไว้ได้มากน้อยเพียงใด

## 2.7 สารเคลือบ (wall)

สารเคลือบ คือ สารที่ใช้ห่อหุ้มสารสำคัญที่ต้องการกักเก็บไว้ภายใน เพื่อปกป้องสารสำคัญจากการสูญเสียเนื่องจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น แสงแดด ออกซิเจนในอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้สารเคลือบจะช่วยปกป้องสารสำคัญแล้วยังช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งและเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับความร้อนในสภาวะที่เหมาะสม สารเคลือบที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้มีมากมายหลายชนิด แต่ส่วนใหญ่ที่ใช้กันมาก คือ สารโพลีเมอร์และโพลีเมอร์จากคาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช มอลโตเดกซ์ทริน กัม โพรตีน เป็นต้น สารเคลือบนั้นมีผลต่อความเสถียรและประสิทธิภาพการกักเก็บของไมโครแคปซูล

Risch and Reineccius (1988) และ Gharsallaoui et al. (2007) ได้กล่าวถึงคุณสมบัติต่างๆที่สารเคลือบที่ดีควรมี คือ มีความสามารถในการขึ้นรูปฟิล์ม ยืดหยุ่นและแข็งแรง เพื่อห่อหุ้มสารสำคัญ สารเคลือบต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารสำคัญ ไม่มีกลิ่นรส ราคาถูก มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ มีความคงตัวสูง ความหนืดต่ำ แม้จะใช้สารเคลือบในปริมาณมาก ไม่ดูดความชื้น เมื่ออยู่ในสถานะของแข็ง และมีความสามารถในการปลดปล่อยสารสำคัญเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

มีการศึกษามากมายที่ได้ศึกษาชนิดของสารเคลือบในการกักเก็บสารด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย Kopelman, Meydav, and Weinberg (1977) ได้ศึกษาการใช้มอลโตเดกซ์ทริน (DE 15 32 และ 42) ร้อยละ 25 (w/w) เป็นสารตัวพาในการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยจากมะนาวด้วยการทำแห้งแบบเยือกแข็ง พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคงตัวสูง โดยความสามารถในการกักเก็บน้ำมันหอมระเหยจากมะนาวเท่ากับร้อยละ 42 62 และ 67 ตามลำดับ และเมื่อนำไปวิเคราะห์หาสารลิโมนีน ซึ่งเป็นสารให้กลิ่นรสที่สำคัญในน้ำมันหอมระเหยจากมะนาว พบว่า สามารถกักเก็บสารลิโมนีนได้ร้อยละ 97.8 93.3 และ 96.3 ตามลำดับ

Wang, Jiang, and Huang (2007) ได้ศึกษาการเอนแคปซูลเอชเอ็น EGCG ซึ่งเป็นคาทิซินชนิดหนึ่งที่พบในชาเขียว โดยวิธีโคอะเซเวชันเชิงซ้อน ด้วยคาร์ราจีแนนและเจลาติน ซึ่งมีความสามารถในการฟอร์มฟิล์ม ส่งผลให้ทำหน้าที่เป็นสารเคลือบที่ดี จึงสามารถกักเก็บ EGCG ได้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ไมโครแคปซูลสามารถกักเก็บ EGCG ได้มากกว่า 89.4% รวมทั้งไม่ปลดปล่อยสาร EGCG ภายในเวลา 2 ชั่วโมง เมื่ออยู่สภาวะกรดของกระเพาะอาหาร แต่ปลดปล่อยสาร EGCG ภายในเวลา 15 นาที เมื่ออยู่ในสภาวะของลำไส้เล็ก

Ferreira, Rocha, and Coelho (2007) ได้ศึกษาการใช้คาร์โบไฮเดรตซึ่งมีมวลโมเลกุลสูง และมีคุณสมบัติในการฟอร์มฟิล์มร่วมกับมอลโตเดกซ์ทริน ในการเอนแคปซูลเอชเอ็นสารคาทิซินโดยผสมคาร์โบไฮเดรตกับน้ำบริสุทธิ์สูง และเติมมอลโตเดกซ์ทริน ตีควนจนกลายเป็นสารละลาย โดยต้องรักษาอุณหภูมิที่ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเติมคาทิซิน โดยสารละลายที่ได้ต้องรักษา

อุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 10 ถึง 40 องศาเซลเซียส นำสารละลายที่ได้ไปโฮโมจีไนส์ ที่ความเร็ว 9000 ถึง 10000 rpm แล้วนำไปอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิเข้าระหว่าง 150 ถึง 190 องศาเซลเซียส พบว่า คาเทชินที่ผ่านการเอนแคปซูลชันด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะมีลักษณะเป็นทรงกลม พื้นผิวเรียบ ปลดปล่อยสารคาเทชินเมื่อถูกกระตุ้นด้วยอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส ที่ไม่ใช่สภาวะกรด สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและออกฤทธิ์ได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากคาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช มอลโตเดกซ์ทริน เป็นต้น มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี และสารละลายมีความหนืดต่ำแม้จะใช้ในปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการเป็นสารเคลือบ

Yang, Xiao, and Ding (2009) ได้ศึกษาการใช้ผงบุกในการกักเก็บน้ำมันส้มเกลี้ยง โดยการผสมผงบุกที่ผ่านการย่อยด้วย cellulase และสารเคลือบอีกอย่างหนึ่ง ได้แก่ กัมอารบิก starch sodium octenyl succinate (SSOS) หรือมอลโตเดกซ์ทริน (อัตราส่วนของผงบุกต่อสารเคลือบอีกชนิดหนึ่งเท่ากับ 4:1) นำไปละลายในน้ำกลั่น 180 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน อุณหภูมิใน water bath 50 องศาเซลเซียส เติมน้ำ 0.1 มิลลิลิตร Celluclast 1.5L FG บ่มจนกว่าความหนืดปรากฏของสารละลายลดลงจนค่าไม่เบี่ยงเบนเมื่อวัดด้วย rotational viscometer หลังจากนั้นให้ความร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์ ลดอุณหภูมิลงจนถึงอุณหภูมิห้อง เติมน้ำมันส้มเกลี้ยง 4 มิลลิลิตร และ tween 80 ปริมาณ 0.08 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่อง homogenizer ที่ความเร็ว 14,000 rpm นาน 9 นาที นำไปผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย อุณหภูมิเข้า 160 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.6 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที อัตราการป้อนสารละลาย 400 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ความดัน 220 kPa พบว่าความหนืดปรากฏของผงบุก 200 mPa S สามารถกักเก็บน้ำมันส้มเกลี้ยงได้ดี ความสามารถในการกักเก็บน้ำมันส้มเกลี้ยงของผงบุกร่วมกับกัมอารบิก หรือ SSOS สูงกว่าการใช้ร่วมกับมอลโตเดกซ์ทรินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็นไปได้ว่าเกิดจากการที่ผงบุกและมอลโตเดกซ์ทรินมีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ต่ำ ในขณะที่ผงบุกและกัมอารบิก และผงบุกและ SSOS สามารถเกิดอิมัลชันได้ดีกว่า ส่งผลให้สามารถกักเก็บน้ำมันส้มเกลี้ยงได้ดี

Ahmed et al. (2010) ได้ศึกษาการใช้มอลโตเดกซ์ทรินและกรดแอสคอร์บิกในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกและแอนโทไซยานินจากมันเทศ โดยการเติมมอลโตเดกซ์ทริน DE 20 (30 กรัมต่อกิโลกรัม และ 100 กรัมต่อกิโลกรัม) กับกรดแอสคอร์บิก (5 กรัมต่อกิโลกรัม และ 10 กรัมต่อกิโลกรัม) ลงในน้ำบริสุทธิ์สูง ที่อุณหภูมิห้อง ( $20 \pm 1$  องศาเซลเซียส) รวมทั้งเติมสารละลายที่มีสารประกอบฟีนอลิกลงไปผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นนำไปผ่านเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ปริมาณของแห้ง  $11 \pm 0.5$  กรัมต่อ 100 กรัม อุณหภูมิเข้า 150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิออก  $85 \pm 4$  องศาเซลเซียส พบว่า การกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกด้วยมอลโตเดกซ์ทรินและกรดแอสคอร์บิก

สามารถกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกและสารต้านออกซิเดชันได้ และการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกด้วยอัตราส่วนของกรดแอสคอร์บิกและมอลโตเดกซ์ทรินที่ต่างกันมีผลต่อความสามารถในการกักเก็บสารฟลาโวนอยด์ ทั้งนี้เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินมีคุณสมบัติในการดักจับสารสำคัญ และปกป้องสารสำคัญจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน นอกจากนี้การเติมมอลโตเดกซ์ทรินยังเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งอีกด้วย

Rocha et al. (2011) ศึกษาการใช้มอลโตเดกซ์ทรินผสมกับกัมอารบิก เพื่อใช้ในการกักเก็บ EGCG (epigallocatechin-3-gallate) จากชาเขียว โดยนำกัมอารบิก 38% ไปละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเติมมอลโตเดกซ์ทริน (DE 16.5 – 19.5) 57% ตามด้วย EGCG 5% ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง นำสารละลายที่ได้ไปโฮโมจีไนส์ที่ความเร็ว 9,500 rpm อบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิขาเข้า  $160 \pm 5$  องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออก  $60 \pm 5$  องศาเซลเซียส เพื่อให้อยู่ในรูปผง พบว่า มีประสิทธิภาพสูงในการกักเก็บ EGCG (>80%) ทั้งนี้เนื่องจากกัมอารบิกมีคุณสมบัติในการฟอร์มฟิล์มหุ้มโดยรอบ และมีความเกาะติดสูง จึงสามารถห่อหุ้มสารสำคัญไว้ภายในได้เป็นอย่างดี

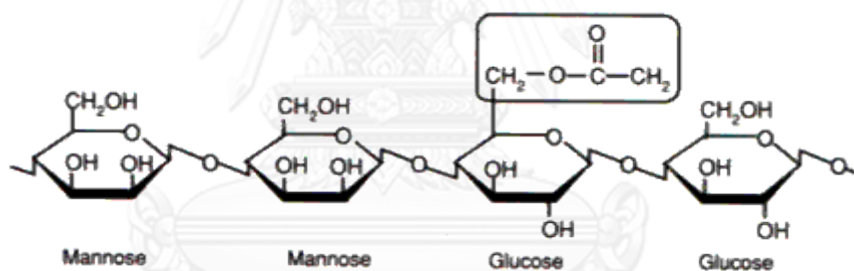
จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ความสามารถในการกักเก็บสาร ขึ้นอยู่กับ ชนิดและความเข้มข้นของสารเคลือบที่ใช้ ชนิดของสารที่ถูกกักเก็บ รวมทั้งสภาวะในการอบแห้ง สารเคลือบเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการกักเก็บสารของไมโครแคปซูล สารเคลือบต่างชนิดกันจะมีคุณสมบัติในการเป็นสารเคลือบที่แตกต่างกัน โดยจากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าคาราจีแนน เจลาติน ผงบุก และกัมอารบิกมีคุณสมบัติในการฟอร์มฟิล์ม จึงสามารถห่อหุ้มสารสำคัญไว้ภายในได้ ในขณะที่มอลโตเดกซ์ทรินซึ่งเป็นสารตัวพามีคุณสมบัติในการดักจับสาร และเพิ่มปริมาณของแข็ง ดังนั้นการเลือกใช้สารเคลือบจึงมีความสำคัญ เพื่อให้การกักเก็บสารมีประสิทธิภาพและกักเก็บสารได้ตามระยะเวลาที่ต้องการ

### 2.7.1 บุก

บุกเป็นพืชที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศไทย และต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น ไต้หวัน และจีน ซึ่งรับประทานบุกเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ โดยทั่วไปบุกสามารถใช้เป็นได้ทั้งอาหารและสมุนไพรอีกด้วย บุกเป็นไฮโดรคอลลอยด์ธรรมชาติ เมื่อนำไปละลายน้ำจะได้อาหารที่มีความหนืด และเมื่อทิ้งไว้จนแห้งจะเกิดฟิล์มที่มีความเสถียรทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น หรือในสภาวะกรดและด่าง (Tye, 1991) จึงนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเพิ่มความข้นหนืดของอาหาร ช่วยให้เกิดเจล และใช้ทดแทนไขมันและเส้นใยในผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์เยลลี่และแยม ผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อสัตว์ เป็นต้น (Ford and Chesey, 1986; Tye, 1991)

### 2.7.1.1 กลูโคแมนแนน

กลูโคแมนแนนเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลที่พบมากในบุก ซึ่งเป็นสารโพลีแซคคาไรด์โมเลกุลขนาดใหญ่ (ultra-high molecular polysaccharide) ที่เกิดจากการเรียงต่อกันเป็นสายเดี่ยว (single-chain) ไม่มีการแตกกิ่งก้านสาขาของน้ำตาลกลูโคส (D-glucose) และน้ำตาลแมนโนส (D-mannose) ในอัตราส่วนน้ำตาลแมนโนส ต่อ น้ำตาลกลูโคส เท่ากับ 1.6 : 1 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4 - ไกลโคซิดิก ( $\beta$  -1,4 - glycosidic) และมีหมู่อะซิetyl (acetyl group) กระจายอยู่ทั่วไปบนสายกลูโคแมนแนนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 โดยพบหมู่อะซิetyl 1 หมู่ต่อน้ำตาล 17 - 19 หน่วย ซึ่งมีผลต่อการละลายน้ำและการเกิดเจล (Maekaji and Kawamura, 1984; Thomas, 1997; Williams et al., 2000) กลูโคแมนแนนจัดเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) ที่มีลักษณะเป็นใยอาหาร (dietary fiber) มีคุณสมบัติในการดูดน้ำได้ดี มีความหนืดสูง และสามารถเกิดเจลที่คงตัวต่อความร้อน (Tye, 1991) เมื่อนำผงกลูโคแมนแนนบริสุทธิ์มาละลายน้ำทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 5-6 ชั่วโมง พบว่า สามารถพองตัวได้ถึง 200 เท่า โดยทั่วไปแล้วกลูโคแมนแนนสามารถละลายน้ำได้ แต่ถ้าอยู่ในสภาพต่างจะตกตะกอน (จรัล เห็นพิทักษ์, 2537)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของสารกลูโคแมนแนน

ที่มา : Tye (1991)

กลูโคแมนแนนจากบุกมีคุณสมบัติทางกายภาพมากมาย ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง คุณสมบัติที่สำคัญของกลูโคแมนแนน คือ

- ความสามารถในการเป็นสารเคลือบ

กลูโคแมนแนนสามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น สารละลายกลูโคแมนแนนที่ได้จะมีความข้นหนืดลักษณะซูโดพลาสติก (pseudoplastic) เนื่องจากกลูโคแมนแนนประกอบด้วยแมโครโมเลกุล (macromolecule) ที่เป็นสายยาวอยู่ภายในแกรนูล (granule) เมื่อแกรนูลดูดน้ำเข้าไปจะเกิดการพองตัวจนผนังชั้นนอกแตกออก ทำให้โมเลกุลที่อยู่ภายในแกรนูลหลุดออกมาและจัดตัวกลายเป็นสารละลายลักษณะซูโดพลาสติก (pseudoplastic)

กลูโคแมนแนนสามารถดูดน้ำได้ 100 – 200 เท่า โดยเฉพาะกลูโคแมนแนนที่มีความบริสุทธิ์สูงจะสามารถละลายและพองตัวได้มากขึ้น อัตราการดูดน้ำ (hydration) จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและเวลา เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการดูดซับน้ำสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีผลทำให้ความชื้นหนีดเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วด้วย (จิราภรณ์ สอนจิตร, 2537)

จากการศึกษาของ อนุวัตร แจ่มชัด และจิตติยา รัตนไตรภพ (2544) ได้ศึกษาอิทธิพลของกลูโคแมนแนนต่อคุณภาพของมังคุดในระหว่างการเก็บรักษา โดยนำกลูโคแมนแนน 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และเติมกลีเซอรอล 0.3 กรัม กวนอย่างสม่ำเสมอ 8 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อน จากนั้นกรองส่วนที่ไม่ละลายออก แล้วนำไปเคลือบผิวของมังคุด พบว่าสารเคลือบกลูโคแมนแนนสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพของมังคุดได้ ทั้งการสูญเสียน้ำหนัก การลดลงของความแน่นของเปลือก และการเปลี่ยนแปลงของสีเปลือกผลในระหว่างการเก็บรักษา โดยมังคุดที่เคลือบด้วยสารเคลือบกลูโคแมนแนนสามารถเก็บรักษาได้นาน 28 วัน

วรัญญา ปานเกตุ (2554) ได้ศึกษาการใช้สารเคลือบร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก จากผงบุก และผงบุกร่วมกับกัมอารบิก (7.2 : 1.8) เป็นสารเคลือบในการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูด ด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย ที่อุณหภูมิเข้า 160 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิออก 80 องศาเซลเซียส พบว่า เมื่อใช้สารเคลือบผงบุกร่วมกับกัมอารบิกสามารถกักเก็บน้ำมันมะกรูด และสารสำคัญได้มากกว่าการใช้สารเคลือบผงบุกเพียงอย่างเดียว เนื่องจากกัม อารบิกมีคุณสมบัติเป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี และกลูโคแมนแนนสามารถฟอร์มฟิล์มได้ดี จึงส่งผลให้สามารถผลิตไมโครแคปซูลซึ่งสามารถกักเก็บน้ำมันมะกรูดได้ดี

## 2.8 สารตัวพา

สารตัวพา (carrier) คือ สารเคมีที่เป็นวัตถุเจือปนในอาหาร ซึ่งทำหน้าที่ขนส่งและกระจายสารเคมีบางอย่างซึ่งถูกทำลายหรือระเหยได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน เช่น สารอาหาร วิตามิน สารให้กลิ่นรส เป็นต้น โดยสารตัวพาจะทำหน้าที่ดักจับและกักเก็บสารเหล่านั้นไว้แทน ทำให้สารเหล่านั้นสูญเสียเนื่องจากความร้อนลดลง ตัวพาที่ใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอยนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นผง เมื่อนำไปละลายน้ำสารสำคัญที่ถูกกักเก็บไว้ในตัวพาจะถูกปลดปล่อยออกมา นอกจากนั้นสารตัวพายังช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับอาหารก่อนเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งช่วยประหยัดเวลาในการทำแห้ง เช่น ในอาหารที่มีปริมาณของแข็งน้อย โดยเฉพาะในอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูง หากนำไปอบแห้งแบบพ่นฝอยจะทำให้น้ำตาลเหล่านั้นมีความเข้มข้นสูงขึ้นและดูดความชื้นกลับอย่างรวดเร็ว ดังนั้นสารตัวพาจึงมีความสำคัญ เพราะจะช่วยเจือจางน้ำตาล ทำให้ความเข้มข้น

ของน้ำตาลหลังอบแห้งลดลง และยังช่วยลดการดูดความชื้นกลับอีกด้วย ทำให้ไม่จับตัวกันเป็นก้อนในระหว่างการเก็บรักษา (สุนทรี วราอุบล, 2537)

### 2.8.1 มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin)

มอลโตเดกซ์ทริน คือ คาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วย D-glucose หลายๆหน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6) มอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่าสมมูลเดกซ์โทรส (dextrose equivalent หรือ DE) สูง แสดงว่าโมเลกุลของสตาร์ชถูกย่อยเป็นน้ำตาลกลูโคสมาก มอลโตเดกซ์ทรินนั้นจะมีลักษณะเป็นผงหรือเม็ด (granule) สีขาว มีความหวานแตกต่างกันไปขึ้นกับค่า DE ของ มอลโตเดกซ์ทริน มีความชื้นประมาณร้อยละ 3-5 และมีความหนาแน่นรวม (bulk density) อยู่ระหว่าง 0.31-0.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

การใช้มอลโตเดกซ์ทรินนั้นควรใช้ในปริมาณที่เหมาะสมกับชนิดและหน้าที่ในอาหาร มอลโตเดกซ์ทรินมีคุณสมบัติ คือ สามารถละลายน้ำได้ดีที่อุณหภูมิห้อง มีความหนืดสม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเรียบเนียน ดูดความชื้นน้อย โดยเฉพาะในมอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำ มีจุดเยือกแข็งคงที่ และสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลน้อยลง ความสามารถในการละลายน้ำนั้นแตกต่างกันไปตามค่า DE มอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า DE สูงจะสามารถละลายน้ำได้ดีกว่ามอลโตเดกซ์ทรินที่มีค่า DE ต่ำ นอกจากนั้นแล้วมอลโตเดกซ์ทรินยังสามารถนำมาใช้เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบก่อนที่จะนำเข้าสู่เครื่องทำแห้ง ลดการดูดน้ำกลับในผลิตภัณฑ์ประเภทผงที่มีปริมาณน้ำตาลสูงได้ และช่วยลดการจับตัวเป็นก้อน (Caking) ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย (สุนทรี วราอุบล, 2537)

### 2.9 อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษา (shelf life) หมายถึง สภาวะต่างๆที่ใช้ในการแปรรูปและเก็บรักษานั้น อาจมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพ ซึ่งแสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นไม่เหมาะสมในการบริโภค หรือหมายความว่าผลิตภัณฑ์นั้นหมดอายุนั่นเอง (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2548) รวมทั้งยังหมายถึง ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคอีกด้วย โดยเจ้าของผลิตภัณฑ์จะต้องรับผิดชอบว่า ผลิตภัณฑ์นั้นมีอายุการเก็บไม่น้อยกว่าวันหมดอายุ (expiring date) ที่กำหนดไว้ข้างผลิตภัณฑ์ (Martins et al., 2008)

เมื่อผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาส่งผลให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ดังนั้นกระบวนการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาจึงมีความสำคัญ ซึ่งจะเป็น



การยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์นั้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ถึงแม้ว่าจะเก็บไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วก็ตาม นอกจากนั้นแล้วการที่ผู้บริโภคได้ทราบถึงระยะเวลาที่สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้นๆ ได้ยังเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งที่สำคัญในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นั้นๆ อีกด้วย ดังนั้นการศึกษาอายุการเก็บรักษาจึงมีความสำคัญ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพในระยะเวลาที่ต้องการภายใต้สภาวะการเก็บ และการขนส่งที่เหมาะสม โดยอายุการเก็บรักษานั้นจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับสภาวะการแปรรูปผลิตภัณฑ์ และอุณหภูมิในการเก็บรักษา (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2548)

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานั้นส่งผลต่อทั้งลักษณะปรากฏ ความคงตัว กลิ่นรส และเนื้อสัมผัส โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นมีความสำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์อายุการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษานั้นอาจเกิดขึ้นช้าหรือเร็วขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของผลิตภัณฑ์ ภาชนะบรรจุที่ใช้ และสภาวะในการเก็บรักษา (อุษา สิทธารถ, 2549) ดังนั้นอายุการเก็บรักษาจึงเป็นการศึกษาที่ใช้ระยะเวลานาน เนื่องจากต้องเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในสภาวะที่กำหนด นำตัวอย่างมาวัดค่าตัวแปรที่ใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพตามช่วงเวลาที่กำหนด และติดตามดูระยะเวลาที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสีย ดังนั้นจึงมีการศึกษาระยะการเก็บรักษาในสภาวะเร่ง โดยการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในสภาวะควบคุมที่สามารถเร่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ (Accelerated Shelf Life Test, ASLT) (อัมพวา กัญยารอง, 2550)

### 2.9.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการกำหนดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดที่ไม่สามารถยอมรับผลิตภัณฑ์นั้นได้ (undersirable state) ทั้งในการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา ซึ่งการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุอาจทำให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคได้ (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550) ดังนั้นในการศึกษาอายุการเก็บรักษาจึงต้องมีการระบุตัวแปรที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการศึกษา ซึ่งมีความสำคัญอย่างมาก เพราะระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้นจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ในการศึกษาในการศึกษาอายุการเก็บรักษา โดยพารามิเตอร์ที่เลือกใช้นั้นจะเลือกจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางจุลชีววิทยา การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัส (Martins et al., 2008)

เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่จะเลือกใช้ได้แล้ว ต่อมาจะต้องกำหนดตัวแปรที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปจะแบ่งปัจจัยที่มีผลต่ออายุการเก็บรักษาได้ออกเป็นสองปัจจัยหลักซึ่ง Martins et al. (2008) ได้อธิบายไว้ดังนี้

- ปัจจัยภายในของตัวผลิตภัณฑ์ ได้แก่ องค์ประกอบต่างๆภายในผลิตภัณฑ์ เช่น ไขมัน โปรตีน น้ำตาล เป็นต้น ความเป็นกรดต่างของผลิตภัณฑ์ สมบัติต่างๆของภาชนะบรรจุ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่และปริมาตรของภาชนะบรรจุ

- ปัจจัยภายนอก ได้แก่ สิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น แสง ออกซิเจน ความชื้น ค่าการละลาย และอุณหภูมิ เป็นต้น

#### - แสง

แสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเร่งการเกิด free radical ขึ้นในผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน การเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุ และการสลายตัวของสารบางชนิด ดังนั้นการใช้ภาชนะบรรจุจึงขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ หากผลิตภัณฑ์ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแสงเป็นปัจจัยในการกระตุ้นปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์นั้นสามารถใช้ภาชนะบรรจุที่โปร่งใสได้ แต่หากผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแสงเป็นปัจจัยในการกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์นั้นจำเป็นต้องใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันแสงได้ แสงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาต่างๆมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสง ความเข้มของแสง ระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์สัมผัสแสง และความไวต่อแสงขององค์ประกอบในอาหาร

#### - ออกซิเจน

ออกซิเจนจะมีผลต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้นเป็นการเสื่อมเสียที่พบมากในผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบ โดยออกซิเจนจะเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันไม่อิ่มตัวที่ตำแหน่งพันธะคู่หรือพันธะสาม ส่งผลให้โมโนเมอร์ ไดเมอร์ และพอลิเมอร์ของไขมันมีการออกซิไดซ์มากขึ้น ได้สารไดเมอร์ พอลิเมอร์ที่ไม่มีชีว และสารประกอบที่ระเหยได้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำขึ้น เกิดลักษณะของกลิ่นรสที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งแสง ความชื้น และอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (นฤชยา โพธิ์เทศ, 2552; พรเทพ เมฆารักษ์ภิญโญ, 2537)

#### - ความชื้น

ความชื้นของผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อมหากมีความแตกต่างกันจะมีการถ่ายเทความชื้นจนเกิดสภาวะสมดุล ดังนั้นผลิตภัณฑ์เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลานานจะมีความชื้นสูงขึ้น ผลิตภัณฑ์จะจับตัวเป็นก้อนได้ง่าย และความชื้นที่เพิ่มขึ้นนี้จะส่งผลต่อ

การการเปลี่ยนแปลงต่างๆอีกด้วย กระบวนการแปรรูปนั้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะมีลักษณะเป็นผง มีรูพรุน ส่งผลให้ดูดความชื้นได้เร็วและจับตัวเป็นก้อนได้ง่าย โดยของเหลวที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคจะเกิดการเชื่อมติดกัน และเมื่อของเหลวที่เชื่อมติดกันนั้นเกิดการแข็งตัวกลายเป็นของแข็ง ซึ่งจะทำให้ลายสมบัติการไหลอย่างอิสระของผลิตภัณฑ์ (free flowing property) รวมทั้งอาจทำให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการยุบตัวของผนังอนุภาค ซึ่งทำให้สารให้กลิ่นรสที่อยู่ภายในอนุภาคถูกปลดปล่อยออกมา (จิราภรณ์ สอนจิตร, 2537; ประศาสตร์ พุทธระกูล, 2545)

ดังนั้นการควบคุมความชื้นจึงมีความสำคัญ หากไม่เลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงขึ้น จนเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่ไม่พึงประสงค์ในผลิตภัณฑ์นั้นๆได้ จากการศึกษาของปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ (2541) พบว่า ถูงอูมิเนียมพอยล์มีคุณสมบัติเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ดี โดยสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ น้ำ กลิ่น แสง และน้ำมัน ได้เป็นอย่างดี โดยมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำน้อยกว่า 0.1 กรัม/ตารางเมตร/วัน

กฤษณา รักษ์วงศ์ et al. (2549) ได้ศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ (โพลีโพรพิลีน อลูมิเนียมพอยล์ และถุงสุญญากาศ) ต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิใบหม่อน (ข้าวใบหม่อนต่อข้าวหอมมะลิคั่ว เท่ากับ 10:20) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และประเมินผลทางประสาทสัมผัสทุกๆ 30 วัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์อูมิเนียมพอยล์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าถุงสุญญากาศ และโพลีโพรพิลีนตามลำดับ

Prakittachakul (2525) ได้ศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ (โพลีเอธิลีน และอูมิเนียมพอยล์) ในการเก็บรักษามะนาว พบว่า มะนาวที่เก็บในถุงอูมิเนียมมีการเปลี่ยนแปลงของความชื้นที่น้อยกว่ามะนาวที่เก็บในถุงโพลีเอธิลีน เนื่องจากอูมิเนียมพอยล์สามารถป้องกันการซึมผ่านของแสง น้ำ และอากาศได้ดี จึงส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของความชื้นของมะนาวน้อยกว่ามะนาวที่เก็บในถุงโพลีเอธิลีน

- อุณหภูมิ

ปฏิกิริยาทางเคมีทุกชนิดสามารถถูกเร่งให้เร็วขึ้นหรือช้าลงได้ เมื่อมีการเปลี่ยนอุณหภูมิ

## 2.9.2 การหาอายุการเก็บรักษา

การหาอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สามารถทำได้ 2 วิธี (งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)  
คือ

### - การเก็บรักษาในสภาวะปกติ

การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในสภาวะควบคุมปกติ โดยสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบเป็นระยะๆ จนกระทั่งผลิตภัณฑ์เสื่อมคุณภาพจนไม่เป็นที่ยอมรับ การกำหนดอายุการเก็บรักษาจะกำหนดตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งผลิตภัณฑ์เสื่อมเสียจนไม่เป็นที่ยอมรับ

### - การเก็บรักษาในสภาวะเร่ง

การเก็บรักษาในสภาวะเร่งเป็นการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ในสภาวะควบคุมที่สามารถเร่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น อุณหภูมิสูงกว่าปกติ ความเข้มข้นของออกซิเจนสูงกว่าปกติ เป็นต้น สภาวะเร่งนี้ช่วยลดระยะเวลาทดลองเพื่อหาอายุการเก็บรักษา โดยจะเร่งการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ให้เร็วขึ้น จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองไปแปรผลเป็นอายุการเก็บรักษาที่สภาวะปกติ

## 2.9.3 การคาดคะเนอายุการเก็บ โดยการศึกษาอันดับของปฏิกิริยา และอัตราเร็วของปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาที่เลือกมาใช้ในการตัดสินใจเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษาจะต้องมีความสำคัญที่สุด เป็นคุณภาพสุดท้ายที่ผู้บริโภคยอมรับได้ และเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาในผลิตภัณฑ์ จลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยาเป็นการศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยวัดจากมวลของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นต่อเวลา สามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎีจลนศาสตร์ (Chinachoti, 1996; Komolprasert, 1996; งามทิพย์ ภู่วโรดม, 2550)

$$- dC / dt = kC^m \quad (4)$$

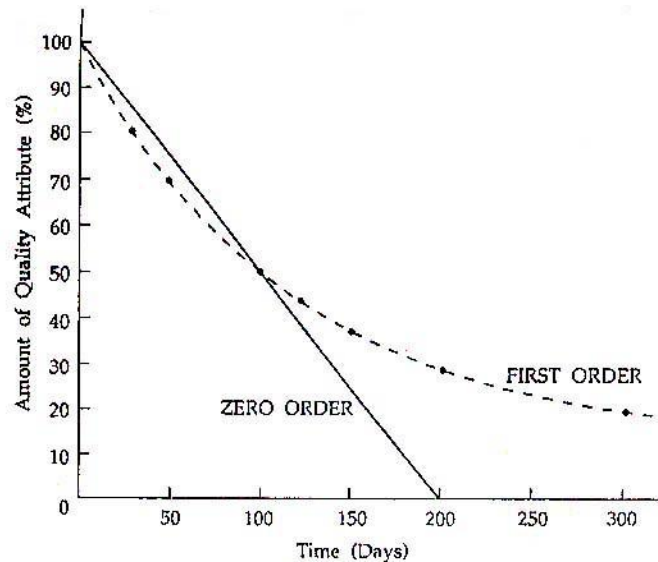
$$C = \text{ความเข้มข้นของตัวแปรที่สนใจ ณ เวลา } t$$

$$\text{เมื่อ } t = \text{เวลา}$$

$$k = \text{อัตราเร็วของปฏิกิริยา}$$

$$m = \text{อันดับของปฏิกิริยา}$$

จากสมการข้างต้น จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่งในสมการ คือ อันดับของปฏิกิริยา ซึ่งโดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงพื้นฐานที่เกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์อาหารมักเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero order) และอันดับหนึ่ง (First order)



ภาพที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นแบบปฏิกิริยาอันดับศูนย์และอันดับหนึ่ง

(Komolprasert, 1996)

#### ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ (Zero order)

เมื่อกำหนดให้  $C$  เป็นความเข้มข้นของตัวแปรที่สนใจที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษา และลำดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับศูนย์ ( $n=0$ ) ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์เป็นดังสมการ

$$-dC / dt = kC^0$$

$$-dC / dt = k$$

หรือ  $C_t = C_0 - k(t)$  \_\_\_\_\_ (5)

$C_t$  = ความเข้มข้นของตัวแปรที่สนใจ ณ เวลา  $t$

เมื่อ  $C_0$  = ความเข้มข้นของตัวแปรที่สนใจเมื่อเริ่มต้น

$k$  = อัตราเร็วของปฏิกิริยา

$t$  = ระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C และ t จะได้กราฟเส้นตรง ซึ่งแสดงว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไม่ได้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของ C และอัตราการเกิดปฏิกิริยานี้จะมีค่าคงที่ (Komolprasert, 1996)

- ปฏิกิริยาลำดับหนึ่ง (First order)

เมื่อกำหนดให้ C เป็นความเข้มข้นของตัวแปรที่สนใจที่ลดลงระหว่างการเก็บรักษา และลำดับของปฏิกิริยามีค่าเท่ากับหนึ่ง (n=1) ปฏิกิริยาทางจลนพลศาสตร์เป็นดังสมการ

$$- dC / dt = kC^1 \quad (6)$$

$$C_t = C_0 e^{-kt}$$

หรือ  $\ln (C_t / C_0) = -kt$

หรือ  $\log (C_t / C_0) = - (k / 2.303) (t)$

เมื่อ  $C_0 =$  ความเข้มข้นของตัวแปรที่สนใจเมื่อเริ่มต้น

$k =$  อัตราเร็วของปฏิกิริยา

$t =$  ระยะเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง C และ t จะได้กราฟเอ็กซ์โพเนนเชียล โดยอัตราการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ณ เวลานั้น ดังนั้นอัตราการเสื่อมเสียคุณภาพจะค่อยๆลดลงเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น (Komolprasert, 1996)

**บทที่ 3**  
**วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมี**

**3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์และสารเคมี**

**3.1.1 วัตถุดิบ**

ใบหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 (ได้รับความอนุเคราะห์จากกรมหม่อนไหม กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ประเทศไทย)

ผงบุก (บริษัท Yunnan Genyun Konjac Resource Corp., ประเทศจีน)

มอลโตเดกซ์ทรีน (ได้รับความอนุเคราะห์จาก Bio Function Ingredients Co., Ltd, ประเทศไทย)

**3.1.2 สารเคมี/วัสดุ**

Cellulase E.C. 3.2.1.4 (*Trichoderma reesei* ATCC 26921) (บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศอเมริกา)

เอทานอล 99.9% (บริษัท QRec, ประเทศนิวซีแลนด์)

Folin Ciocalteu's phenol reagent (บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศอเมริกา)

Gallic acid monohydrate (บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศอเมริกา)

2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) (บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศอเมริกา)

(±)-6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox) (บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศอเมริกา)

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (บริษัท Sigma-Aldrich, ประเทศอเมริกา)

กระดาษกรอง เบอร์ 1 (บริษัท Whatman International, ประเทศอังกฤษ)

ถุงอูมิเนียมพอยล์ PET/AL/PE ความหนา 12/7/40 ไมครอน (บริษัทเจเนจรัส เคมี ชัพพลาย จำกัด, ประเทศไทย)

### 3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องควบคุมอุณหภูมิ รุ่น Julabolabortechnik (Shaking Water Bath) (ยี่ห้อ Seelbach, ประเทศเยอรมนี)

เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น AB 204 (บริษัท Mettler Toledo, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

ตู้อบแห้งแบบลมร้อน รุ่น Memmert (บริษัท Schwabach, ประเทศเยอรมนี)

เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น 5310 (บริษัท Kubota, ประเทศญี่ปุ่น)

เครื่องกวนผสม (Mixer) รุ่น RW 20 Digital (ยี่ห้อ IKA, ประเทศเยอรมนี)

เครื่องตีผสมแรงดันสูง (Homogenizer) Ystral รุ่น D79282 (บริษัท Ballrechten-Dottingen, ประเทศเยอรมนี)

เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย Buchi mini spray dryer รุ่น B-290 (บริษัท BUCHI Labortechnik AG, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

เครื่อง UV-Visible spectrophotometer (บริษัท Spectronic 20 genesys, USA)

เครื่องวัด water activity analyzer รุ่น MS1 (ยี่ห้อ Novasina, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)

เครื่องวัดสี chroma meter รุ่น CR-400 (บริษัท Minolta, ประเทศญี่ปุ่น)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด รุ่น JSM-5800 LV (ยี่ห้อ JEOL, ประเทศญี่ปุ่น)

เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) รุ่น LC-10Ai (ยี่ห้อ Shimadzu, ประเทศอเมริกา)

เครื่อง Liquid Chromatograph Mass Spectrometer (LCMS) รุ่น amaZom SL (ยี่ห้อ Bruker, ประเทศเยอรมัน)



## 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.2.1 การศึกษาวิธีการสกัดสารสกัดจากใบหม่อน

#### 3.2.1.1 การเตรียมสารสกัดจากใบหม่อน

1. นำใบหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 ช่วงใบที่ 4 – 6 นับจากยอด  
อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน 50 องศาเซลเซียส นาน 5 - 6 ชั่วโมง จนได้ความชื้นประมาณ 8% โดย  
น้ำหนัก
2. ใบหม่อนแห้งที่ได้จากข้อ 1. บดด้วยเครื่องบด และร่อน  
ผ่านตะแกรง 50 mesh
3. หลังจากนั้นชั่งผงใบหม่อนแห้งที่ได้จากข้อ 2. 15 กรัม มา  
สกัดสารสกัดด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 50% 60% 70% และ 95% (v/v)  
ปิดด้วยพาราฟิล์มและอลูมิเนียมฟอยล์ ที่งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง  
จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1
4. เก็บสารสกัดจากใบหม่อนที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส  
เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีต่อไป

(ดัดแปลงจาก Arabshashi-Delouee และ Urooj (Arabshahi-Delouee and Urooj, 2007))

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ผลการ  
ทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple  
Range Test

#### 3.2.1.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของสารสกัดจากใบหม่อน

- ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu  
(ภาคผนวก ก.1)
- ชนิดและปริมาณของสารฟลาโวนอยด์ ด้วยวิธี HPLC  
(ภาคผนวก ก.2)
- ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric Reducing  
Antioxidant Power assay (FRAP) (ภาคผนวก ก.3)

- ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical-scavenging activity (ภาคผนวก ก.4)

### 3.2.2 ศึกษาวิธีการผลิตไมโครแคปซูลที่เหมาะสมในการกักเก็บสารสกัดจากใบหม่อน โดยใช้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

#### 3.2.2.1 การเตรียมไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อน

เตรียมสารละลายสารเคลือบจากผงบุกผสมกับมอลโตเดกซ์ทริน (DE 20) ในอัตราส่วนเท่ากับ 3:1 3.81:1 และ 5:1 ดังตารางที่ 3.1) โดยย่อยสารละลายบุกด้วย เอนไซม์เซลลูเลส E.C. 3.2.1.4 (*Trichoderma reesei* ATCC 26921) ในอัตราส่วน 4.2 ยูนิต์ต่อผง บุก 1 กรัม ระหว่างการย่อยให้ความร้อนในอ่างควบคุมความร้อนแบบเขย่าตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 ชั่วโมง หลังจากย่อยสารละลายบุกเป็นเวลา 7 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ข้ามคืนเป็นเวลา 15 ชั่วโมง แล้วนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 20 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ ที่งัวให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

หลังจากนั้นนำสารละลายสารเคลือบมาเติมมอลโตเดกซ์ทริน และ สารสกัดจากใบหม่อนตามลำดับ (อัตราส่วน 15% 22.5% และ 30% ของปริมาณสารเคลือบ (w/w) ดังตารางที่ 3.1 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนผสมนาน 5 นาที และเครื่อง homogenizer นาน 15 นาที แล้วนำเข้าเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรอุณหภูมิอากาศขาเข้า (150 165 และ 180 องศาเซลเซียส) ดังตารางที่ 3.1 และควบคุมอุณหภูมิอากาศขาออก 80 องศาเซลเซียส นำ ไมโครแคปซูลของสารพลาไวโนอยด์ที่ได้บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพต่อไป (ดัดแปลงจาก Yang, Xiao, and Ding (2009) และ วรรณญา ปานเกตุ (2554))

การแปรช่วงภาวะสำหรับการทดลองมาจากผลงานวิจัยที่มีมาก่อน เช่น การศึกษาของ Yang, Xiao, and Ding (2009) พบว่า เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบ กลูโคแมนแนนต่อมอลโตเดกซ์ทรินเท่ากับ 4:1 และ ปริมาณสารสำคัญเท่ากับ 20% ของปริมาณสาร เคลือบ ที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส สามารถกักเก็บ สารสำคัญได้ดี และจากการศึกษาของ Ng et al. (2013) พบว่า ไมโครแคปซูล ซึ่งผลิตที่อุณหภูมิ อากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส สามารถกักเก็บสารสำคัญได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับการอุณหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 180 และ 200 องศา เซลเซียส

วางแผนการทดลองแบบ CRD  $2^3$  factorial with center point ทดลอง 2<sup>3</sup> ขั้ว วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ตารางที่ 3.1 ปริมาณของผงบุก ปริมาณของมอลโตเดกซ์ทรีน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อน และ อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ใช้ในการผลิตไมโครแคปซูลที่สภาวะต่างๆ

ผงบุก (%)	มอลโตเดกซ์ทรีน (%)	น้ำ (%)	ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อน (%)	อุณหภูมิอากาศขาเข้า (°C)
7.5	2.5	88.5	1.5	150
7.5	2.5	88.5	1.5	180
7.5	2.5	87	3	150
7.5	2.5	87	3	180
7.92	2.08	87.75	2.25	165
8.33	1.67	88.5	1.5	150
8.33	1.67	88.5	1.5	180
8.33	1.67	87	3	150
8.33	1.67	87	3	180

### 3.2.2.2 วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพของไมโครแคปซูล

นำไมโครแคปซูลซึ่งได้จากการเตรียมในขั้นตอนที่ 3.2.2.1 มา วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ ดังนี้

- ชนิดและปริมาณของสารฟลาโวนอยด์ (ภาคผนวก ก.2)
- ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power assay (FRAP) (ภาคผนวก ก.3)
- ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical-scavenging activity (ภาคผนวก ก.4)
- ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) (ภาคผนวก ก.5)

- ความสามารถในการละลาย (water solubility index, WSI) (ภาคผนวก ก.6)
- ค่าความชื้น (ภาคผนวก ก.7)

### 3.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อน

นำไมโครแคปซูลที่เหมาะสมซึ่งได้จากข้อ 3.2.2 บรรจุใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์ถุงละ  $10 \pm 1$  กรัม ปิดฝิลึกและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน สุ่มตรวจคุณภาพของไมโครแคปซูลทุกๆ 2 สัปดาห์ ทดลอง 2 ซ้ำ ดังนี้

- ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric Reducing / Antioxidant Power assay (FRAP) (ภาคผนวก ก.3)
- ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical-scavenging activity (ภาคผนวก ก.4)
- ความสามารถในการละลาย (water solubility index, WSI) (ภาคผนวก ก.6)
- ค่า  $a_w$  ซึ่งวัดด้วยเครื่อง water activity
- ค่าความชื้น (ภาคผนวก ก.7)
- ค่าสี ระบบ CIELAB ด้วยเครื่อง chroma meter
- อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนที่อุณหภูมิต่างๆ (ภาคผนวก ก.8)

วางแผนการทดลองแบบ CRD วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 การศึกษาวิธีการสกัดสารสกัดจากใบหม่อน

ใบหม่อนพันธุ์บุรีรัมย์ 60 อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน 50 องศาเซลเซียส นาน 5 - 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำใบหม่อนแห้งที่ได้มาบดด้วยเครื่องบดและร่อนผ่านตะแกรง 50 mesh จะได้ผงใบหม่อนแห้ง นำผงใบหม่อนแห้งที่ได้ไปสกัดสารสกัดจากใบหม่อน โดยแปรความเข้มข้นของเอทานอลเป็นปัจจัยหลักในการศึกษา ซึ่งเอทานอลที่ใช้ในการสกัดนั้นมีความเข้มข้นต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 50% 60% 70% และ 95% (v/v) สารสกัดจากใบหม่อนที่ได้จากการสกัดด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆจะถูกนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ชนิดและปริมาณของสารฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน

จากการศึกษาการสกัดสารสกัดจากใบหม่อนด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้มีปริมาณตั้งแต่ 26.23 mg GAE/g dry weight ถึง 127.22 mg GAE/g dry weight โดยที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอล 50 และ 60% (v/v) สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้ในปริมาณมากและไม่มีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอล 70 และ 95% (v/v) สามารถสกัดสารประกอบฟีนอลิกได้น้อยกว่าความเข้มข้น 50 และ 60% (v/v) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ 4.1)

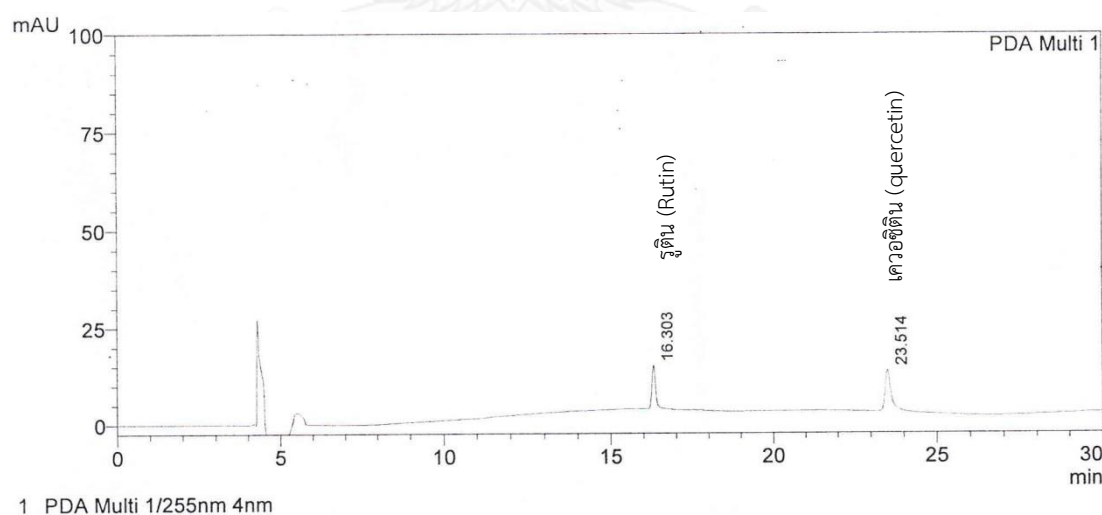
ตารางที่ 4.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกในสารสกัดจากใบหม่อนที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอลต่างๆ

ความเข้มข้นของเอทานอล (v/v)	Total phenolic (mg GAE / g wb)
50%	127.33 ± 6.26 <sup>a</sup>
60%	122.15 ± 5.32 <sup>a</sup>
70%	94.95 ± 6.49 <sup>b</sup>
95%	26.23 ± 1.23 <sup>c</sup>

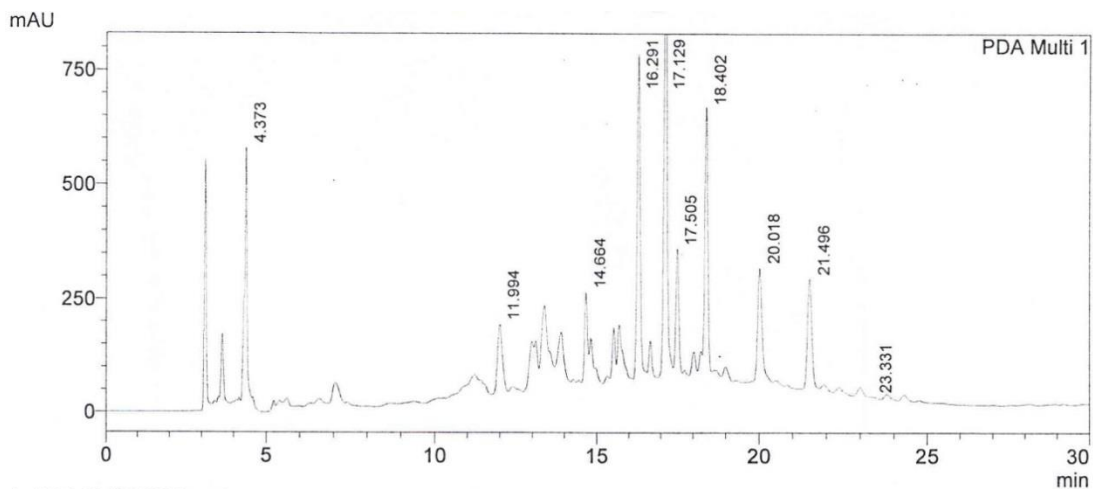
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ในการสกัดสารประกอบฟีนอลิกนั้นนิยมใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากัน เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการสกัด เช่น น้ำร่วมกับเมทานอล น้ำร่วมกับเอทานอล และน้ำร่วมกับอะซิโตน เนื่องจากฟลาโวนอยด์ส่วนใหญ่ที่พบในธรรมชาติอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ ซึ่งละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วสูง ดังนั้นจึงส่งผลให้ฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์สามารถละลายในตัวทำละลายที่มีขั้วสูงได้ดี นอกจากนี้สารประกอบฟีนอลิกบางชนิดซึ่งมีขั้วต่ำจะสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้วต่ำ ดังนั้นตัวทำละลายที่เหมาะสมระหว่างตัวทำละลายที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากันจึงเหมาะสมในการสกัดสารประกอบฟีนอลิก นอกจากนั้นจากการศึกษาของ Katsube et al. (2006) ซึ่งศึกษาปริมาณสารต้านออกซิเดชันกลุ่มฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์ในใบหม่อน พบว่า ใบหม่อนมีปริมาณ quercetin 3-(6-malonylglucoside) และรูติน (rutin) สูง ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Vinson et al. (1995) รวมทั้ง Arabbi, Genovese, and Lajolo (2004) ยังพบว่าในใบหม่อนมีสารเคอควิซิน (quercetin) อีกด้วย

หลังจากนั้นนำสารสกัดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆไปตรวจสอบหาปริมาณรูตินและเคอควิซินด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เพื่อหาปริมาณรูตินและเคอควิซินที่เอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆสามารถสกัดได้ โดยโครมาโทแกรมของสารมาตรฐานรูตินและเคอควิซินแสดงในภาพที่ 4.1 และตัวอย่างโครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลซึ่งแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 โครมาโทแกรมของสารมาตรฐานรูติน (rutin) และเคอควิซิน (quercetin)



ภาพที่ 4.2 โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 60% (v/v)

เมื่อนำสารสกัดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆไปวิเคราะห์หาปริมาณของรูตินและเคออสิตินด้วยเทคนิค HPLC พบว่า ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 70% (v/v) มีปริมาณสารรูตินสูงที่สุด รองลงมาคือ ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 60% 95% และ 50% (v/v) ตามลำดับ ในขณะที่ที่ความเข้มข้นของเอทานอล 95% (v/v) มีปริมาณสารเคออสิตินสูงที่สุด รองลงมา คือ 50% 70% และ 60% (v/v) ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

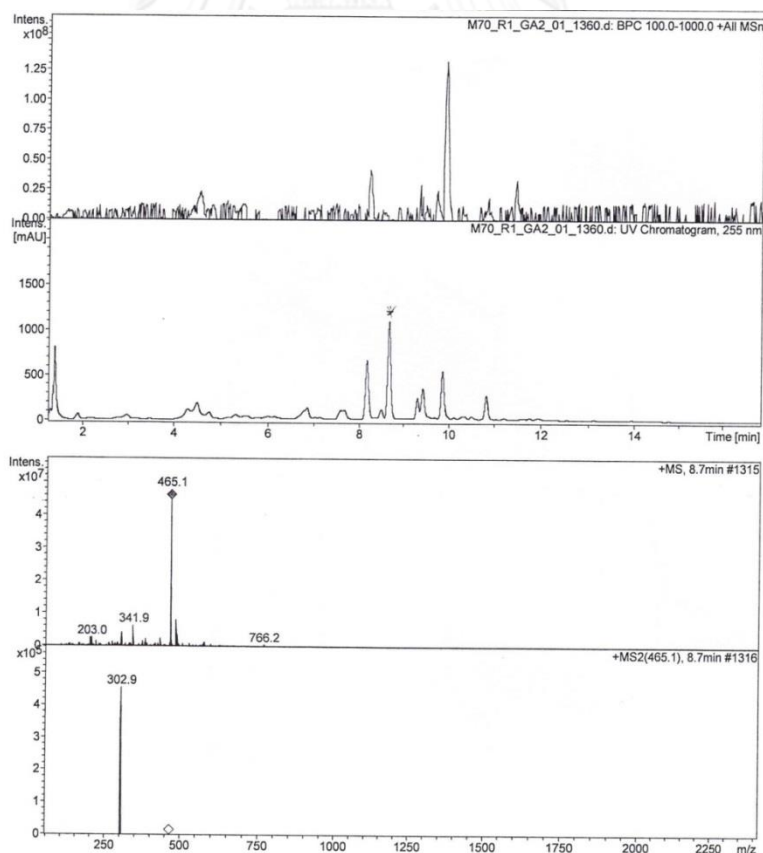
ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารรูติน (rutin) และเคออสิติน (quercetin) ของสารสกัดจากใบหม่อนที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอลต่างๆ ซึ่งได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

ความเข้มข้นของเอทานอล (v/v)	รูติน (rutin) (ppm)	เคออสิติน (quercetin) (ppm)
50%	55.65 ± 2.66 <sup>d</sup>	0.25 ± 0.02 <sup>b</sup>
60%	102.43 ± 1.73 <sup>b</sup>	0.21 ± 0.00 <sup>b</sup>
70%	141.84 ± 1.76 <sup>a</sup>	0.23 ± 0.00 <sup>b</sup>
95%	79.48 ± 0.34 <sup>c</sup>	0.32 ± 0.01 <sup>a</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

จากผลศึกษามีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Katsube et al. (2006) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของเอทานอลมีผลต่อปริมาณสารฟลาโวนอยด์ที่สกัดได้ เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มมากขึ้น ความมีขี้ของตัวทำละลายจะลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการสกัดสารสำคัญที่มีขี้ได้น้อยลง แต่ความสามารถในการสกัดสารสำคัญที่มีขี้ต่ำเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมจึงสามารถสกัดสารฟลาโวนอยด์ได้ในปริมาณมากที่สุด Katsube et al. (2006) ยังได้นำสารสกัดจากใบหม่อนซึ่งสกัดด้วยเอทานอล 60% ไปวิเคราะห์หาสารฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์ พบว่ามีปริมาณสาร quercetin 3-(6-malonylglucoside) สูงที่สุด รองลงมา คือ รุติน ไอโซควอซิทิน และแอสตรากลิน ตามลำดับ Arabbi, Genovese, and Lajolo (2004) ยังพบว่าใบหม่อนมีสารเคออสิตินเป็นสารสำคัญอีกด้วย

นอกจากนี้หลังจากการศึกษาสารสกัดจากใบหม่อนด้วยเทคนิค HPLC ยังพบว่ามีสารอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีปริมาณมากกว่ารุติน และเคออสิติน จึงนำไปวิเคราะห์หาชนิดของสารด้วยวิธี LC-MS ต่อ ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ให้ผลถูกต้องและแม่นยำในระดับปริมาณต่ำๆ รวมทั้งยังสามารถยืนยันชนิดของสารได้อีกด้วย (ภาพที่ 4.3)



ภาพที่ 4.3 มวลโมเลกุลของสารที่พบในปริมาณมากกว่ารุติน และเคออสิติน



เมื่อนำสารสกัดจากใบหม่อนไปศึกษาหาชนิดของสารด้วยวิธี LC-MS พบว่า สารซึ่งมีพื้นที่กราฟสูงนั้นมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 465.1 ซึ่งมีมวลโมเลกุลใกล้เคียงกับไอโซควอซิทิน จึงมีความเป็นไปได้ที่สารที่พบจะเป็นสารไอโซควอซิทิน นอกจากนี้จากการศึกษาของ Matsuzaki and Hara (1985) พบว่าใบหม่อนมีไอโซควอซิทินเป็นสารหลักในกลุ่มฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Katsube et al. (2006) ซึ่งพบว่าในใบหม่อนมีไอโซควอซิทินปริมาณสูง และ Arabbi, Genovese, and Lajolo (2004) พบสารไกลโคไซด์ของควอซิทินในฝักและผลไม้ในปริมาณที่สูงอีกด้วย นอกจากนี้ในใบหม่อนยังมีสารฟลาโวนอยด์ชนิดอื่น โดยเฉพาะสารฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์ ซึ่งพบว่าเป็นองค์ประกอบหลักในใบหม่อน สารฟลาโวนอยด์ไกลโคไซด์ที่มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน เช่น แอสตรากาลิน (astragalin) แคมเฟอรอล-3-(6-อะซิติลกลูโคไซด์) (kaempferol 3-(6-acetylglucoside)) กรดคลอโรจีนิก (chlorogenic acid) เป็นต้น (Matsuoka, Kimura, and Muraoka, 1994; Onogi et al., 1993) ซึ่งพบในใบหม่อนเช่นกัน

หลังจากที่ทราบปริมาณของรูตินและควอซิทินซึ่งทดสอบด้วยวิธี HPLC แล้ว ได้นำสารสกัดจากใบหม่อนที่ความเข้มข้นของเอทานอลต่างๆมาวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอล 50% (v/v) มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงสุด ที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอล 60%, 70% และ 95% (v/v) มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันลดลงตามลำดับ โดยฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่ระดับความเข้มข้น 50% และ 60% (v/v) มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้ เมื่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงส่งผลให้ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูง (ตารางที่ 4.3)

ตารางที่ 4.3 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในสารสกัดจากใบหม่อนที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอลต่างๆ

ความเข้มข้นของเอทานอล (v/v)	Ferric reducing antioxidant power (mmol Trolox / g wb)	DPPH radical scavenging activity (mmol Trolox / g wb)
50%	58.42 ± 4.36 <sup>a</sup>	7.83 ± 0.47 <sup>c</sup>
60%	51.83 ± 1.90 <sup>ab</sup>	10.45 ± 0.16 <sup>a</sup>
70%	46.67 ± 0.39 <sup>b</sup>	9.69 ± 0.96 <sup>ab</sup>
95%	18.15 ± 0.91 <sup>c</sup>	8.16 ± 0.57 <sup>bc</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

Shan et al. (2005) Wu et al. (2006) และ Wong et al. (2006) พบว่าปริมาณสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดจากพืชมีความสอดคล้องกับฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน โดยสารสกัดจากพืชที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงจะมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้สารต้านออกซิเดชันบางชนิดจากพืชจะเสริมฤทธิ์กันส่งผลให้ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงขึ้นเมื่อเทียบกับฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของสารชนิดนั้นเพียงชนิดเดียว Graversen et al. (2008) และ Roberts and Gordon (2003) พบว่า สารประกอบฟีนอลิกจากพืชมีการเสริมฤทธิ์กับสารต้านออกซิเดชันชนิดอื่นในพืช Capitani et al. (2009) พบว่า รุตินซึ่งเป็นสารต้านออกซิเดชันกลุ่มไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) และเคอซีตินซึ่งเป็นสารต้านออกซิเดชันกลุ่มไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) สามารถเสริมฤทธิ์กันรวมทั้งยังพบว่าอัตราส่วนของรุตินและเคอซีตินที่เหมาะสมจะส่งผลให้สามารถเสริมฤทธิ์กันได้ดีขึ้นอีกด้วย จากการศึกษาปริมาณของรุตินและเคอซีตินซึ่งทดสอบด้วยวิธี HPLC และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP จะเห็นได้ว่าถึงแม้ว่าสารสกัดจากใบหม่อนที่ความเข้มข้นของเอทานอล 70% (v/v) จะมีปริมาณของรุตินและเคอซีตินมากกว่าสารสกัดจากใบหม่อนที่ความเข้มข้นของเอทานอล 60% (v/v) แต่ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบหม่อนที่ความเข้มข้นของเอทานอล 60% (v/v) มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงกว่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของสารสกัดจากใบหม่อนที่ความเข้มข้นของเอทานอล 70% (v/v) จึงมีความเป็นไปได้ว่าปริมาณของรุตินและเคอซีตินในสารสกัดจากใบหม่อนที่ความเข้มข้นของเอทานอล 60% (v/v) มีอัตราส่วนที่เหมาะสมส่งผลให้เกิดการเสริมฤทธิ์กันได้ดีกว่า และมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงกว่าสารสกัดจากใบหม่อนที่ความเข้มข้นของเอทานอล 70% (v/v)

รวมทั้งเมื่อวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH พบว่าที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอล 60% มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงสุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเทียบกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ความเข้มข้นอื่นๆ โดยมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเท่ากับ  $10.45 \pm 0.16$  mmol Trolox / g wb ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันมีปริมาณลดลงที่ความเข้มข้น 70% 95% และ 50% ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) จากการศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH จะเห็นได้ว่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่ได้จากการศึกษาด้วยวิธี DPPH ไม่สอดคล้องกับปริมาณสารประกอบฟีนอลิกโดยรวมซึ่งศึกษาไปข้างต้น โดยฤทธิ์การต้านออกซิเดชันซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ไม่ได้สูงขึ้น เมื่อสารประกอบฟีนอลิกโดยรวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารประกอบฟีนอลิกแต่ละชนิดนั้นมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันแตกต่างกัน และสารต้านออกซิเดชันบางชนิดอาจการเสริมฤทธิ์กันได้ด้วยเช่นกัน

ดังนั้นถึงแม้ว่าที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอล 50% และ 60% มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่เนื่องจากฤทธิ์การต้านออกซิเดชันมีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ในการศึกษาด้วยวิธี DPPH ดังนั้นจึงเลือกระดับความเข้มข้นเอทานอล 60% มาศึกษาในการทดลองขั้นต่อไป เนื่องจากระดับความเข้มข้นเอทานอล 60% ให้สารสกัดที่มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันดีที่สุดเมื่อเทียบกับสารสกัดที่สกัดด้วยเอทานอลที่ระดับอื่นๆ

#### 4.2 ศึกษาวิธีการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนที่เตรียมโดยใช้สารเคลือบกลูโคแมนแนนต่อมอลโตเดกซ์ทริน (DE 20) ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน (3:1 3.81:1 และ 5:1) ในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อน (ในอัตราส่วน 15% 22.5% และ 30% ของปริมาณสารเคลือบ) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรอุณหภูมิอากาศขาเข้า (150 – 180 องศาเซลเซียส) และควบคุมอุณหภูมิอากาศขาออก 80 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.4 นำไมโครแคปซูลที่ได้บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ความสามารถในการละลาย ร้อยละความชื้น ฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ชนิดและปริมาณของสารฟลาโวนอยด์ และลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

เมื่อนำไมโครแคปซูลไปศึกษาความสามารถในการละลาย พบว่า ค่าการละลายและร้อยละความชื้นมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการละลายและความชื้นของไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอุณหภูมิอากาศขาเข้าต่างๆ

อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน	ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ (%)	อุณหภูมิอากาศขาเข้า (°C)	Water solubility index (WSI) <sup>ns</sup> (%)	ความชื้น <sup>ns</sup> (%)
3 : 1	15	150	61.90 ± 1.08	5.67 ± 0.06
3 : 1	15	180	62.25 ± 0.66	5.46 ± 0.05
3 : 1	30	150	59.90 ± 1.60	5.75 ± 0.38
3 : 1	30	180	58.90 ± 1.56	5.67 ± 0.30
3.81 : 1	22.5	165	64.65 ± 1.03	5.70 ± 0.02
5 : 1	15	150	61.15 ± 2.98	5.59 ± 0.14
5 : 1	15	180	60.21 ± 1.70	5.75 ± 0.12
5 : 1	30	150	58.16 ± 2.63	5.66 ± 0.31
5 : 1	30	180	56.91 ± 1.66	5.77 ± 0.05

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ ns ในแต่ละแถวแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ความสามารถในการละลายนั้นมีความเกี่ยวข้องกับความชื้นของไมโครแคปซูล หากความชื้นของไมโครแคปซูลสูง จะส่งผลให้ความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลลดลง นอกจากนี้จากการศึกษาของ Chen and Mujumdar (2008) ยังพบว่าเมื่อควบคุมสภาวะต่างๆในการอบแห้งแบบพ่นฝอยให้คงที่ หากเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาออกให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง และหากเพิ่มอุณหภูมิอากาศขาเข้าให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความสามารถในการละลายและความชื้นยังมีผลจากอุณหภูมิอากาศขาเข้าและอุณหภูมิขาออกในการอบแห้งแบบพ่นฝอยด้วย แต่ในการทดลองนี้มีการควบคุมอุณหภูมิอากาศขาออกให้เท่ากัน คือ 80 องศาเซลเซียส ดังนั้นความสามารถในการละลายจึงเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิขาเข้าเพียงอย่างเดียว เมื่ออุณหภูมิขาเข้าเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการทำแห้งลดลง แต่ความชื้นของไมโครแคปซูลเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ความสามารถในการละลายลดลง ปริมาณของกลูโคแมนแนนยังมีผลต่อความสามารถในการละลาย เนื่องจากโครงสร้างของกลูโคแมนแนนมีหมู่อะซิทิลซึ่งกระจายอยู่บนสายกลูโคแมนแนนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้วจึงสามารถจับกับน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้วได้ดี ส่งผลให้ความสามารถในการละลายเพิ่มมากขึ้น (Maekaji and Kawamura, 1984; Thomas, 1997; Williams et al., 2000) นอกจากนี้จากการศึกษาความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลจะเห็นว่ามีส่วนไม่ละลายน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากในใบหม่อนนั้นประกอบด้วยสารสำคัญต่างๆมากมาย

เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต แคลเซียม ธาตุเหล็ก เป็นต้น จึงมีความเป็นไปได้ที่สารสำคัญบางชนิดไม่สามารถละลายได้

เมื่อวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลด้วยวิธี FRAP และ DPPH พบว่าอัตราส่วนของผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อสารเคลือบ และอุณหภูมิอากาศขาเข้ามีผลต่อฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูล (ตารางที่ 4.5)

ตารางที่ 4.5 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอุณหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยต่างๆ

อัตราส่วนของ ผงบุกต่อ มอลโตเดกซ์ทริน	ปริมาณสารสกัดจาก ใบหม่อนต่อ ปริมาณสารเคลือบ (%)	อุณหภูมิ อากาศขาเข้า (°C)	Ferric reducing antioxidant power ( $\mu\text{mol Trolox / g db}$ )	DPPH radical scavenging activity ( $\mu\text{mol Trolox / g db}$ )
3 : 1	15	150	3492.59 $\pm$ 60.05 <sup>f</sup>	211.92 $\pm$ 5.25 <sup>d</sup>
3 : 1	15	180	3948.99 $\pm$ 96.05 <sup>de</sup>	231.85 $\pm$ 0.08 <sup>cd</sup>
3 : 1	30	150	5685.67 $\pm$ 37.45 <sup>b</sup>	316.08 $\pm$ 2.86 <sup>ab</sup>
3 : 1	30	180	6194.19 $\pm$ 124.98 <sup>a</sup>	334.16 $\pm$ 14.66 <sup>a</sup>
3.81 : 1	22.5	165	5183.68 $\pm$ 77.40 <sup>c</sup>	294.13 $\pm$ 14.42 <sup>b</sup>
5 : 1	15	150	3617.82 $\pm$ 12.23 <sup>ef</sup>	229.08 $\pm$ 8.37 <sup>cd</sup>
5 : 1	15	180	4211.87 $\pm$ 264.08 <sup>d</sup>	236.99 $\pm$ 13.47 <sup>c</sup>
5 : 1	30	150	6079.41 $\pm$ 268.85 <sup>a</sup>	302.37 $\pm$ 3.85 <sup>b</sup>
5 : 1	30	180	6283.48 $\pm$ 175.69 <sup>a</sup>	304.95 $\pm$ 11.28 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นจาก 3:1 เป็น 5:1 ที่ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบเท่ากับ 15% และอุณหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ พบว่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ทั้งในการศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP และ DPPH มีความเป็นไปได้จากการที่กลูโคแมนแนนมีหมู่อะซิทิลกระจายอยู่บนสายกลูโคแมนแนนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ส่งผลให้หมู่อะซิทิลสามารถเกิดอันตรกิริยากับสารต้านออกซิเดชันด้วยพันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) โดยมีพันธะไฮโดรเจนเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล (ตารางที่ 4.6) ส่งผลให้ไมโครแคปซูลมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ จากการศึกษารายงานของ Yang, Xiao, and Ding (2009) ซึ่งศึกษาอัตราส่วนของผงบุกและมอลโตเดกซ์ที่ เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันจากส้มเกลี้ยง พบว่าเมื่อปริมาณของผงบุก 80% มี

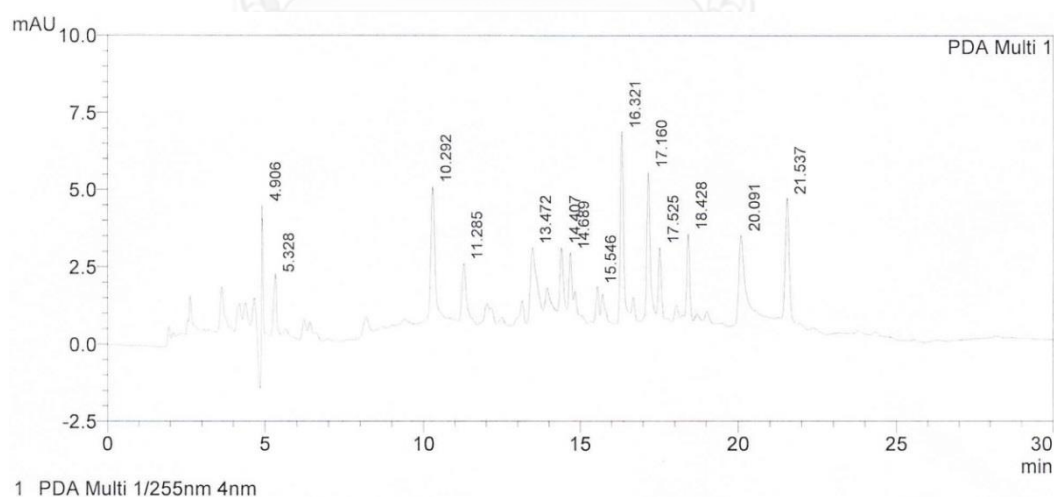
ความสามารถในการน้ำมันจากส้มเกลี้ยงที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับการใช้ผงบุก 20%, 40%, 60% และ 100% นอกจากนี้จากการศึกษาของ Quek, Chok, and Swedlund (2007) พบว่าเมื่อปริมาณมอลโตเดกซ์ทรินในสารเคลือบเพิ่มมากขึ้น จะช่วยให้ความหนืดของสารเคลือบลดลง ปริมาณผลผลิตที่ได้จะการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย เนื่องจากปริมาณสารที่ติดกับหอบแห้งและไซโคลนลดลง

เมื่อปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบเพิ่มขึ้น ที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทรินและอนุหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ พบว่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้นเมื่อปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนเพิ่มมากขึ้น (ตารางที่ 4.5) เนื่องจากปริมาณสารแทนเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้สารแทนซึ่งจับกับสารเคลือบเพิ่มมากขึ้น ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลจึงเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นนอกจากจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของไมโครแคปซูลแล้ว ยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย แต่จากการศึกษาของ Hogan et al. (2001) พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของโซเดียมเคซีเนท (sodium caseinate) ของน้ำมันถั่วเหลือง จาก 0.25 ถึง 3.0 ความสามารถในการกักเก็บน้ำมันถั่วเหลืองลดลงจาก 89.2% ถึง 18.8% ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่ออนุหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มมากขึ้น ที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบคงที่ พบว่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้นเมื่ออนุหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มสูงขึ้น (ตารางที่ 4.5) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออนุหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มสูงขึ้น อัตราเร็วในการปล่อยสารจะเพิ่มสูงขึ้น เพื่อควบคุมอนุหภูมิอากาศขาออกให้คงที่ ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง อนุภาคขึ้นรูปได้เร็วขึ้นและระยะเวลาที่ไมโครแคปซูลจะสัมผัสกับความร้อนลดลง ซึ่งระยะเวลาที่ไมโครแคปซูลสัมผัสกับความร้อนนี้จะมีผลต่อการสูญเสียสารสำคัญในไมโครแคปซูล ซึ่งสอดคล้องกับ Turchiuli et al. (2005) ซึ่งศึกษาอนุหภูมิอากาศขาเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอยในการกักเก็บสารสำคัญ โดยควบคุมอนุหภูมิอากาศขาออกให้คงที่อยู่ระหว่าง 70 - 90 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่ออนุหภูมิอากาศขาเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลง และปริมาณสารสำคัญที่กักเก็บได้เพิ่มมากขึ้น เช่นเดียวกับ Nizori, Bui, and Small (2012) ซึ่งพบว่า เมื่ออนุหภูมิอากาศขาเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มมากขึ้น สามารถกักเก็บกรดแอสคอร์บิก หรือวิตามินซีได้มากขึ้น เนื่องจากอนุหภูมิอากาศขาเข้าที่มากขึ้น ส่งผลให้ไมโครแคปซูลจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น ซึ่งช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก แต่หากอนุหภูมิอากาศขาเข้าสูงเกินไปจะส่งผลให้สูญเสียสารสำคัญได้ (Risch and Reineccius, 1988) เนื่องจากอนุหภูมิอากาศขาเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สูงขึ้นจะส่งผลให้อนุหภูมิของอากาศร้อนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งอนุหภูมิของอากาศร้อนที่สูงขึ้นนี้จะเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และในอากาศร้อนนั้นยังมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้

สารต้านออกซิเดชันซึ่งอยู่ที่ผิวของสารเคลือบเกิดกลไกการทำงานในการต้านออกซิเดชัน ส่งผลให้ไมโครแคปซูลมีประสิทธิภาพพลดลง Shiga et al. (2004) ได้ศึกษาอนุกรมวิธานอากาศขาเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิระหว่าง 120 – 240 องศาเซลเซียส ในการกักเก็บสารสำคัญ โดยใช้สารเคลือบ  $\alpha$ -cyclodextrin ร่วมกับมอลโตเดกซ์ทริน พบว่า เมื่ออุณหภูมิขาเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้สารให้กลิ่นรสทุกชนิดเพิ่มสูงขึ้น ยกเว้น lenthionine มีปริมาณลดลงเนื่องจากอนุกรมวิธานอากาศขาเข้าที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลต่อกระบวนการสร้าง lenthionine โดยใช้เอนไซม์ ซึ่งจากการศึกษาของ Yasumoto and Mitsuda (1971) พบว่า lenthionine เกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ lentic acid ด้วยเอนไซม์  $\gamma$ -glutamyl transpeptidase และ C-S lyase ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในบางกรณีอนุกรมวิธานอากาศขาเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่สูงจนเกินไป จะส่งผลให้สารสำคัญบางชนิดสูญเสียไป

เมื่อนำไมโครแคปซูลบางสถานะมาวิเคราะห์หาปริมาณสารรูตินและเคออสตินเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการผลิตไมโครแคปซูลเมื่อสถานะในการผลิตแตกต่างกัน พบว่าไม่พบเคออสตินใน ไมโครแคปซูลทุกสถานะที่สุ่มตรวจ (ภาพที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.6) เนื่องจากในสารสกัดจากใบหม่อนที่สกัดได้นั้น ปริมาณสารเคออสตินมีปริมาณน้อยอยู่แล้ว จึงทำให้เมื่อนำมาผลิตไมโครแคปซูล ซึ่งใช้สารสกัดจากใบหม่อนในปริมาณที่น้อยมาก จึงส่งผลให้เคออสตินหลงเหลืออยู่ในไมโครแคปซูลในปริมาณที่น้อยมากจนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของเคออสตินได้ด้วยเทคนิคนี้



1 PDA Multi 1/255nm 4nm

ภาพที่ 4.4 โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน

ตารางที่ 4.6 ปริมาณสารรูตินและเคอควิซินของไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอุณหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยต่างๆ ซึ่งได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

อัตราส่วนของ ผงบุกต่อ มอลโตเดกซ์ทริน	ปริมาณสารสกัดจาก ใบหม่อนต่อ ปริมาณสารเคลือบ (%)	อุณหภูมิ อากาศขาเข้า (°C)	รูติน (rutin) (ppm)	เคอควิซิน (quercetin) (ppm)
3 : 1	15	150	0.49 ± 0.01 <sup>b</sup>	ND
3 : 1	30	150	1.08 ± 0.08 <sup>a</sup>	ND
3 : 1	30	180	1.06 ± 0.06 <sup>a</sup>	ND
5 : 1	30	180	1.10 ± 0.06 <sup>a</sup>	ND

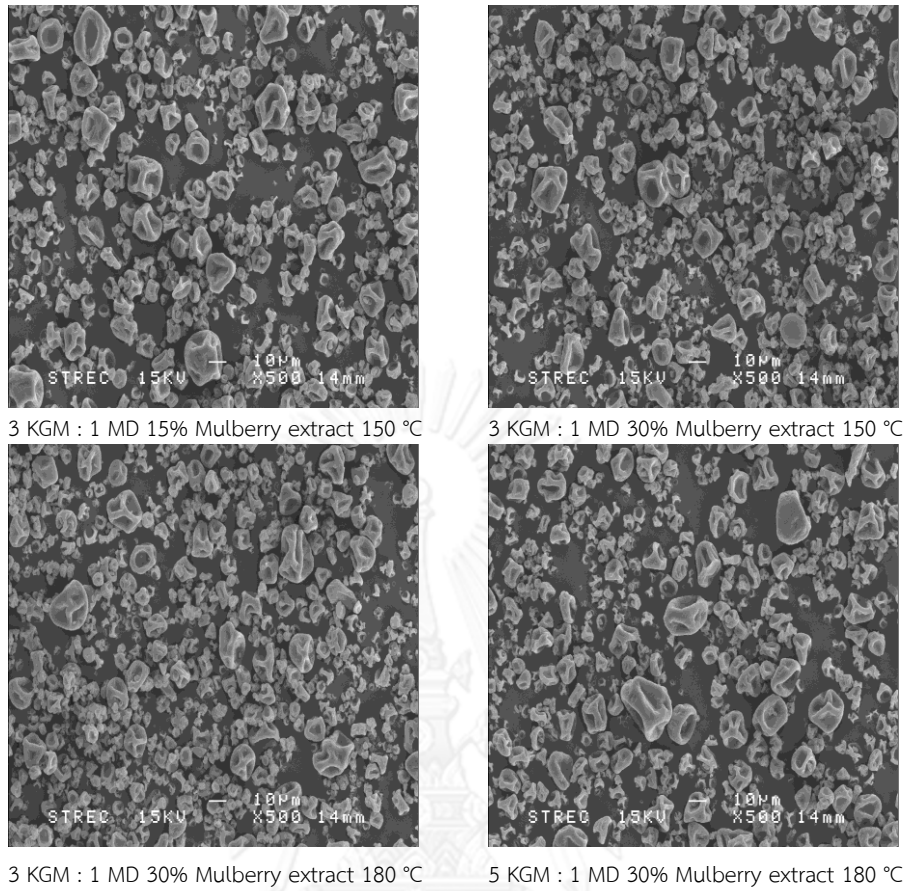
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับ a,b,c,... ต่างกันในแต่ละแถวแนวตั้ง หมายถึง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ในขณะที่เมื่อตรวจวิเคราะห์หาปริมาณของรูตินพบว่าเมื่ออัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทรินเพิ่มขึ้นจาก 3:1 เป็น 5:1 โดยปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบและอุณหภูมิขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ พบว่ารูตินมีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ภาพที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.6) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณของผงบุกที่เพิ่มมากขึ้นจะช่วยให้ความสามารถในการผลิตไมโครแคปซูลซึ่งมีปริมาณรูตินเพิ่มมากขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากเมื่อย่อยกลูโคแมนแนนด้วยเอนไซม์เซลลูเลสแล้วจะได้โอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharides) ซึ่งประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์ตั้งแต่ 2 – 10 โมเลกุล มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก โดยบนโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ได้นี้จะมีหมู่อะซิทิล จึงมีความเป็นไปได้ที่หมู่อะซิทิลเกิดอันตรกิริยากับรูตินซึ่งเป็นน้ำตาลไคแซคคาไรด์ด้วยพันธะโคเวเลนต์ (covalent bond) ส่งผลให้เมื่อปริมาณของกลูโคแมนแนนเพิ่มมากขึ้นจึงมีหมู่อะซิทิลบนโอลิโกแซ็กคาไรด์ซึ่งสามารถจับกับรูตินได้มากขึ้น ในขณะที่เมื่อปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบเพิ่มมากขึ้นจาก 15% เป็น 30% โดยอัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน และอุณหภูมิขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยคงที่ พบว่ารูตินมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยเพิ่มขึ้นจาก 0.49 ± 0.01 ppm เป็น 1.07 ± 0.08 ppm ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณสารสกัดที่เพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.6) เนื่องจากปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของรูตินในไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่ออุณหภูมิขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้นจาก 150 เป็น 180 องศาเซลเซียส โดยอัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน และ

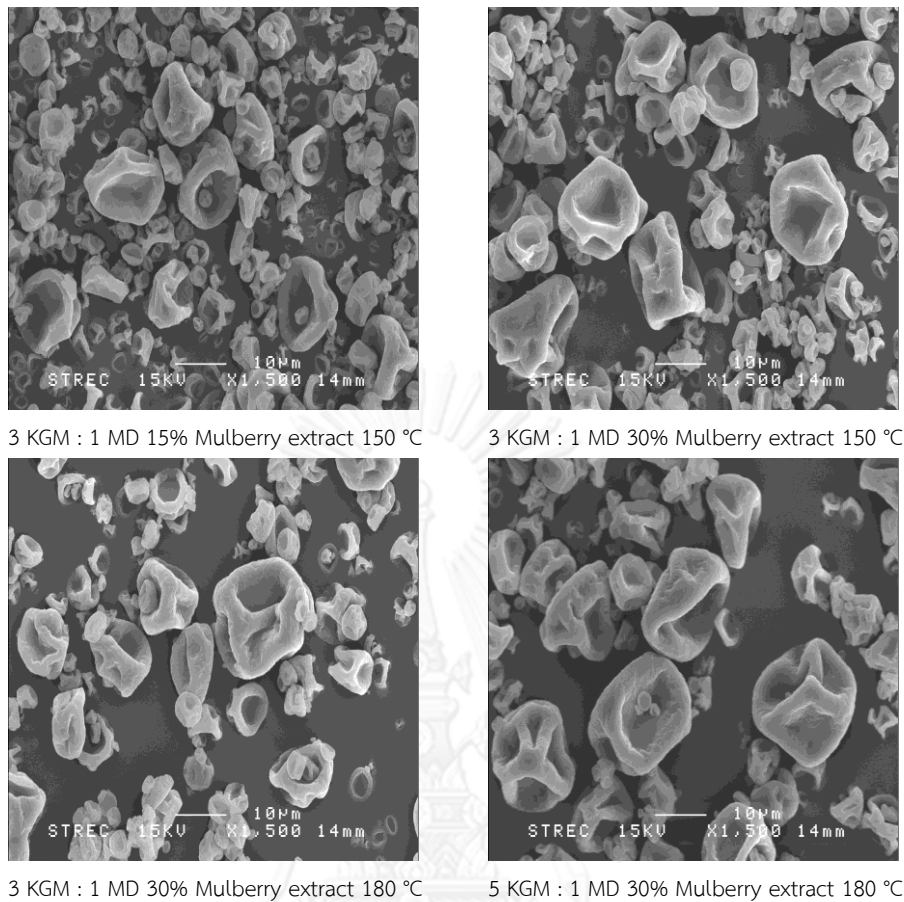


ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบคงที่ พบว่ารูตินมีปริมาณไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ 4.6) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Risch and Reineccius (1988) ซึ่งพบว่าอนุภูมิภาคเข้าในการการอบแห้งแบบพ่นฝอย 160 ถึง 200 องศาเซลเซียสมีความเหมาะสมในการกักเก็บสารสำคัญ ดังนั้นจึงไม่เห็นความแตกต่างด้านปริมาณของสารสำคัญในช่วงอุณหภูมิที่ศึกษามากนัก นอกจากนี้จากการศึกษาของ Rosenberg, Kopelman, and Talmon (1990) พบว่าความสามารถในการกักเก็บของสารเคลือบนั้นขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของสารแทนหรือสารสำคัญอีกด้วย โดยสารแทนหรือสารสำคัญที่มีมวลโมเลกุลสูงจะถูกกักเก็บได้ดีกว่าสารแทนที่มีมวลโมเลกุลต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากสารที่มีมวลโมเลกุลมากจะกระจายตัวน้อยกว่าสารที่มีมวลโมเลกุลน้อย ทำให้โอกาสที่จะสูญเสียหรือสูญหายไปในช่วงกระบวนการอบแห้งลดน้อยลง ดังนั้นรูตินซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 610.52 g/mol จึงพบในไมโครแคปซูลมากกว่าเคออสตินซึ่งมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 302.236 g/mol

เมื่อนำไมโครแคปซูลที่เตรียมจากสภาวะการผลิต 4 สภาวะ ได้แก่ อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน 3:1 โดยสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบเท่ากับ 15% และอุณหภูมิเข้าในการการอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน 3:1 โดยสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบเท่ากับ 30% และอุณหภูมิเข้าในการการอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน 3:1 โดยสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบเท่ากับ 30% และอุณหภูมิเข้าในการการอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน 5:1 โดยสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบเท่ากับ 30% และอุณหภูมิเข้าในการการอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส มาศึกษาลักษณะภายนอกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 500 (ภาพที่ 4.5) และ 1500 เท่า (ภาพที่ 4.6)



ภาพที่ 4.5 ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 500 เท่า



ภาพที่ 4.6 ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 1500 เท่า

จากการศึกษาลักษณะภายนอกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ขนาดและลักษณะภายนอกของอนุภาคไม่แตกต่างกัน โดยอนุภาคมีทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก เมื่อวัดขนาดของอนุภาคพบว่า ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคไม่มีความแตกต่างกันมากนัก (ตารางที่ 4.7)

ตารางที่ 4.7 ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอุณหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยต่างๆด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

อัตราส่วนของ ผงบุกต่อ มอลโตเดกซ์ทริน	ปริมาณสารสกัดจาก ใบหม่อนต่อ ปริมาณสารเคลือบ (%)	อุณหภูมิ อากาศขาเข้า (°C)	ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค ( $\mu\text{m}$ )
3 : 1	15	150	11.41 $\pm$ 0.50
3 : 1	30	150	11.59 $\pm$ 0.64
3 : 1	30	180	11.19 $\pm$ 0.52
5 : 1	30	180	11.07 $\pm$ 0.79

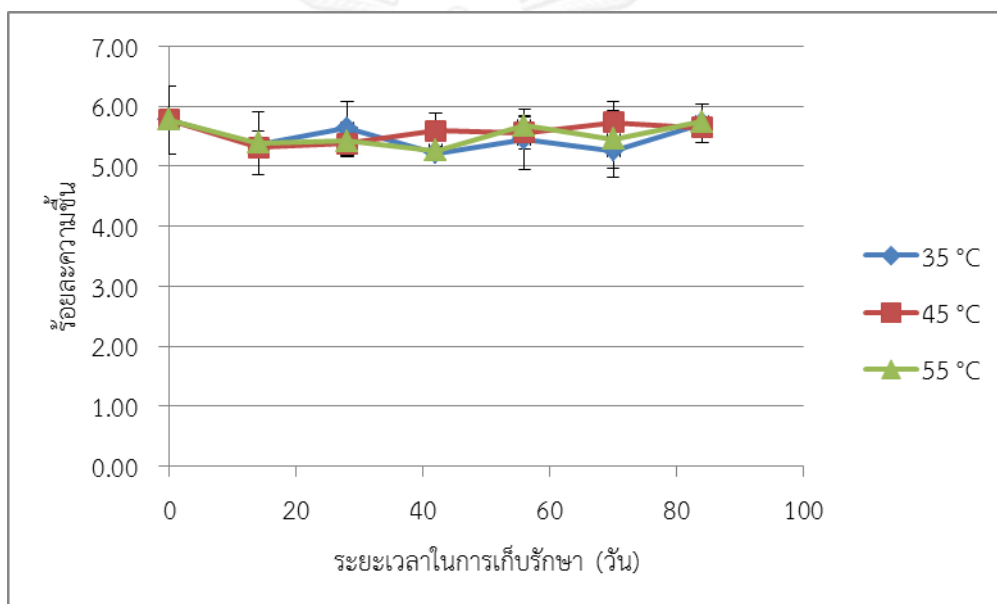
เนื่องจากมีส่วนหัวฉีดที่ใช้เป็นหัวฉีดแบบไหลสองทาง อนุภาคที่ได้จะมีขนาดอยู่ในช่วง 2-25 ไมโครเมตร (Arpagaus and Schwartzbach, 2008) นอกจากนี้ขนาดของอนุภาคยังมีผลจากปัจจัยอื่นๆด้วย เช่น ความหนืดของตัวอย่างที่เตรียมก่อนนำไปอบแห้งแบบพ่นฝอย ความเข้มข้นของสารเคลือบที่ใช้ ปริมาณของแข็งทั้งหมด เป็นต้น (Gharsallaoui et al., 2007) นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับความสามารถในการย่อยของเอนไซม์ในสารละลายบุกกลูโคแมนแนนอีกด้วย (วรัญญา ปานเกตุ, 2554) การที่อนุภาคมีรูปร่างคล้ายทรงกลมและมีรอยยุบลงไป แต่ไม่แตกออกนั้น เป็นลักษณะของมอลโตเดกซ์ทรินที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย

#### 4.3 การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อน

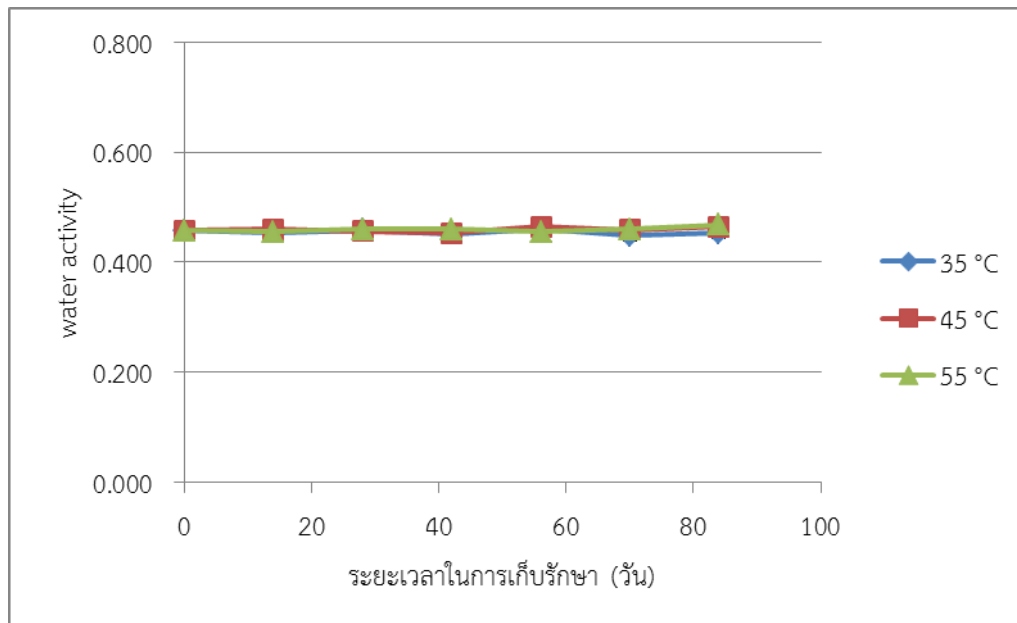
ไมโครแคปซูลซึ่งเตรียมโดยใช้สารเคลือบกลูโคแมนแนนต่อมอลโตเดกซ์ทรินเท่ากับ 3:1 ในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อน โดยมีปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนเท่ากับ 30% ของปริมาณสารเคลือบ ด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยควบคุมอุณหภูมิขาเข้าของการอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออกของการอบแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นเก็บไมโครแคปซูลในถุงออลูมิเนียมฟอยล์ถ่วงละ 10 $\pm$ 1 กรัม ปิดปากถุงและเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน สุ่มตรวจคุณภาพทางเคมีของไมโครแคปซูล ได้แก่ ความชื้น water activity ความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูล ค่าสี และฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ทุกๆ 2 สัปดาห์

จากการศึกษาความชื้น ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.7 water activity ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.8 และความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูล ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.9 พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บ

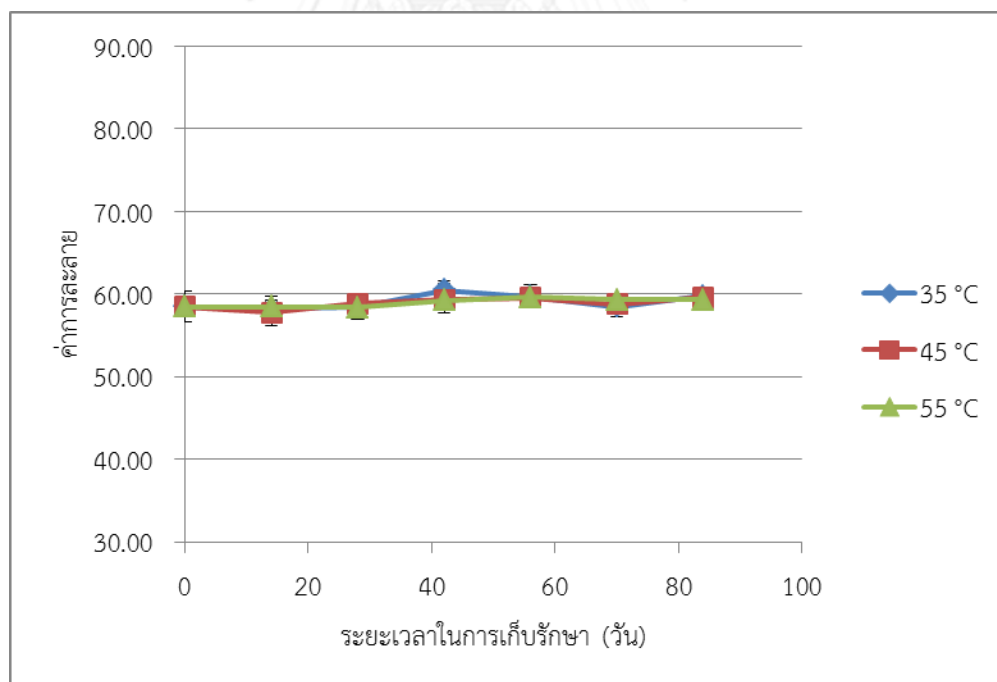
รักษาไมโครแคปซูลเพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลนานขึ้น ความชื้น และ water activity มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยความชื้นมีค่าอยู่ในช่วง ร้อยละ 5.22 - 5.77 และ water activity มีค่าอยู่ในช่วง 0.447 - 0.467 เมื่อนำไมโครแคปซูลไป ละลายน้ำ เพื่อศึกษาความสามารถในการละลาย พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูล เพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลนานขึ้น ค่าการละลายมีการเปลี่ยนแปลง อย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เช่นเดียวกัน โดยค่าการละลายมีค่าอยู่ในช่วง 57.72 - 60.50 ทั้งนี้อาจเกิดจากความชื้นและ water activity มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในระหว่างการเก็บ รักษา ( $p>0.05$ )



ภาพที่ 4.7 ค่าร้อยละความชื้นของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



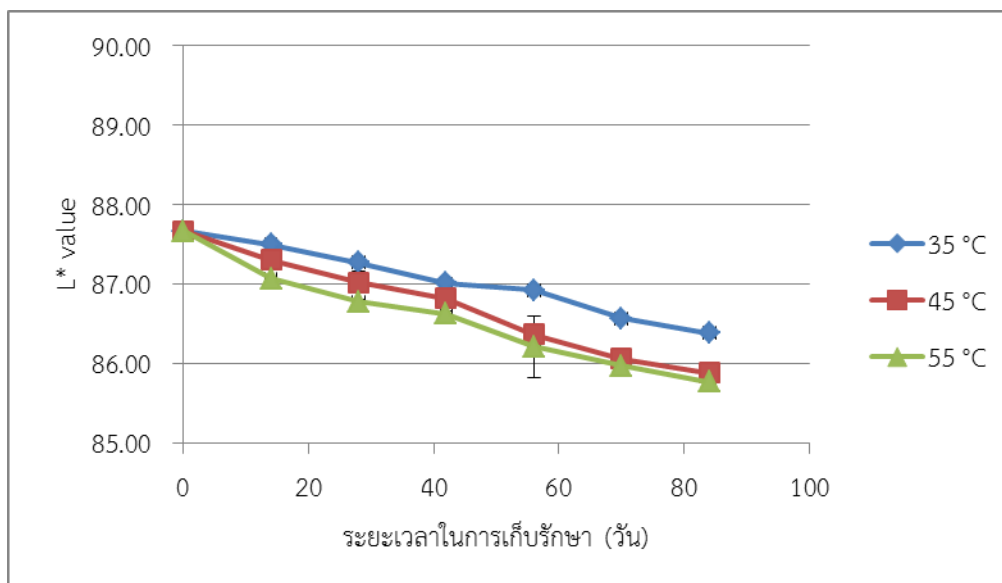
ภาพที่ 4.8 ค่า water activity ของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 4.9 ค่าการละลายของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

การที่ความชื้น water activity และความสามารถในการละลายมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลเพิ่มมากขึ้น และระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลนานขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิเนยมีคุณสมบัติเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ดี โดยสามารถป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ น้ำ กลิ่น แสง และน้ำมัน ได้เป็นอย่างดี โดยมีอัตราการซึมผ่านของไอน้ำน้อยเท่ากับ 0.1 กรัม/ตารางเมตร/วัน (ปูน คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ, 2541) ทำให้สามารถป้องกันและถนอมผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายในได้เป็นอย่างดี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ กฤษณา รักษ์วงศ์ et al. (2549) ซึ่งศึกษาชนิดของบรรจุภัณฑ์ (โพลีโพรพิลีน, อลูมิเนียมฟอยล์ และถุงสุญญากาศ) ต่อการเปลี่ยนแปลงของชาข้าวหอมมะลิใบหม่อนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านกายภาพ, เคมี และประเมินผลทางประสาทสัมผัสทุกๆ 30 วัน พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า water activity, สี และการเปลี่ยนแปลงทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์อลูมิเนียมฟอยล์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าถุงสุญญากาศ และโพลีโพรพิลีน ตามลำดับ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ อมรรัตน์ ตั้งสกุล (2550) พบว่าค่าการละลายของไมโครแคปซูลที่กักเก็บสารโอลีโอเรซิน จากหอมหัวใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เมื่อเก็บรักษาในอุณหภูมิเนยมีฟอยล์เป็นเวลา 3 เดือน

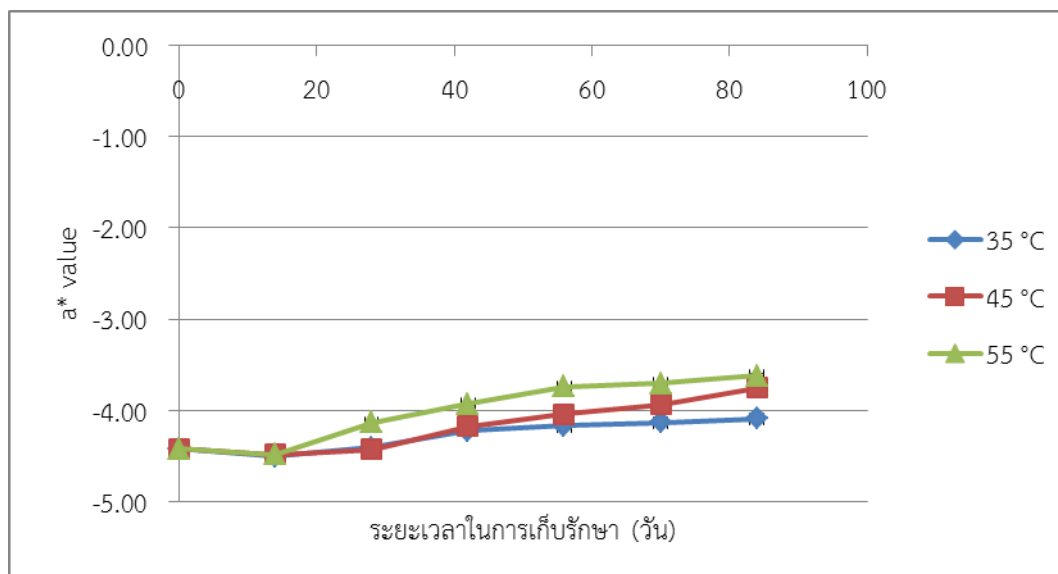
หลังจากนั้นนำไมโครแคปซูลมาตรวจวัดค่าสี ด้วยระบบ CIELAB ด้วยเครื่อง chroma meter พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลเพิ่มมากขึ้น ค่า  $L^*$  ของไมโครแคปซูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) แต่มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากในสเกล 0-100 เช่นเดียวกับเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลนานขึ้น ค่า  $L^*$  ของไมโครแคปซูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p<0.05$ ) ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.10 โดยเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลเพิ่มมากขึ้น ค่า  $L^*$  ลดลงเล็กน้อยจากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 84 วัน ค่า  $L^*$  มีค่าลดลงที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.28 1.78 และ 1.89 ยูนิต ตามลำดับ โดยไมโครแคปซูลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีการลดลงของค่า  $L^*$  รวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 และ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.10 ค่า L\* value ของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

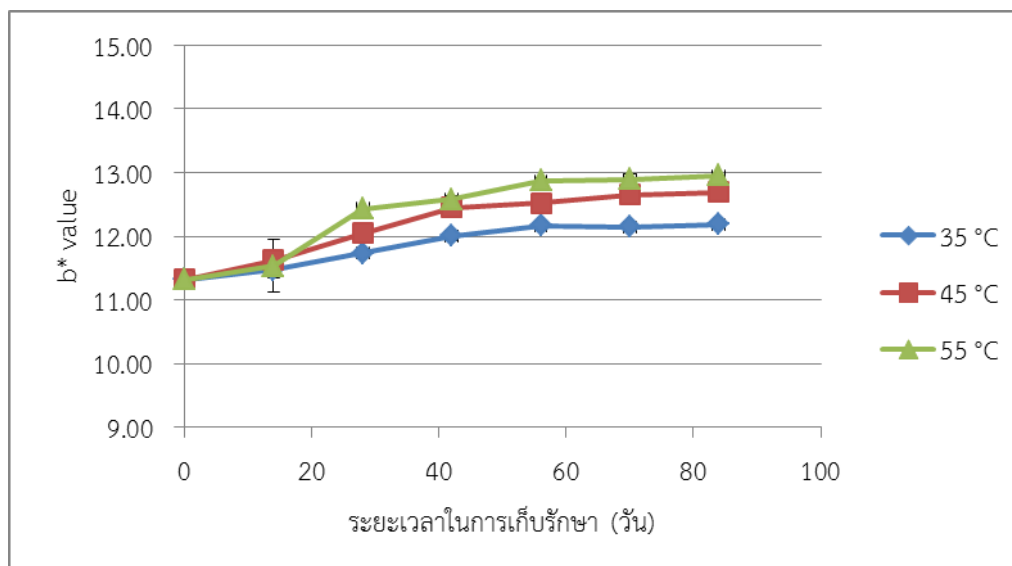
เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลเพิ่มมากขึ้น ค่า  $a^*$  ของไมโครแคปซูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลนานขึ้น ค่า  $a^*$  ของไมโครแคปซูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.11 ค่า  $a^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา เมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา 84 วัน พบว่า ค่า  $a^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.33 0.66 และ 0.8 ยูนิต ตามลำดับ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก โดยไมโครแคปซูลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของค่า  $a^*$  รวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 และ 45 องศาเซลเซียส





ภาพที่ 4.11 ค่า  $a^*$  value ของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

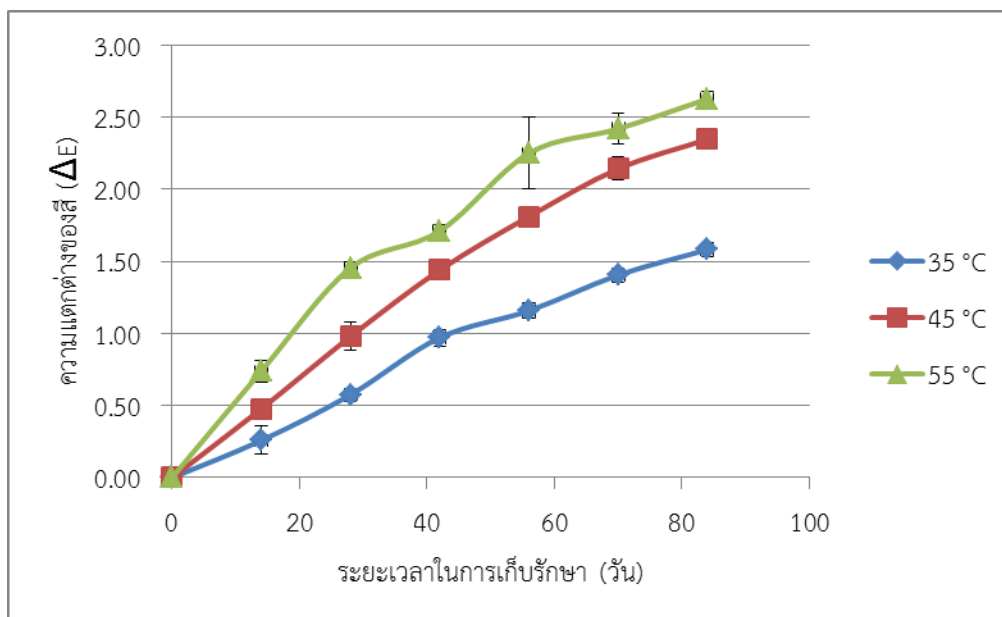
เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลเพิ่มมากขึ้น ค่า  $b^*$  ของไมโครแคปซูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลนานขึ้น ค่า  $b^*$  ของไมโครแคปซูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เช่นเดียวกัน ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.12 โดยค่า  $b^*$  เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา เมื่อเวลาผ่านไป 84 วัน พบว่าค่า  $b^*$  มีค่าเพิ่มขึ้นที่น้อยมากที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.87 1.37 และ 1.63 ยูนิต ตามลำดับ โดยไมโครแคปซูลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของค่า  $b^*$  รวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 และ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.12 ค่า  $b^*$  value ของผงไมโครแคปซูลระหว่างการรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

หลังจากนั้นเมื่อนำค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$  ของไมโครแคปซูลที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่อง chroma meter ไปคำนวณหาค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) ซึ่งแสดงในภาพที่ 4.13 พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลเพิ่มมากขึ้น ค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เช่นเดียวกับกับเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลนานขึ้น โดยค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา ซึ่งไม่มีค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) เมื่อเวลาผ่านไป 84 วัน พบว่าค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.58 2.35 และ 2.63 ยูนิต ตามลำดับ โดยไมโครแคปซูลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มขึ้นของค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) รวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 และ 45 องศาเซลเซียส

ค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) เมื่อมีค่ามากกว่า 1 จะสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของสีได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) ที่เพิ่มมากขึ้นนั้น แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ค่าความแตกต่างของค่า  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  จากวันเริ่มต้นจะเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อนำมาค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$  มาคำนวณค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) แล้ว ไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจน

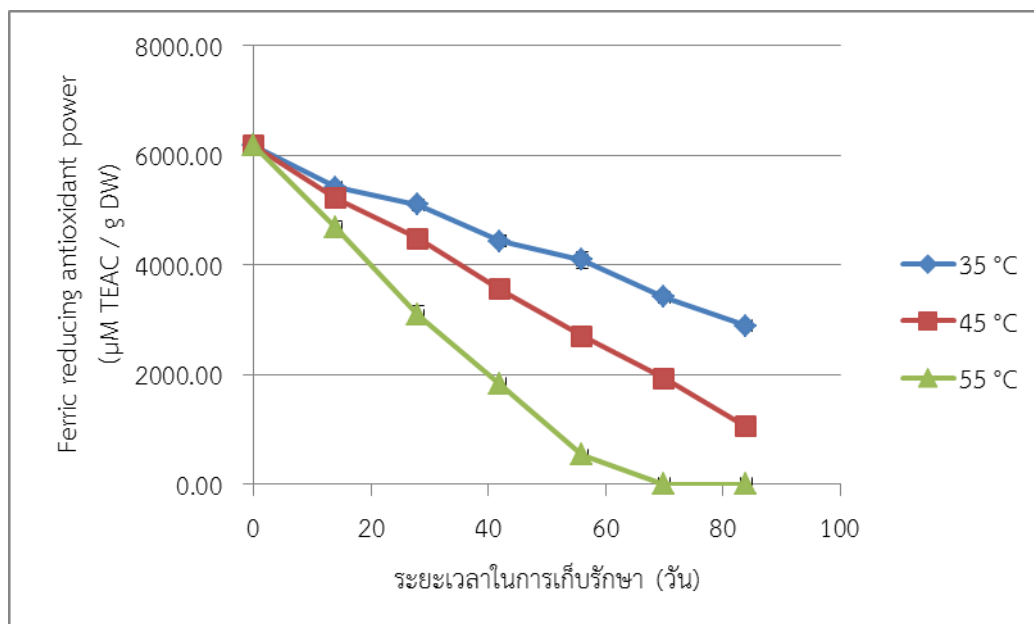


ภาพที่ 4.13 ค่าความแตกต่างของสี ( $\Delta E$ ) ของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เช่นเดียวกับการศึกษาของ วรัญญา ปานเกตุ (2554) ซึ่งศึกษาค่าสีของไมโครแคปซูลของน้ำมันมะกรูด โดยใช้กลูโคแมนแนนและกัมอารบิกเป็นสารเคลือบ พบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่สูงขึ้น และระยะเวลาการเก็บรักษาที่นานขึ้น จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลมากขึ้น เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลมากขึ้น และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นนั้นจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมากขึ้นด้วยเช่นกัน เนื่องจากกลูโคแมนแนนเมื่อถูกย่อยด้วยเอนไซม์เซลลูเลสแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์บางส่วนเป็นน้ำตาลกลูโคส และแมนโนส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) สามารถเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ขึ้นได้ โดยหมู่คาร์บอนิลของน้ำตาลรีดิวซิงทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีน (amine) ของกรดอะมิโนและโปรตีน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้สารสีน้ำตาล โดยระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อปฏิกิริยาเมลลาร์ด และจากการศึกษาของ Shimizu, Yazawa, and Takeda (1992) พบว่าในใบหอมมีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Radjabi (2010) พบว่าในใบหอมมี แอสพาราจีน (asparagine) และ อะลานีน (alanine) ในปริมาณมาก

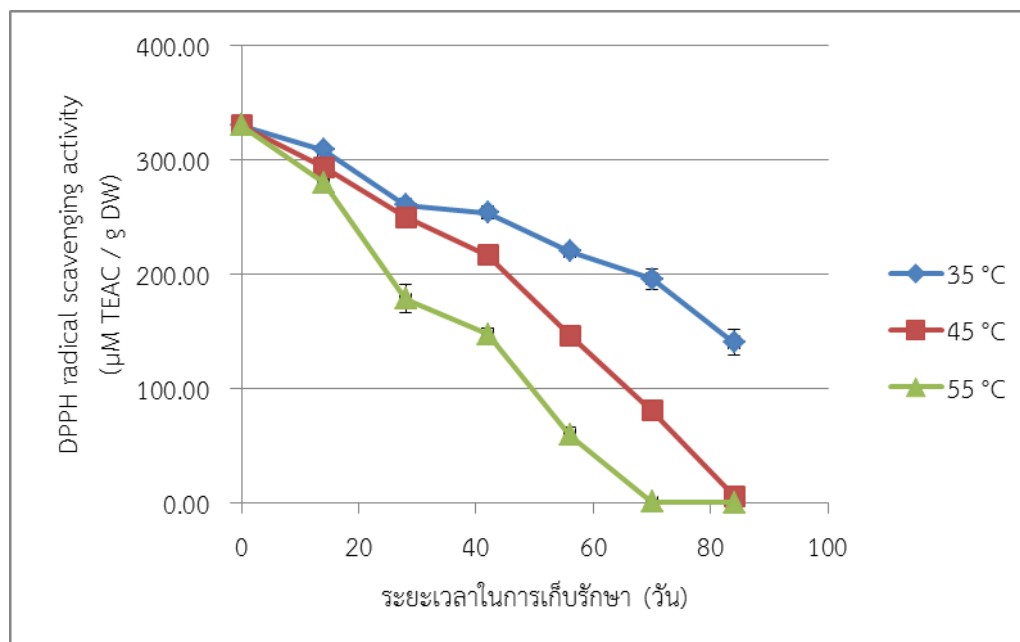
ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลเพิ่มมากขึ้น ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันทั้งจากการวัดค่าด้วยวิธี FRAP และ DPPH มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เช่นเดียวกันกับเมื่อ เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลนานขึ้น ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันทั้งจากการวัดค่าด้วยวิธี FRAP และ

DPPH มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เช่นเดียวกัน โดยจากการศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลด้วยวิธี FRAP พบว่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันมีแนวโน้มลดลงจากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเท่ากับ 6171.81  $\mu\text{mol Trolox} / \text{g db}$  เมื่อเวลาผ่านไป 84 วัน พบว่าค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันมีค่าลดลงที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียสเท่ากับ 2890.80 1054.49 และ 1.71  $\mu\text{mol Trolox} / \text{g db}$  ตามลำดับ (ภาพที่ 4.14)



ภาพที่ 4.14 ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP ของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

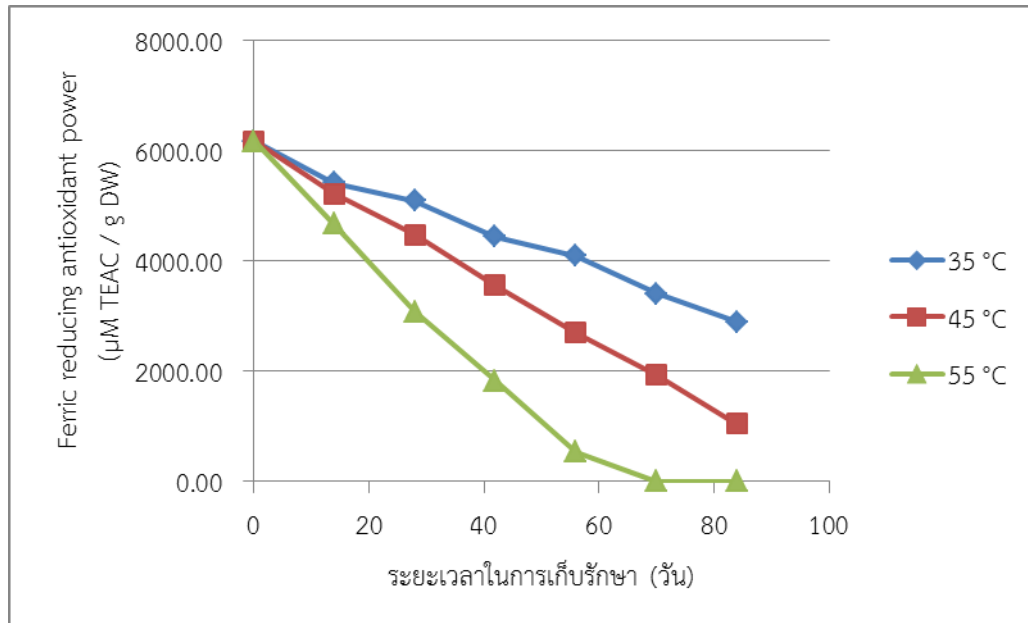
จากการศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลด้วยวิธี DPPH พบว่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันมีแนวโน้มลดลงจากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา ซึ่งมีค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเท่ากับ 330.13 TEAC / g db เมื่อเวลาผ่านไป 84 วัน พบว่าค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันมีค่าลดลงที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียสเท่ากับ 140.26 5.75 และ 0.09  $\mu\text{mol Trolox} / \text{g db}$  ตามลำดับ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าไมโครแคปซูลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส มีการลดลงของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันรวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 และ 45 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.15)



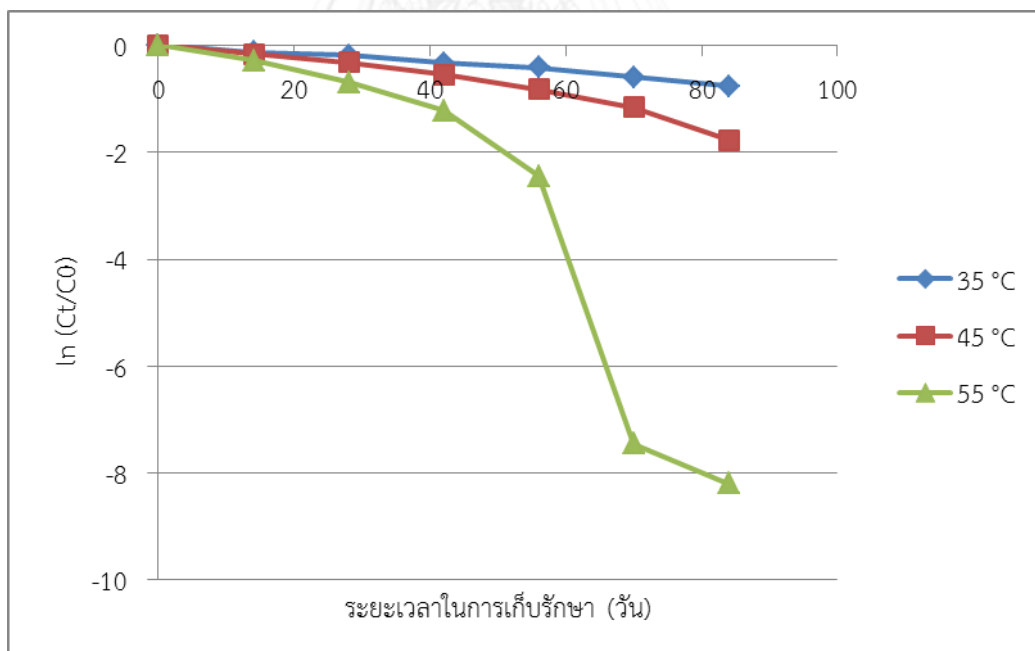
ภาพที่ 4.15 ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเก็บรักษาในสถานะที่ไม่เหมาะสม และเป็นระยะเวลาานาน จะส่งผลให้สารต้านออกซิเดชันสูญเสียไป โดยสารฟลาโวนอยด์แต่ละชนิดมีสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บรักษาที่แตกต่างกัน จากการศึกษาของ Moon et al. (2008) พบว่า สารละลายเคออสตินมีปริมาณคงเหลือ 50% จากปริมาณเริ่มต้น เมื่อเก็บรักษาในหลอดทดลองเป็นเวลา 23.1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง

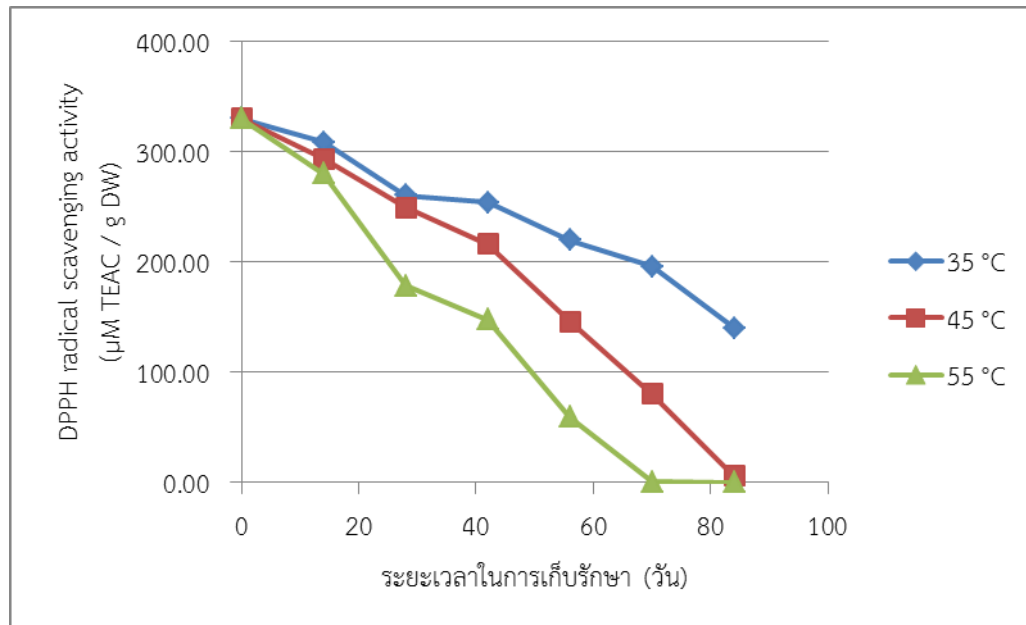
นำค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลที่ได้จากการศึกษาไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันและระยะเวลาในการเก็บรักษา และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\ln (C_t/C_0)$  และระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูล เท่ากับ 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส เพื่อหาอันดับปฏิกิริยา ซึ่งจะใช้ในหาอายุการเก็บรักษา ดังแสดงในภาพที่ 4.16 4.17 4.18 และ 4.19



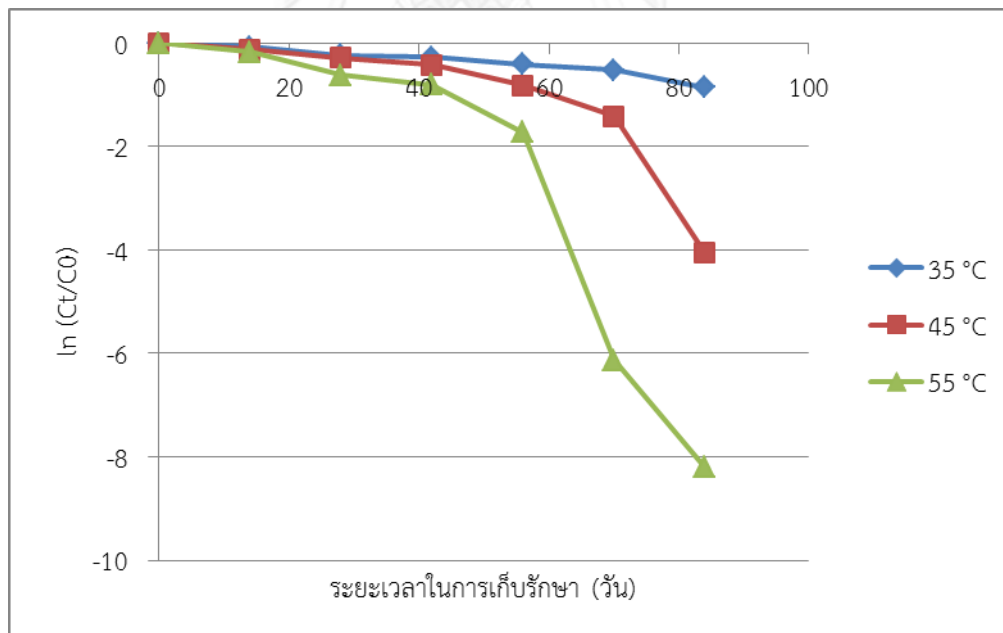
ภาพที่ 4.16 ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP ของผงไมโครแคปซูล ปฏิกริยาอันดับศูนย์ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 4.17 ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP ของผงไมโครแคปซูล ปฏิกริยาอันดับหนึ่ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 4.18 ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ปฏิกริยาอันดับศูนย์ ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 4.19 ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ปฏิกริยาอันดับหนึ่ง ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากการนำค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลที่ได้จากการศึกษาไปสร้างกราฟเพื่อหาอันดับของปฏิกริยา พบว่ากราฟปฏิกริยาอันดับศูนย์ ซึ่งสร้างระหว่างค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน

และระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส ทั้ง การศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP และ DPPH มีลักษณะเป็นเส้นตรง ซึ่งแสดงว่าฤทธิ์ การต้านออกซิเดชันมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยมีอัตราการลดลงคงที่ ในขณะที่ กราฟปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ซึ่งสร้างระหว่างค่า  $\ln (C_t/C_0)$  และระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ ในการเก็บรักษา 35, 45 และ 55 องศาเซลเซียส ทั้งการศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP และ DPPH กราฟที่ได้ไม่เป็นเส้นตรง สอดคล้องกับการศึกษาของ Shishido and Toda (1996) Romero-de Soto et al. (2013) และ Yilmaz and Karadeniz (2014) ซึ่งพบว่าฤทธิ์การต้าน ออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลิกเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าฤทธิ์การต้าน ออกซิเดชันของไมโครแคปซูลจากสารสกัดจากใบหม่อนเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ซึ่งจะนำไปใช้ในการ หาอายุการเก็บรักษาไมโครแคปซูลต่อไป

ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูล ซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน โดยพิจารณาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันคงเหลือ 50% ของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเริ่มต้น พบว่าเมื่อนำค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP และ ระยะเวลาในการเก็บรักษามาสร้างกราฟความสัมพันธ์ ได้สมการเส้นตรงดังนี้

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 1 (ภาพที่ 4.20 ก) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้าน ออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

$$\text{ครั้งที่ 1; สมการ } y_1 = 6053.1 - 37.141x_1 \quad ; r^2 = 0.9916$$

$$\text{ครั้งที่ 2; สมการ } y_2 = 6067.4 - 37.877x_2 \quad ; r^2 = 0.9962$$

$$\text{ครั้งที่ 3; สมการ } y_3 = 6142.4 - 38.759x_3 \quad ; r^2 = 0.9939$$

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 2 (ภาพที่ 4.20 ข) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้าน ออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

$$\text{ครั้งที่ 1; สมการ } y_1 = 6127.3 - 38.265x_1 \quad ; r^2 = 0.9854$$

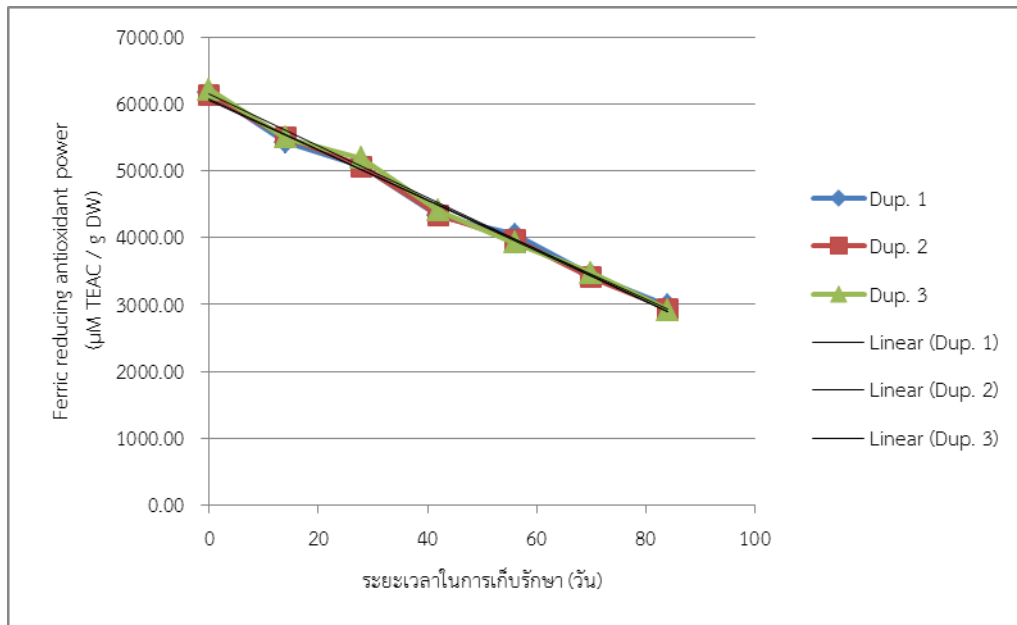
$$\text{ครั้งที่ 2; สมการ } y_2 = 6061.3 - 37.514x_2 \quad ; r^2 = 0.985$$

$$\text{ครั้งที่ 3; สมการ } y_3 = 6098.8 - 37.864x_3 \quad ; r^2 = 0.9826$$

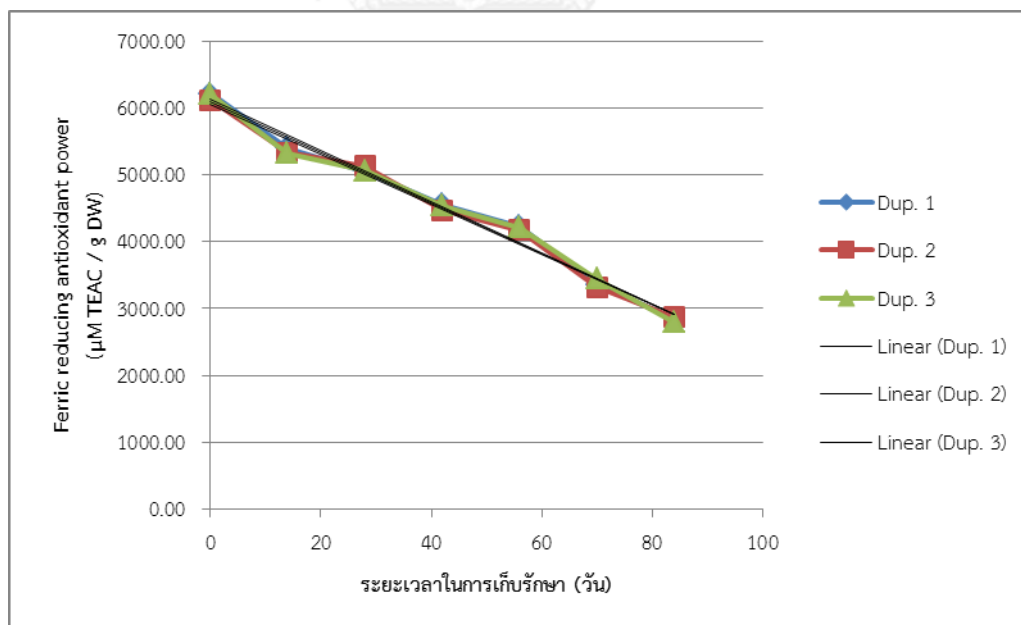
เมื่อแทนค่า  $y$  คือ ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่ใช้เป็นเกณฑ์หมดอายุของไมโครแคปซูล จะได้ ค่า  $x$  คือ อายุการเก็บรักษา (วัน) (ตัวอย่างวิธีการคำนวณอยู่ในภาคผนวก ก.) พบว่าไมโครแคปซูลมี



ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันคงเหลือ 50% ของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเริ่มต้น เมื่อเก็บไมโครแคปซูลไว้เป็นระยะเวลา 79 วัน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.20 ก ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.20 ข ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 1 (ภาพที่ 4.21 ก) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

$$\text{ครั้งที่ 1; สมการ } y_1 = 6166.3 - 60.991x_1 \quad ; r^2 = 0.9993$$

$$\text{ครั้งที่ 2; สมการ } y_2 = 6061.3 - 58.292x_2 \quad ; r^2 = 0.999$$

$$\text{ครั้งที่ 3; สมการ } y_3 = 6095.7 - 59.473x_3 \quad ; r^2 = 0.9977$$

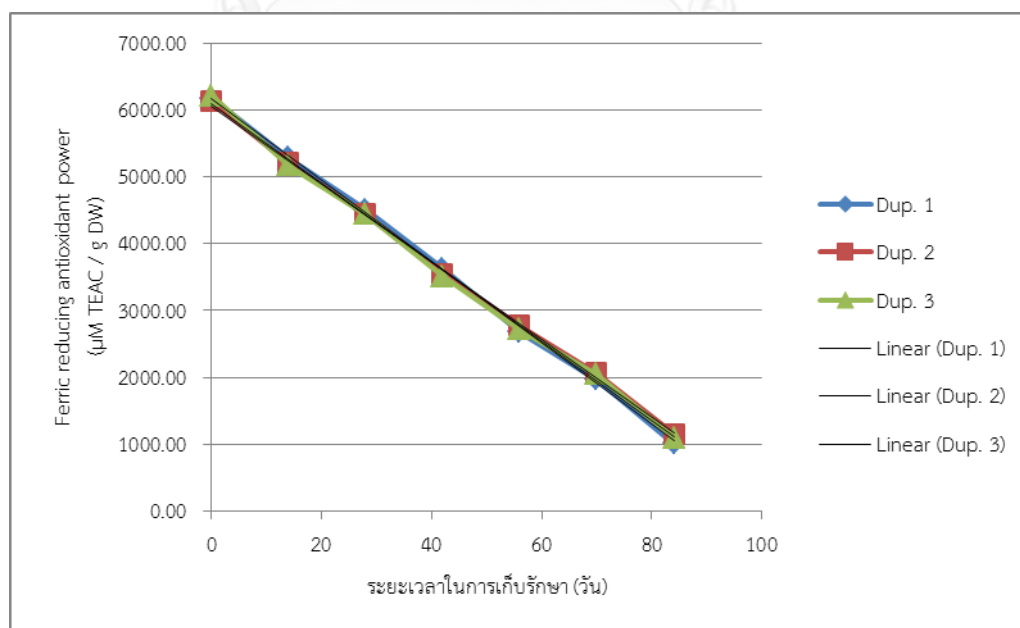
อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 2 (ภาพที่ 4.21 ข) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

$$\text{ครั้งที่ 1; สมการ } y_1 = 6122.2 - 60.991x_1 \quad ; r^2 = 0.9988$$

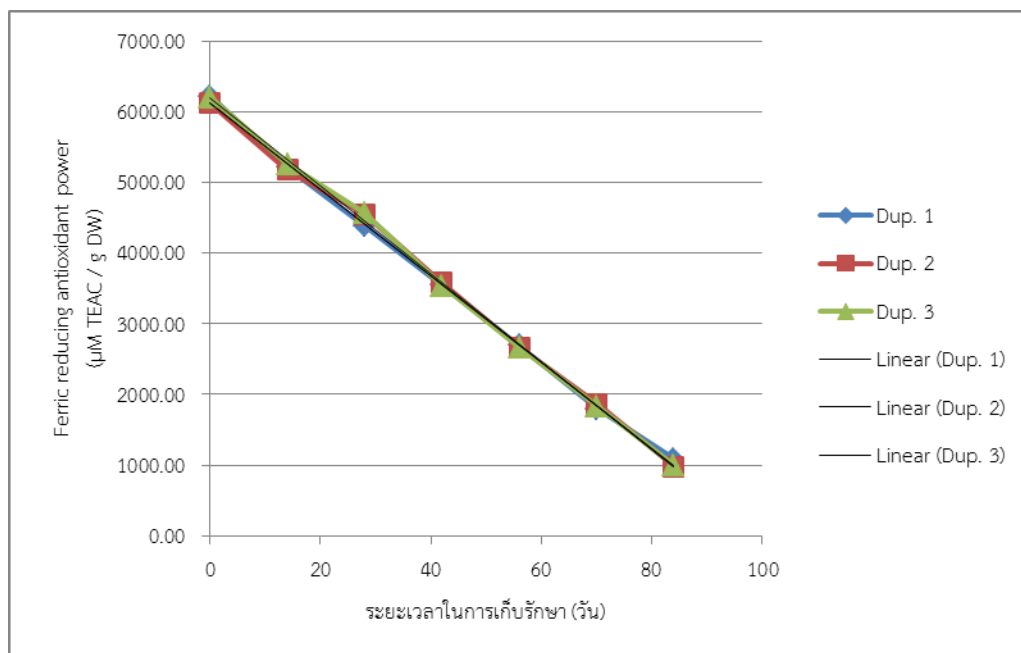
$$\text{ครั้งที่ 2; สมการ } y_2 = 6120.8 - 60.993x_2 \quad ; r^2 = 0.9986$$

$$\text{ครั้งที่ 3; สมการ } y_3 = 6187.8 - 61.129x_3 \quad ; r^2 = 0.9988$$

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆในสมการ พบว่าไมโครแคปซูลมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันคงเหลือ 50% ของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเริ่มต้น เมื่อเก็บไมโครแคปซูลไว้เป็นระยะเวลา 50 วัน ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.21 ก ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.21 ข ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 1 (ภาพที่ 4.22 ก) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ครั้งที่ 1; สมการ  $y_1 = 5913.6 - 91.438x_1$  ;  $r^2 = 0.9791$

ครั้งที่ 2; สมการ  $y_2 = 5874.5 - 90.384x_2$  ;  $r^2 = 0.9796$

ครั้งที่ 3; สมการ  $y_3 = 5909.3 - 91.372x_3$  ;  $r^2 = 0.9794$

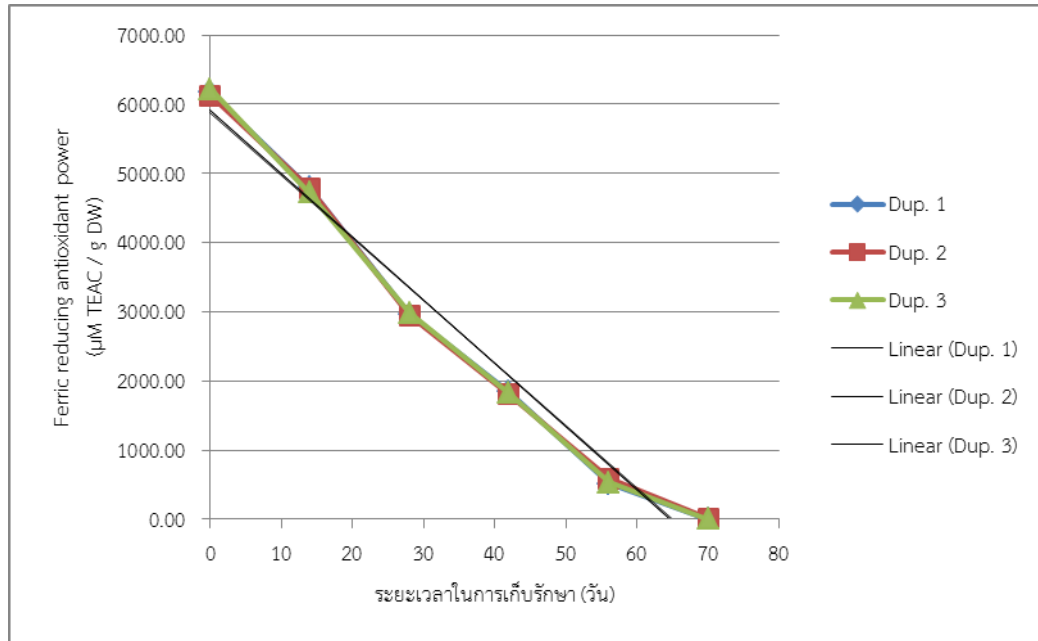
อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 2 (ภาพที่ 4.22 ข) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ครั้งที่ 1; สมการ  $y_1 = 5892.9 - 91.052x_1$  ;  $r^2 = 0.9811$

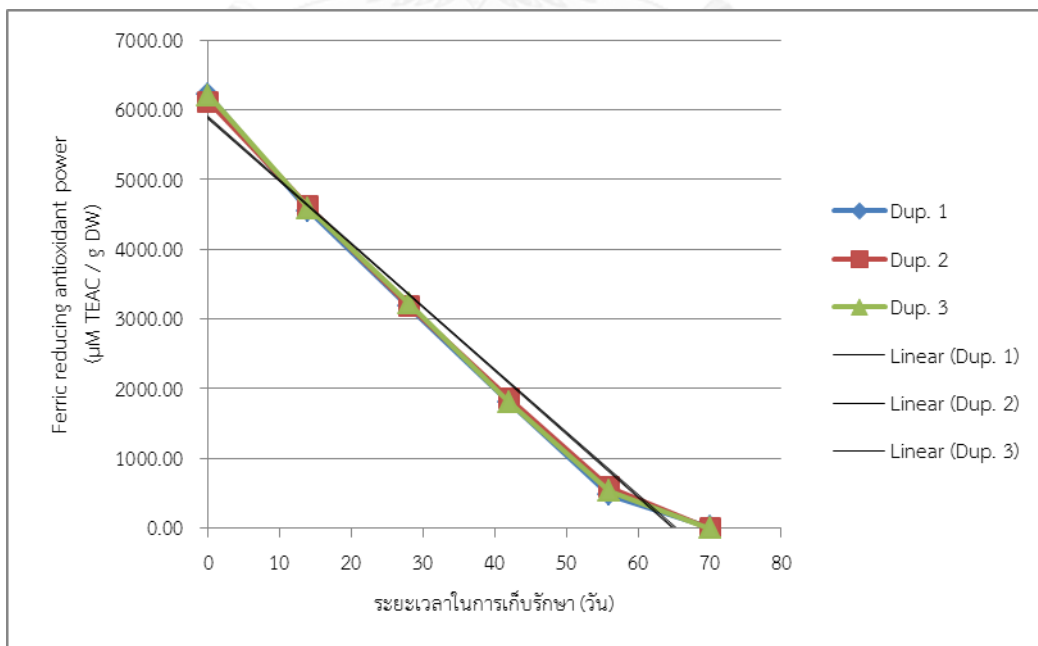
ครั้งที่ 2; สมการ  $y_2 = 5869.7 - 89.78x_2$  ;  $r^2 = 0.9864$

ครั้งที่ 3; สมการ  $y_3 = 5909.8 - 91.01x_3$  ;  $r^2 = 0.9834$

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆในสมการ พบว่าไมโครแคปซูลมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันคงเหลือ 50% ของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเริ่มต้น เมื่อเก็บไมโครแคปซูลไว้เป็นระยะเวลา 30 วัน ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.22 ก ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.22 ข ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูล ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ซึ่งเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน โดยพิจารณาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันต้องคงเหลือ 50% ของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเริ่มต้น พบว่าเมื่อนำค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และระยะเวลาในการเก็บรักษามาสร้างกราฟความสัมพันธ์ ได้สมการเส้นตรงดังนี้

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 1 (ภาพที่ 4.23 ก) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

$$\text{ครั้งที่ 1; สมการ } y_1 = 335.6 - 2.1329x_1 \quad ; r^2 = 0.9548$$

$$\text{ครั้งที่ 2; สมการ } y_2 = 340.27 - 2.3328x_2 \quad ; r^2 = 0.9531$$

$$\text{ครั้งที่ 3; สมการ } y_3 = 335.16 - 2.0782x_3 \quad ; r^2 = 0.9671$$

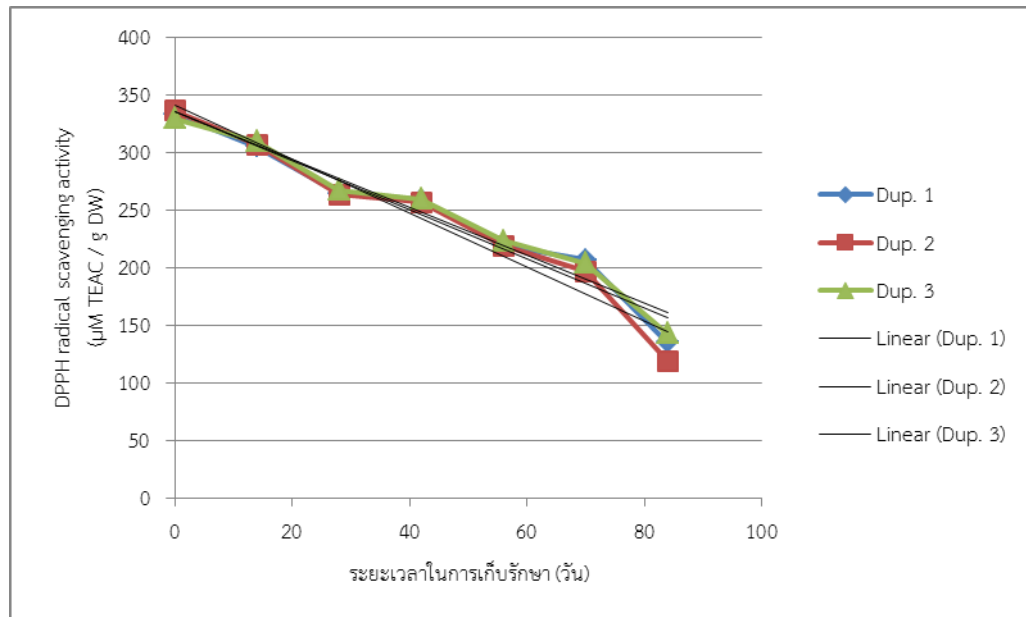
อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 2 (ภาพที่ 4.23 ข) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

$$\text{ครั้งที่ 1; สมการ } y_1 = 6127.3 - 38.265x_1 \quad ; r^2 = 0.9854$$

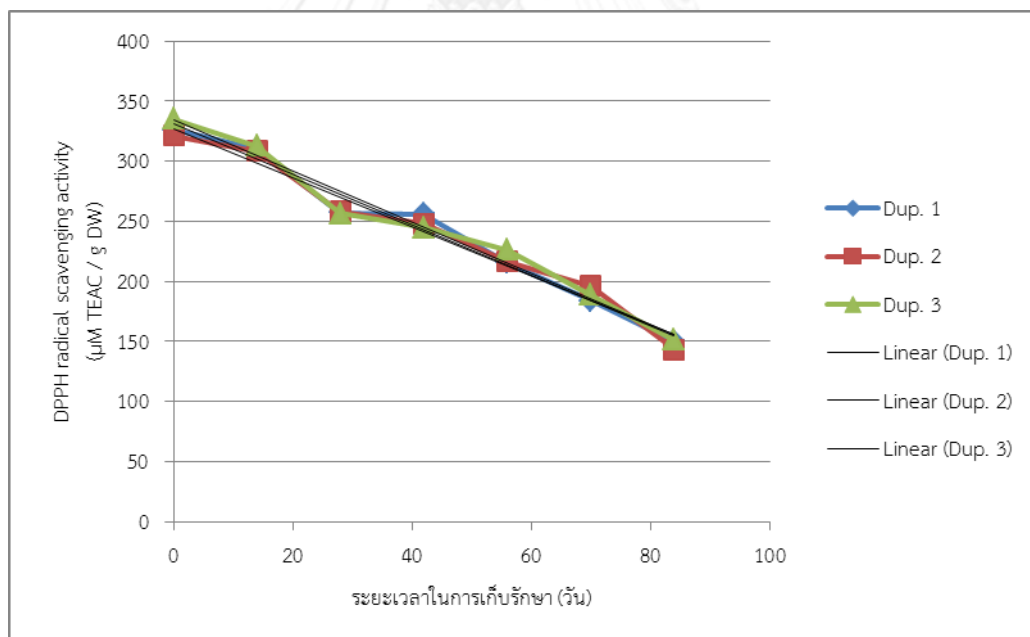
$$\text{ครั้งที่ 2; สมการ } y_2 = 6061.3 - 37.514x_2 \quad ; r^2 = 0.985$$

$$\text{ครั้งที่ 3; สมการ } y_3 = 6098.8 - 37.864x_3 \quad ; r^2 = 0.9826$$

เมื่อแทนค่า  $y$  คือ ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่ใช้เป็นเกณฑ์หมดอายุของไมโครแคปซูล จะได้ค่า  $x$  คือ อายุการเก็บรักษา (วัน) พบว่าไมโครแคปซูลมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันคงเหลือ 50% ของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเริ่มต้น เมื่อเก็บไมโครแคปซูลไว้เป็นระยะเวลา 79 วัน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.23 ก ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.23 ข ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ครั้งที่ 1 (ภาพที่ 4.24 ก) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ครั้งที่ 1; สมการ  $y_1 = 353.63 - 3.902x_1$  ;  $r^2 = 0.9748$

$$\text{ครั้งที่ 2; สมการ } y_2 = 353.59 - 3.8003x_2 \quad ; r^2 = 0.9802$$

$$\text{ครั้งที่ 3; สมการ } y_3 = 350.06 - 3.892x_3 \quad ; r^2 = 0.9778$$

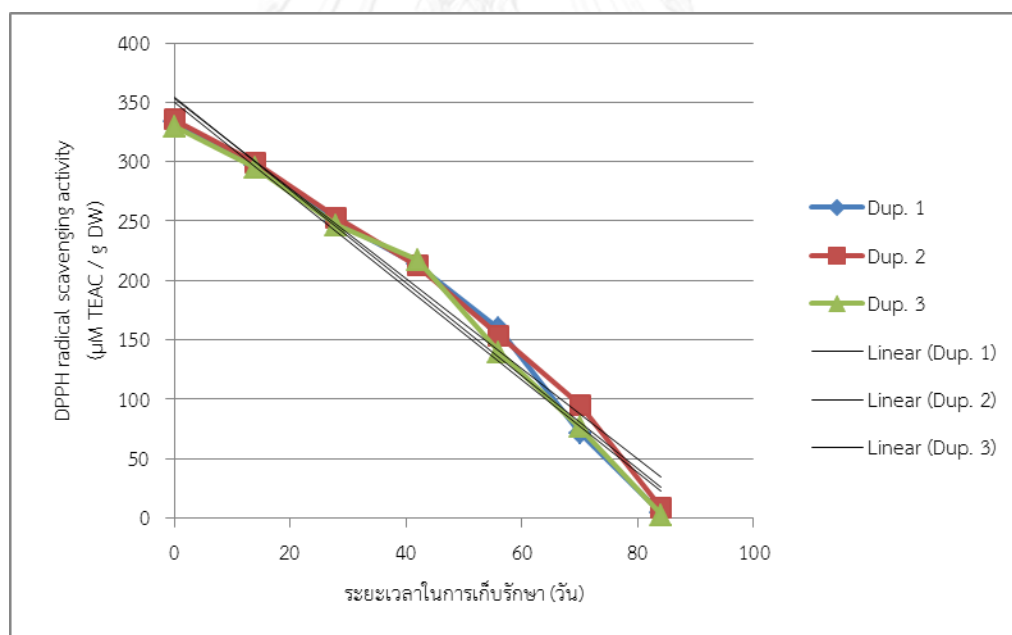
อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ครั้งที่ 2 (ภาพที่ 4.24 ข) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

$$\text{ครั้งที่ 1; สมการ } y_1 = 348.63 - 3.8838x_1 \quad ; r^2 = 0.9726$$

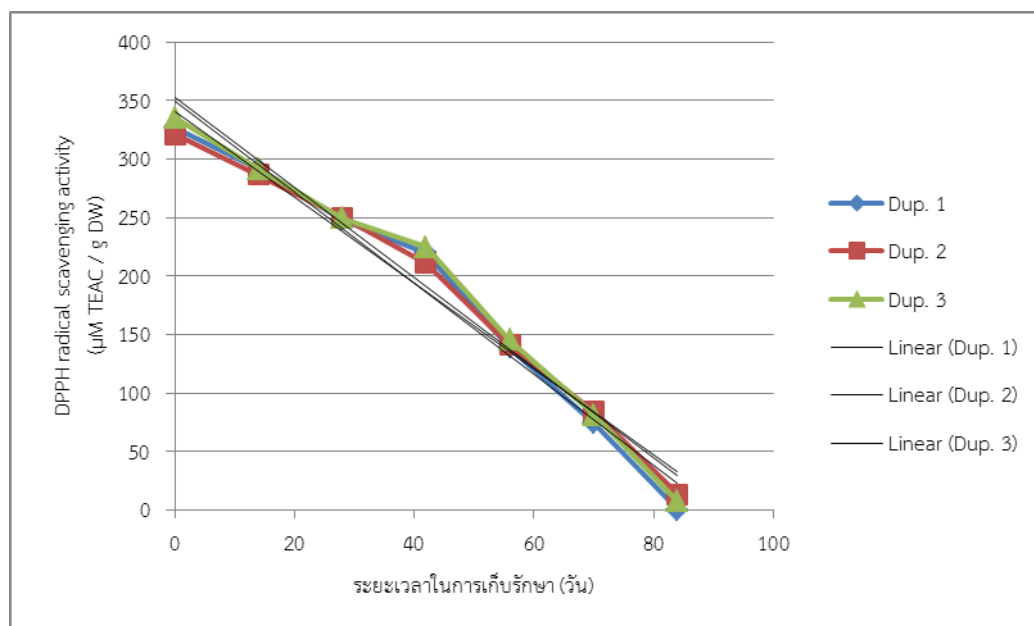
$$\text{ครั้งที่ 2; สมการ } y_2 = 340.64 - 3.6697x_2 \quad ; r^2 = 0.9797$$

$$\text{ครั้งที่ 3; สมการ } y_3 = 352.14 - 3.8462x_3 \quad ; r^2 = 0.975$$

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆในสมการ พบว่าไมโครแคปซูลมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันคงเหลือ 50% ของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเริ่มต้น เมื่อเก็บไมโครแคปซูลไว้เป็นระยะเวลา 48 วัน ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.24 ก ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.24 ข ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 1 (ภาพที่ 4.25 ก) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ครั้งที่ 1; สมการ  $y_1 = 332.67 - 4.7774x_1$  ;  $r^2 = 0.9788$

ครั้งที่ 2; สมการ  $y_2 = 333.46 - 4.7976x_2$  ;  $r^2 = 0.9803$

ครั้งที่ 3; สมการ  $y_3 = 330.61 - 4.7916x_3$  ;  $r^2 = 0.9821$

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 2 (ภาพที่ 4.25 ข) ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

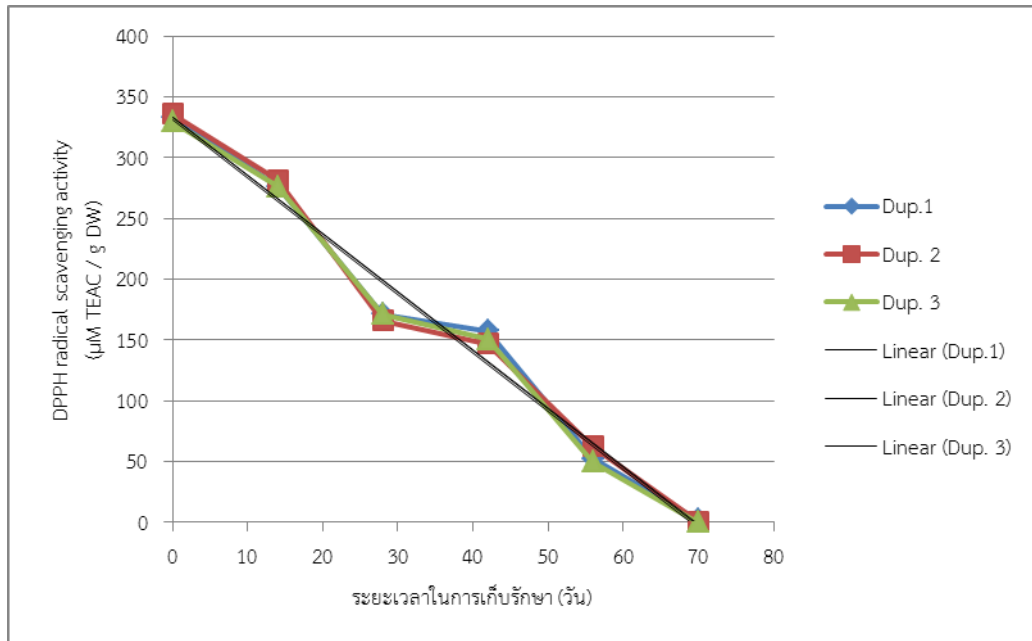
ครั้งที่ 1; สมการ  $y_1 = 336.77 - 4.755x_1$  ;  $r^2 = 0.9896$

ครั้งที่ 2; สมการ  $y_2 = 327.77 - 4.6435x_2$  ;  $r^2 = 0.9916$

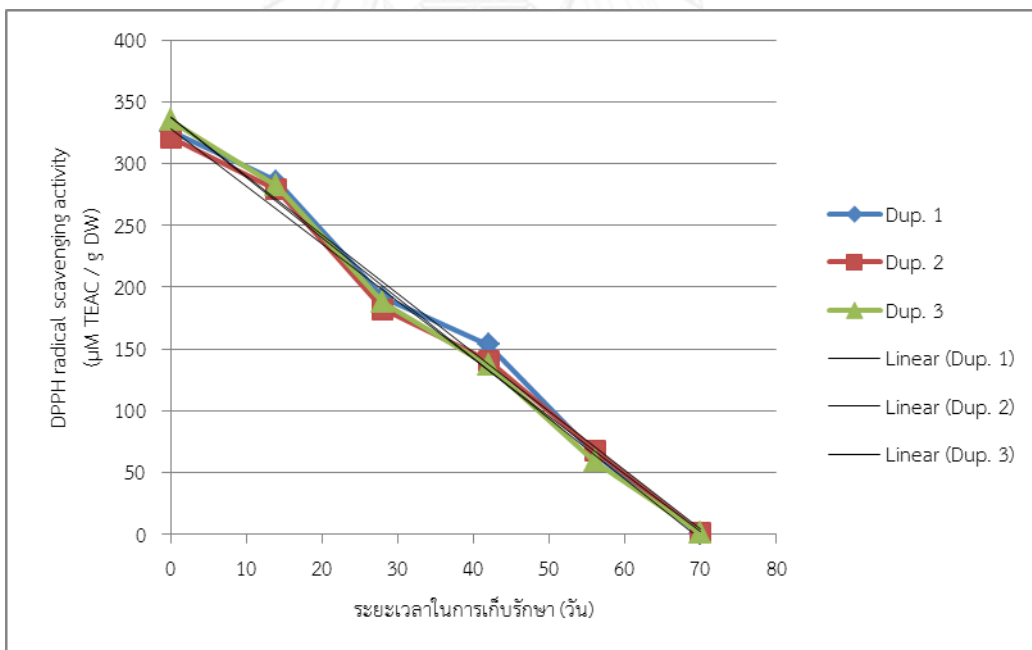
ครั้งที่ 3; สมการ  $y_3 = 337.68 - 4.8779x_3$  ;  $r^2 = 0.9949$

เมื่อแทนค่าตัวแปรต่างๆในสมการ พบว่าไมโครแคปซูลมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันคงเหลือ 50% ของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเริ่มต้น เมื่อเก็บไมโครแคปซูลไว้เป็นระยะเวลา 35 วัน ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส





ภาพที่ 4.25 ก ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4.25 ข ค่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ซึ่งศึกษาด้วยวิธี DPPH ของผงไมโครแคปซูล ระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.8 ค่าครึ่งชีวิตของไมโครแคปซูลระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิในการเก็บรักษา (°C)	ค่าครึ่งชีวิตของไมโครแคปซูลซึ่งศึกษา	ค่าครึ่งชีวิตของไมโครแคปซูลซึ่งศึกษา
	ฤทธิ์การต้าน อนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (วัน)	ฤทธิ์การต้าน อนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (วัน)
35	79	79
45	50	48
55	30	35

เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลเพิ่มมากขึ้น และใช้ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันลดลง 50% เป็นเกณฑ์ในการตัดสิน จะเห็นได้ว่าค่าครึ่งชีวิตของไมโครแคปซูลลดลง เพราะเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้สารต้านออกซิเดชันลดลงรวดเร็วขึ้น (ตารางที่ 4.8)

จากการศึกษาจะเห็นได้ว่า เมื่อเก็บรักษาไมโครแคปซูลเป็นเวลา 3 เดือน ไมโครแคปซูลยังมีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (ภาพที่ 4.16 และภาพที่ 4.18) ทั้งนี้เนื่องจากไมโครแคปซูลเมื่อเริ่มต้นเก็บรักษามีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูง ดังนั้นกระบวนการเอนแคปซูลชันจะช่วยรักษาเสถียรภาพของสารต้านออกซิเดชัน โดยกระบวนการเอนแคปซูลชันจะช่วยชะลอการลดลงของฤทธิ์ต้านออกซิเดชันอันเนื่องมาจากสิ่งแวดล้อมทางด้านความร้อน แสง และอากาศ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Kirby et al. (1991) ที่พบว่ากระบวนการเอนแคปซูลชันจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของสารต้านออกซิเดชันเมื่อเปรียบเทียบกับเก็บรักษาในสภาวะสารละลาย

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ความเข้มข้นของเอทานอลที่ใช้ในการสกัดสารสำคัญจากใบหม่อนนั้น มีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน โดยสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดได้นั้น มีความสัมพันธ์กับฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน ความเข้มข้นของเอทานอล 60% เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการสกัดสารสำคัญจากใบหม่อน เนื่องจากสารสกัดจากใบหม่อนที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูง และมีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูง หลังจากนั้นเมื่อนำสารสกัดจากใบหม่อนที่ได้เอนแคปซูลด้วยสารเคลือบ 2 ชนิด คือ ผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน เพื่อเปลี่ยนสถานะของสารสกัดที่ได้จากของเหลวให้อยู่ในรูปของไมโครแคปซูลด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย สภาพที่ใช้ในการผลิตไมโครแคปซูลนั้นมีผลต่อความสามารถในการผลิตไมโครแคปซูลที่มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูง ได้แก่ ปริมาณของสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอุณหภูมิอากาศขาเข้า โดยสภาพที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อนเพื่อให้ได้ไมโครแคปซูลที่มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูง คือ อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทรินเท่ากับ 3:1 ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบเท่ากับ 30% และอุณหภูมิอากาศขาเข้าเท่ากับ 180 องศาเซลเซียส และเมื่อนำไมโครแคปซูลมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างการศึกษาที่อุณหภูมิ 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่าฤทธิ์การต้านออกซิเดชันลดลง เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น โดยที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 45 และ 55 องศาเซลเซียส มีอายุในการเก็บรักษาเมื่อศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 79 50 และ 30 วันตามลำดับ และมีอายุในการเก็บรักษาเมื่อศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 79 48 และ 35 วันตามลำดับ ที่ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันคงเหลือ 50% ของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเริ่มต้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาอัตราส่วนของสารเคลือบ 2 ชนิด คือ ผงบุกและมอลโตเดกซ์ทรินนั้นจะเห็นว่า เมื่อลดปริมาณผงบุกลงไม่ส่งผลให้ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลลดลง ดังนั้นอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยลดปริมาณผงบุกให้น้อยลง ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของไมโครแคปซูลอาจไม่ลดลง ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินมีราคาไม่สูงมากนัก และหาซื้อได้ง่าย รวมทั้งยังง่ายต่อการผลิตอีกด้วย

จากการศึกษาปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบจะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบจาก 15% เป็น 30% ส่งผลให้ความสามารถในการกักเก็บสารที่มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นอาจมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเพิ่มปริมาณของสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบให้สูงขึ้น ซึ่งอาจส่งผลให้ไมโครแคปซูลที่ได้มีฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณของสารเคลือบเท่าเดิม ซึ่งเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกทางหนึ่ง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## รายการอ้างอิง

- Ahmed, M., Akter, M. S., Lee, J.-C., and Eun, J.-B. (2010). Encapsulation by spray drying of bioactive components, physicochemical and morphological properties from purple sweet potato. *LWT - Food Science and Technology*, 43(9), 1307-1312.
- Arabbi, P. R., Genovese, M. I., and Lajolo, F. M. (2004). Flavonoids in vegetable foods commonly consumed in Brazil and estimated ingestion by the Brazilian population. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(5), 1124-1131.
- Arabshahi-Delouee, S., and Urooj, A. (2007). Antioxidant properties of various solvent extracts of mulberry (*Morus indica* L.) leaves. *Food Chemistry*, 102(4), 1233-1240.
- Arpagaus, C., and Schwartzbach, H. (2008). Scale-up from bench-top research to laboratory production. Retrieved April 6, 2012
- Benita, S. (2006). *Microencapsulation Methods and Industrial Applications*. London: Taylor & Francis Group.
- Benzie, I. F., and Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bose, P. C. (1989). *Genetic resources of mulberry and utilization*. CSR & TI, Mysore.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Burns, J., Gardner, P. T., O'Neil, J., Crawford, S., Morecroft, I., McPhail, D. B., Lister, C., Matthews, D., MacLean, M. R., Lean, M. E., Duthie, G. G., and Crozier, A. (2000). Relationship among antioxidant activity, vasodilation capacity, and phenolic content of red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(2), 220-230.
- Capitani, C. D., Carvalho, A. C. L., Botelho, P. B., Carrapeiro, M. M., and Castro, I. A. (2009). Synergism on antioxidant activity between natural compounds optimized by response surface methodology. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111(11), 1100-1110.
- Chan, S. W., Lee, C. Y., Yap, C. F., Wan Aida, W. M., and Ho, C. W. (2009). Optimisation of extraction conditions for phenolic compounds from limau purut (*Citrus hystrix*) peels. *International Food Research Journal*, 16, 203-213.
- Chen, F., Nakashima, N., Kimura, I., and Kimura, M. (1995). Hypoglycemic activity and mechanisms of extracts from mulberry leaves (*folium mori*) and cortex *mori radice* in streptozotocin-induced diabetic mice. *Yakugaku Zasshi Journal of the Pharmaceutical Society of Japan*, 115(6), 476-482.

- Chen, X. D., and Mujumdar, A. S. (2008). *Drying technologies in food processing*: Blackwell Publishing Ltd, United Kingdom.
- Chew, K. K., Ng, S. Y., Thoo, Y. Y., Khoo, M. Z., Wan Aida, W. M., and Ho, C. W. (2011). Effect of ethanol concentration, extraction time and extraction temperature on the recovery of phenolic compounds and antioxidant capacity of *Centella asiatica* extracts. *International Food Research Journal*, 18(2), 571-578.
- Chinachoti, P. (1996). *Food products shelf-life stability*. Paper presented at the "Food Products Shelf-life Stability", Organized by Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- Dziezak, J. D. (1998). Microencapsulation and encapsulated ingredients. *Food Technology*, 42(11), 136-148.
- Ferreira, I., Rocha, S., and Coelho, M. (2007). *Encapsulation of Antioxidants by Spray-Drying*. M.S. Thesis, University of Porto.
- Ford, D. M., and Chesey, P. A. (1986). United States Patent 4,562,714.
- Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., and Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. *Food Research International*, 40, 1107-1121.
- Ghosh, S. K. (2006). Functional Coatings and Microencapsulation: A General Perspective *Functional Coatings* (pp. 1-28): Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Graversen, H., Becker, E., Skibsted, L., and Andersen, M. (2008). Antioxidant synergism between fruit juice and  $\alpha$ -tocopherol. A comparison between high phenolic black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) and high ascorbic blackcurrant (*Ribes nigrum*). *European Food Research and Technology*, 226(4), 737-743.
- Hogan, S. A., McNamee, B. F., O'Riordan, E. D., and O'Sullivan, M. (2001). Emulsification and microencapsulation properties of sodium caseinate/carbohydrate blends. *International Dairy Journal*, 11(3), 137-144.
- Horwitz, W. (2006). *Official methods of analysis of AOAC International*. Gaithersburg, Md.: AOAC International.
- Ji, B. T., Chow, W. H., Hsing, A. W., McLaughlin, J. K., Dai, Q., Gao, Y. T., Blot, W. J., and Fraumeni, J. F., Jr. (1997). Green tea consumption and the risk of pancreatic and colorectal cancers. *International Journal of Cancer*, 70(3), 255-258.
- Katsube, T., Imawaka, N., Kawano, Y., Yamazaki, Y., Shiwaku, K., and Yamane, Y. (2006). Antioxidant flavonol glycosides in mulberry (*Morus alba* L.) leaves isolated based on LDL antioxidant activity. *Food Chemistry*, 97(1), 25-31.

- Kim, S. Y., Gao, J. J., Lee, W. C., Ryu, K. S., Lee, K. R., and Kim, Y. C. (1999). Antioxidative flavonoids from the leaves of *Morus alba*. *Archives of Pharmacal Research*, 22(1), 81-85.
- Kirby, C. J., Whittle, C. J., Rigby, N., Coxon, D. T., and Law, B. A. (1991). Stabilization of ascorbic acid by microencapsulation in liposomes. *International Journal of Food Science & Technology*, 26(5), 437-449.
- Komolprasert, V. (1996). *Food packaging*. Organized by Department of Food Science, Thammasart University Rungsit, Pathumthani.
- Kopelman, I. J., Meydav, S., and Weinberg, S. (1977). Storage studies of freeze dried lemon crystals. *International Journal of Food Science & Technology*, 12(4), 403-410.
- Maekaji, K., and Kawamura, D. (1984). Relationship between stress relaxation and syneresis of konjac mannan gel. *Agricultural and Biological Chemistry*, 48(1), 227-228.
- Martins, R. C., Lopes, V. V., Vicente, A. A., and Teixeira, J. A. (2008). Computational shelf-life dating: complex systems approaches to food quality and safety. *Food and Bioprocess Technology* 1(3), 207-222.
- Masters, K. (1979). *Spray drying fundamentals: Process stages and layouts* *Spray Drying Handbook*. USA: John Wiley & Sons.
- Matsuoka, T., Kimura, T., and Muraoka, N. (1994). Research of the available constituents from mulberry tree. *Tohoku Agricultural Research*, 47, 361-362.
- Matsuzaki, T., and Hara, Y. (1985). Antioxidative activity of tea leaf catechins. *Journal of the Agricultural Chemical Society of Japan [Nihon Nogei Kagakkai-shi]*, 59, 129-234.
- Moon, Y. J., Wang, L., DiCenzo, R., and Morris, M. E. (2008). Quercetin pharmacokinetics in humans. *Biopharmaceutics & Drug Disposition*, 29(4), 205-217.
- Ng, S., Wong, P., Tan, C., Long, K., and Nyam, K. (2013). Influence of the inlet air temperature on the microencapsulation of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) seed oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 115(11), 1309-1318.
- Nizori, A., Bui, L. T. T., and Small, D. M. (2012). Microencapsulation of Ascorbic Acid by Spray Drying: Influence of Process Conditions. *World Academy of Science, Engineering & Technology*, 72, 453-457.
- Nwabueze, T. U., and Okocha, K. S. (2008). Extraction performances of polar and non-polar solvents on the physical and chemical indices of African breadfruit (*Treculia africana*) seed oil. *African Journal of Food Science*, 2(10), 119-125.
- Oku, T., Yamada, M., Nakamura, M., Sadamori, N., and Nakamura, S. (2006). Inhibitory effects of extractives from leaves of *Morus alba* on human and rat small intestinal disaccharidase activity. *British Journal of Nutrition*, 95(5), 933-938.

- Onogi, A., Osawa, K., Yasuda, H., Sakai, A., Morita, H., and Itokawa, H. (1993). Flavonol glycosides from the leaves of *M. alba* L. *Shoyakugaku Zasshi*, 47(423-425).
- Pietta, P. G. (2000). Flavonoids as antioxidants. *Journal of Natural Products*, 63(7), 1035-1042.
- Prakittachakul, P. (2525). *A study of dehydration process of lime juices*. Master's Thesis, Department of Chemical Technology Graduate School Chulalongkorn University.
- Punchard, N. A., and Kelly, F. J. (1996). *Free radicals : a practical approach*. Oxford: IRL Press at Oxford University Press.: Baskin, S.
- Salem, H.
- Quek, S. Y., Chok, N. K., and Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392.
- Radjabi, R. (2010). Effect of Mulberry Leaves Enrichment with Amino Acid Supplementary Nutrients on Silkworm, *Bombyx mori* L. at North of Iran. *Academic Journal of Entomology*, 3(1), 45-51.
- Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., and Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(7), 933-956.
- Risch, S. J., and Reineccius, G. A. (1988). *Spray-Dried Orange Oil Flavor Encapsulation* (Vol. 370, pp. 67-77): American Chemical Society.
- Roberts, W. G., and Gordon, M. H. (2003). Determination of the total antioxidant activity of fruits and vegetables by a liposome assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1486-1493.
- Rocha, S., Generalov, R., Pereira Mdo, C., Peres, I., Juzenas, P., and Coelho, M. A. (2011). Epigallocatechin gallate-loaded polysaccharide nanoparticles for prostate cancer chemoprevention. *Nanomedicine (Lond)*, 6(1), 79-87.
- Romero-de Soto, M. D., Garcia-Salas, P., Fernandez-Arroyo, S., Segura-Carretero, A., Fernandez-Campos, F., and Clares-Naveros, B. (2013). Antioxidant activity evaluation of new dosage forms as vehicles for dehydrated vegetables. *Plant Foods for Human Nutrition*, 68(2), 200-206.
- Rosenberg, M., Kopelman, I. J., and Talmon, Y. (1990). Factors affecting retention in spray-drying microencapsulation of volatile materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(5), 1288-1294.
- Ruengroengklin, N., Zhong, J., Duan, X., Yang, B., Li, J., and Jiang, Y. (2008). Effects of various temperatures and pH values on the extraction yield of phenolics from Litchi



- fruit pericarp tissue and the antioxidant activity of the extracted anthocyanins. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(7), 1333-1341.
- Sánchez-Moreno, C., Jiménez-Escrig, A., and Saura-Calixto, F. (2000). Study of low-density lipoprotein oxidizability indexes to measure the antioxidant activity of dietary polyphenols. *Nutrition Research*, 20(7), 941-953.
- Shan, B., Cai, Y. Z., Sun, M., and Corke, H. (2005). Antioxidant capacity of 26 spice extracts and characterization of their phenolic constituents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(20), 7749-7759.
- Shiga, H., Yoshii, H., Ohe, H., Yasuda, M., Furuta, T., Kuwahara, H., Ohkawara, M., and Linko, P. (2004). Encapsulation of shiitake (*Lenthinus edodes*) flavors by spray drying. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 68(1), 66-71.
- Shimizu, T., Yazawa, M., and Takeda, N. (1992). Aromatic amino acids in the leaves of *Morus alba* and their possible medicinal value. *Sericologia*, 32, 633-636.
- Shishido, M., and Toda, M. (1996). Apparent zero-order kinetics of phenol biodegradation by substrate-inhibited microbes at low substrate concentrations. *Biotechnology and Bioengineering*, 50(6), 709-717.
- Sies, H., Stahl, W., and Sundquist, A. R. (1992). Antioxidant functions of vitamins. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 669, 7-20.
- Thomas, W. R. (1997). Konjac gum. In A. P. Imeson (Ed.), *Thickening and Gelling Agents for Food* (pp. 169-179). London, Blackie Academic & Professional.
- Turchiuli, C., Fuchs, M., Bohin, M., Cuvelier, E., Ordonnaud, C., Peyrat-Maillard, M. N., and Dumoulin, E. (2005). Oil encapsulation by spray drying and fluidised bed agglomeration. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6, 29-35.
- Tye, R. J. (1991). Konjac flour: properties and applications. *Food Technology*, 45(3), 86-92.
- Uivarosi, V., Barbuceanu, S. F., Aldea, V., Arama, C. C., Badea, M., Olar, R., and Marinescu, D. (2010). Synthesis, spectral and thermal studies of new rutin vanadyl complexes. *Molecules*, 15(3), 1578-1589.
- Uma, D. B., Ho, C. W., and Wan Aida, W. M. (2010). Optimization of extraction parameters of total phenolic compounds from Henna (*Lawsonia inermis*) Leaves. *Sains Malaysiana*, 39(1), 119-128.
- Valacchi, G., Pagnin, E., Corbacho, A. M., Olano, E., Davis, P. A., Packer, L., and Cross, C. E. (2004). In vivo ozone exposure induces antioxidant/stress-related responses in murine lung and skin. *Free Radical Biology and Medicine*, 36(5), 673-681.

- Vinson, J. A., Dabbagh, Y. A., Serry, M. M., and Jang, J. (1995). Plant Flavonoids, Especially Tea Flavonols, Are Powerful Antioxidants Using an in Vitro Oxidation Model for Heart Disease. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(11), 2800-2802.
- Wang, X., Jiang, Y., and Huang, Q. (2007). Encapsulation Technologies for Preserving and Controlling the Release of Enzymes and Phytochemicals *Encapsulation and Controlled Release Technologies in Food Systems* (pp. 135-147): Blackwell Publishing.
- Waterhouse, A. (2005). *Determination of total phenolics*. (R. E. Wrolstad, et al. Eds.): Handbook of Food Analytical Chemistry: v.2. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Williams, M. A. K., Foster, T. J., Martin, D. R., Norton, I. T., Yoshimura, M., and Nishinari, K. (2000). A Molecular Description of the Gelation Mechanism of Konjac Mannan. *Biomacromolecules*, 1(3), 440-450.
- Wong, C., Li, H., Cheng, K., and Chen, F. (2006). A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay. *Food Chemistry*, 97(4), 705-711.
- Wu, C., Chen, F., Wang, X., Kim, H., He, G., Haley-Zitlin, V., and Huang, G. (2006). Antioxidant constituents in feverfew (*Tanacetum parthenium*) extract and their chromatographic quantification. *Food Chemistry*, 96(2), 220-227.
- Yang, J., Xiao, J.-x., and Ding, L.-z. (2009). An investigation into the application of konjac glucomannan as a flavor encapsulant. *European Food Research and Technology*, 229(3), 467-474.
- Yasumoto, K., and Mitsuda, H. (1971). Enzyme-catalyzed evolution of Lenthionine from Lenthinic Acid *Agricultural and Biological Chemistry*, 35, 2072-2080.
- Yilmaz, E., and Karadeniz, F. (2014). Effect of storage on the bioactive compounds and antioxidant activity of quince nectar. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(3), 718-725.
- Zheng, Y., Haworth, I. S., Zuo, Z., Chow, M. S., and Chow, A. H. (2005). Physicochemical and structural characterization of quercetin-beta-cyclodextrin complexes. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 94(5), 1079-1089.
- กฤษณา รักรัษวงศ์, กนกวรรณ พุฒิสกุลวงศ์, สุภาพร สุทธิธรรม, and อุบลรัตน์ สิริภัทรารวรรณ. (2549). ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ชาข้าวหอมมะลิใบหม่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- งามทิพย์ ภู่วโรดม. (2550). การบรรจุอาหาร (*Food Packaging*). โรงพิมพ์บริษัท เอส.พี.เอ็ม. การพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ ฯ.

- จิราภรณ์ สอนจิตร. (2537). วารสาร สกว สถาบันค้นคว้าและพัฒนากระบวนการเกษตรในเขตวิกฤต, 1(4), 7-9.
- ตรีเพชร กาญจนภูมิ. (2552). เคมีของสมุนไพร : การหาโครงสร้างเคมีของสารแอโรแมติกไกลโคไซด์ด้วย นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- นฤชยา โพธิ์เทศ. (2552). การใช้ไมโครแคปซูลกลุ่มคาร์โบไฮเดรตกักเก็บกลิ่นรสจากสมุนไพร โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบฉีดพ่นเป็นละอองฝอย เพื่อปรับปรุงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบจากข้าวกล้องเริ่มงอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นุศติยา วีระวัจนชัย และระวีวรรณ แก้วอมตวงศ์. (2555). ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและฤทธิ์ยับยั้งไทโรซิเนสของพลาโวนอยด์จากกระดังงาจีน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัย อุบลราชธานี, 14(1), 23-29.
- ประศาสตร์ พุทธะกุล. (2545). การพัฒนากรรมวิธีการผลิตมะนาวผงและทดสอบคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ปุ่น คงเจริญเกียรติ และสมพร คงเจริญเกียรติ. (2541). บรรจุภัณฑ์อาหาร. โรงพิมพ์หทัยเฮง จำกัด, กรุงเทพฯ.
- พรเทพ เมฆารักษ์ภิญโญ. (2537). ผลของการทำแห้งแบบเยือกแข็งและแบบพ่นฝอยต่อโยเกิร์ตพร้อมดื่มผง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พรหทัย กันแก้ว. (2555). ประโยชน์จากไกลโคไซด์. *Info metrology*, 14(89), 10-15.
- ไมตรี สุทธิจิตต์. (2555). อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ. คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา ร่วมกับ สมาคมเพื่อการวิจัยอนุมูลอิสระไทย, สำนักพิมพ์นวัตกรรมสุขภาพ, เชียงใหม่.
- รัตติยา สำราญสกุล. (2544). ปริมาณสารโพลีฟีนอลและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันโดยรวมของใบหม่อนและชาใบหม่อนจากบางแหล่งในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาอาหารเคมีและเภสัชศาสตร์ทางการแพทย์ ภาควิชาอาหารเคมี คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. (2548). การประเมินอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะเร่ง. Paper presented at the Safety Priorities and Food Technology, กรุงเทพฯ.
- วรัญญา ปานเกตุ. (2554). การทำไมโครแคปซูลของสารสกัดจากมะกรูดโดยการทำให้แห้งแบบพ่นฝอยสำหรับต้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์พลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ส่งเสริมการเกษตร, ก. (2532). เอกสารวิชาการหม่อนไหม: โรงพิมพ์ชุมนุม สหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- สุนทรี วราอุบล. (2537). การทำแห้งมะนาวแบบเยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- อนุวัตร แจ่มชัด และฐิติยา รัตน์ไตรภพ. (2544). การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษามังคุด. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อมรรัตน์ ตั้งสกุล. (2550). การผลิตสารปรุงแต่งกลิ่นรส จากโอลีโอเรซินหอมหัวใหญ่ชนิดผง โดยการเอน  
แคปซูลแข็ง. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- อัมพวา กันยารอง. (2550). การหาอายุการกักเก็บข้าวโพดหวานกระป๋องด้วยเทคนิคเคมีไฟฟ้าและ  
เทคนิคทางเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร  
เหนือ.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



ภาคผนวก ก.

วิธีวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ก.1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก (ดัดแปลงจากวิธีของ Waterhouse (2005))

#### สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid)

ชั่งสารกรดแกลลิก (gallic acid) 0.5 กรัม ละลายในเอทานอล 99.9% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำ นำสารละลายดังกล่าวมา 1, 2, 5, 7.5, 10 และ 15 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร ดังนั้นจะได้สารมาตรฐานเข้มข้น 50, 100, 250, 375, 500 และ 750 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสได้นาน 2 สัปดาห์

2. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

เตรียมโดยชั่งสารโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 200 กรัม ละลายน้ำ 800 มิลลิลิตร กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman no.1 และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร เก็บที่อุณหภูมิห้อง

#### วิธีวิเคราะห์

ปิเปตตัวอย่าง, สารมาตรฐานกรดแกลลิก (gallic acid), หรือน้ำกลั่น 0.1 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 7.9 มิลลิลิตร ตามด้วยสาร Folin-ciocalteu 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่อง vortex mixer และบ่มเป็นเวลา 5 นาที หลังจากนั้นเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 1.5 มิลลิลิตร และเก็บไว้ในที่มืด สภาวะอุณหภูมิห้องนาน 30 นาที เมื่อครบ 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

ก.2 ปริมาณของสารฟลาโวนอยด์ กลุ่มรูติน (rutin) และเคอควิซิน (quercetin) ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) และชนิดของสารด้วยเทคนิค LC-MS (ดัดแปลงจากวิธีของ Katsube et al. (2006))

---

Operating condition of HPLC

---

Column	Inertsil -ODS-3 (250 x 4.6 mm ;5 $\mu$ m)
Column temperature	35 °C
Injection volumn	20 $\mu$ L
Mobile phase	1% Acetic : Acetonitrile (80 : 20)
Flow rate	0.8 mL/min
Detector	Diode Array Detector (DAD)

---

Operating condition of LC-MS

---

Ion Source Type	ESI
Ion Polarity	Positive
Alternating Ion Polarity	Off
Mass Range Mode	UltraScan
Scan Begin	100 m/z
Scan End	1000 m/z
Capillary Exit	140.0 V
Trap Drive	44.5
Accumulation Time	245 $\mu$ s
Average	5 Spectra
Auto MS/MS	On

---



ก.3 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี Ferric Reducing Antioxidant Power assay (FRAP)  
(ดัดแปลงจากวิธีของ Benzie and Strain (1996))

สารเคมี

1. เตรียม acetate buffer pH 3.6 โดยชั่งสารโซเดียมอะซิเตท (sodium acetate) 0.31 กรัม ละลายในกรดอะซิติก (acetic acid) 1.6 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลาย 40 mM HCl โดยปิเปตสารไฮโดรคลอริก (HCl) 37% 0.15 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร
3. เตรียมสารละลาย 10 mM TPTZ โดยชั่ง TPTZ 0.031 กรัม ละลายในสารละลาย 40 mM HCl 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
4. เตรียม 20 mM FeCl<sub>3</sub> โดยชั่งสาร FeCl<sub>3</sub> • 6H<sub>2</sub>O 0.054 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร
5. เตรียมสารละลาย FRAP โดยผสมสารละลาย acetate buffer pH 3.6 100 มิลลิลิตร, 10 mM TPTZ 10 มิลลิลิตร, และ 20 mM FeCl<sub>3</sub> 10 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 10 : 1 : 1)
6. เตรียมสารมาตรฐานโทลอกซ์ (Trolox) ความเข้มข้น 0-140 µM โดยเตรียม Trolox ความเข้มข้น 500 µM โดยชั่ง Trolox 0.0031 กรัม ละลายใน ethanol 100% 25 ml
  - เตรียม Trolox ความเข้มข้น 140 µM โดยปิเปต Trolox 500 µM 0.14 ml ผสมน้ำกลั่น 0.36 ml
  - เตรียม Trolox ความเข้มข้น 120 µM โดยปิเปต Trolox 500 µM 0.12 ml ผสมน้ำกลั่น 0.38 ml
  - เตรียม Trolox ความเข้มข้น 100 µM โดยปิเปต Trolox 500 µM 0.1 ml ผสมน้ำกลั่น 0.4 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 80  $\mu\text{M}$  โดยปิเปต Trolox 100  $\mu\text{M}$  0.4 ml ผสมน้ำกลั่น 0.1 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 60  $\mu\text{M}$  โดยปิเปต Trolox 100  $\mu\text{M}$  0.3 ml ผสมน้ำกลั่น 0.2 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 40  $\mu\text{M}$  โดยปิเปต Trolox 100  $\mu\text{M}$  0.2 ml ผสมน้ำกลั่น 0.3 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 20  $\mu\text{M}$  โดยปิเปต Trolox 100  $\mu\text{M}$  0.1 ml ผสมน้ำกลั่น 0.4 ml

หมายเหตุ : สารละลาย FRAP ต้องอุ่นใน water bath ที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาทีก่อนนำมาใช้

#### วิธีวิเคราะห์

- สำหรับสารสกัดจากใบหม่อน

ปิเปตตัวอย่าง, สารมาตรฐานโทลอกซ์ (Trolox), หรือน้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย FRAP 7.5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

- สำหรับไมโครแคปซูล

นำไมโครแคปซูล 0.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมด้วย vortex mixer นาน 3 นาที นำตัวอย่างที่ได้ใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 4000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที แล้วนำส่วนใส 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย FRAP 7.5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

ก.4 ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH radical-scavenging activity (ดัดแปลงจากวิธีของ Brand-Williams, Cuvelier, and Berset (1995))

สารเคมี

1. เตรียมสารละลาย 0.1mM DPPH โดยชั่ง DPPH 0.0197 กรัม ละลายใน 95% ethanol 500 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารมาตรฐานโทลอกซ์ (Trolox) ความเข้มข้น 0-140  $\mu$ M โดยเตรียม Trolox ความเข้มข้น 500  $\mu$ M โดยชั่ง Trolox 0.0031 กรัม ละลายใน ethanol 100% 25 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 140  $\mu$ M โดยปิเปต Trolox 500  $\mu$ M 0.14 ml ผสมน้ำกลั่น 0.36 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 120  $\mu$ M โดยปิเปต Trolox 500  $\mu$ M 0.12 ml ผสมน้ำกลั่น 0.38 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 100  $\mu$ M โดยปิเปต Trolox 500  $\mu$ M 0.1 ml ผสมน้ำกลั่น 0.4 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 80  $\mu$ M โดยปิเปต Trolox 100  $\mu$ M 0.4 ml ผสมน้ำกลั่น 0.1 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 60  $\mu$ M โดยปิเปต Trolox 100  $\mu$ M 0.3 ml ผสมน้ำกลั่น 0.2 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 40  $\mu$ M โดยปิเปต Trolox 100  $\mu$ M 0.2 ml ผสมน้ำกลั่น 0.3 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 20  $\mu$ M โดยปิเปต Trolox 100  $\mu$ M 0.1 ml ผสมน้ำกลั่น 0.4 ml

### วิธีวิเคราะห์

- สำหรับสารสกัดจากใบหม่อน

ปิเปตตัวอย่าง, สารมาตรฐานโทลอกซ์ (Trolox), หรือ 95% เอทานอล 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.1 mM DPPH 5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาค่า DPPH Radical Scavenging (%)

- สำหรับไมโครแคปซูล

นำไมโครแคปซูล 0.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมด้วย vortex mixer นาน 3 นาที นำตัวอย่างที่ได้ใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 4000 รอบต่อนาที นาน 20 นาที แล้วนำส่วนใส 0.5 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 0.1 mM DPPH 5 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาค่า DPPH Radical Scavenging (%)

$$\text{DPPH Radical Scavenging (\%)} = \frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \times 100$$

$$A_{\text{control}} = \text{ค่าการดูดกลืนแสงของสาร 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)}$$

$$A_{\text{sample}} = \text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง}$$

ก.5 ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

นำไมโครแคปซูลโรยลงบนเทปขาวสองหน้า ซึ่งอีกด้านหนึ่งติดอยู่กับแท่งโลหะทองเหลือง แล้วนำไปเคลือบทองด้วยเครื่องเคลือบทอง หลังจากนั้นส่องดูลักษณะรูปร่างภายนอกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) โดยวิเคราะห์ที่ 15 kv acceleration voltage

ก.6 ความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูล (water solubility index, WSI) (ดัดแปลงจากวิธีของ Ahmed et al. (2010))

ชั่งไมโครแคปซูล 0.2 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 กรัม แล้วเขย่าด้วยเครื่อง vortex mixer นาน 3 นาที นำตัวอย่างที่ได้ไปใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ที่ 4000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที หลังจากนั้นเทส่วนใสด้านบนของตัวอย่างลงในถ้วยอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ โดยทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นก่อนนำไปชั่ง บันทึกน้ำหนักของของแข็งแห้งที่ได้ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าการละลาย ดังสมการนี้

$$\text{Water solubility index (WSI)} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งในส่วนใส}}{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด (เริ่มต้น)}} \times 100$$

ก.7 ค่าความชื้น (Horwitz, 2006)

ชั่งตัวอย่าง 0.2 กรัมใส่ลงในถ้วยอลูมิเนียมซึ่งผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน หลังจากนั้นนำถ้วยอลูมิเนียมซึ่งบรรจุตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ โดยทิ้งให้เย็นก่อนในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักที่ได้หลังผ่านการอบ และคำนวณหาค่าความชื้น ดังสมการนี้

$$\text{ร้อยละความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนผ่านการอบแห้ง} - \text{น้ำหนักของตัวอย่างหลังผ่านการอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนผ่านการอบแห้ง}} \times 100$$

### ก.8 อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนที่อุณหภูมิต่างๆ

นำฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆมาพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์การต้านออกซิเดชันกับระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยใช้เกณฑ์การหมดอายุจากฤทธิ์การต้านออกซิเดชันลดลง 50% ของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันเริ่มต้น จากนั้นสร้างสมการเส้นตรงและคำนวณหาอายุการเก็บรักษา

ตัวอย่างวิธีการคำนวณอายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซึ่งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

กำหนดให้ ค่า  $x$  คือ อายุการเก็บรักษา (วัน)

ค่า  $y$  คือ ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่ใช้เป็นเกณฑ์หมดอายุของไมโครแคปซูล

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 1 ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

$$\text{ครั้งที่ 1; สมการ } y_1 = 6053.1 - 37.141x_1 \quad ; r^2 = 0.9916$$

$$\text{แทนค่า } 6167.54 / 2 = 6053.1 - 37.141x_1$$

$$x_1 = ((6167.54 / 2) - 6053.1) / (-37.141)$$

$$x_1 = 79.9$$

$$\text{ครั้งที่ 2; สมการ } y_2 = 6067.4 - 37.877x_2 \quad ; r^2 = 0.9962$$

$$\text{แทนค่า } 6167.54 / 2 = 6067.4 - 37.877x_2$$

$$x_2 = ((6167.54 / 2) - 6067.4) / (-37.877)$$

$$x_2 = 78.8$$

$$\text{ครั้งที่ 3; สมการ } y_3 = 6142.4 - 38.759x_3 \quad ; r^2 = 0.9939$$

$$\text{แทนค่า } 6167.54 / 2 = 6142.4 - 38.759x_3$$

$$x_3 = ((6167.54 / 2) - 6142.4) / (-38.759)$$

$$\begin{aligned}
 x_3 &= 78.9 \\
 \text{ครั้งที่ 1; สมการ } \bar{x}_1 &= \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \\
 \bar{x}_1 &= \frac{79.9 + 78.8 + 78.9}{3} \\
 \bar{x}_1 &= 79.2
 \end{aligned}$$

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ครั้งที่ 1 ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บ 79 วัน

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ครั้งที่ 2 ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

$$\begin{aligned}
 \text{ครั้งที่ 1; สมการ } y_1 &= 6127.3 - 38.265x_1 \quad ; r^2 = 0.9854 \\
 \text{แทนค่า } 6176.09 / 2 &= 6127.3 - 38.265x_1 \\
 x_1 &= ((6176.09 / 2) - 6127.3) / (-38.265) \\
 x_1 &= 79.4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ครั้งที่ 2; สมการ } y_2 &= 6061.3 - 37.514x_2 \quad ; r^2 = 0.985 \\
 \text{แทนค่า } 6176.09 / 2 &= 6061.3 - 37.514x_2 \\
 x_2 &= ((6176.09 / 2) - 6061.3) / (-37.514) \\
 x_2 &= 79.3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ครั้งที่ 3; สมการ } y_3 &= 6098.8 - 37.864x_3 \quad ; r^2 = 0.9826 \\
 \text{แทนค่า } 6176.09 / 2 &= 6098.8 - 37.864x_3 \\
 x_3 &= ((6176.09 / 2) - 6098.8) / (-37.864) \\
 x_3 &= 79.5
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ซ้ำที่ 2; } \quad \text{สมการ} \quad \bar{x}_2 &= \frac{x_1 + x_2 + x_3}{3} \\ &= \frac{79.4 + 79.3 + 79.5}{3} \\ &= 79.4 \end{aligned}$$

อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 2 ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บ 79 วัน

$$\begin{aligned} \text{สมการ} \quad \bar{x} &= \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2}{2} \\ &= \frac{79.2 + 79.4}{2} \\ &= 79.3 \end{aligned}$$

ดังนั้นอายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล ซ้ำที่ 2 ซึ่งศึกษาฤทธิ์การต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บ 79 วัน

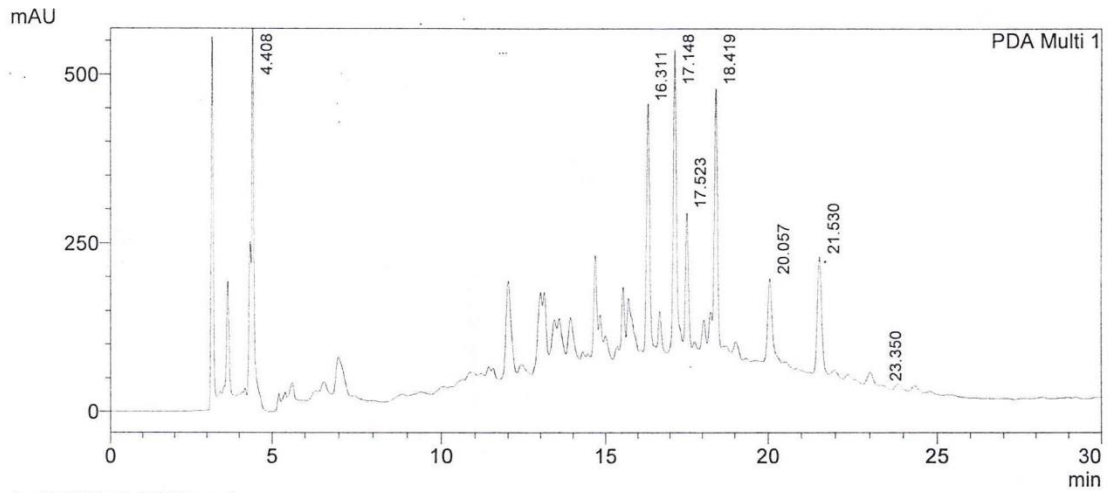




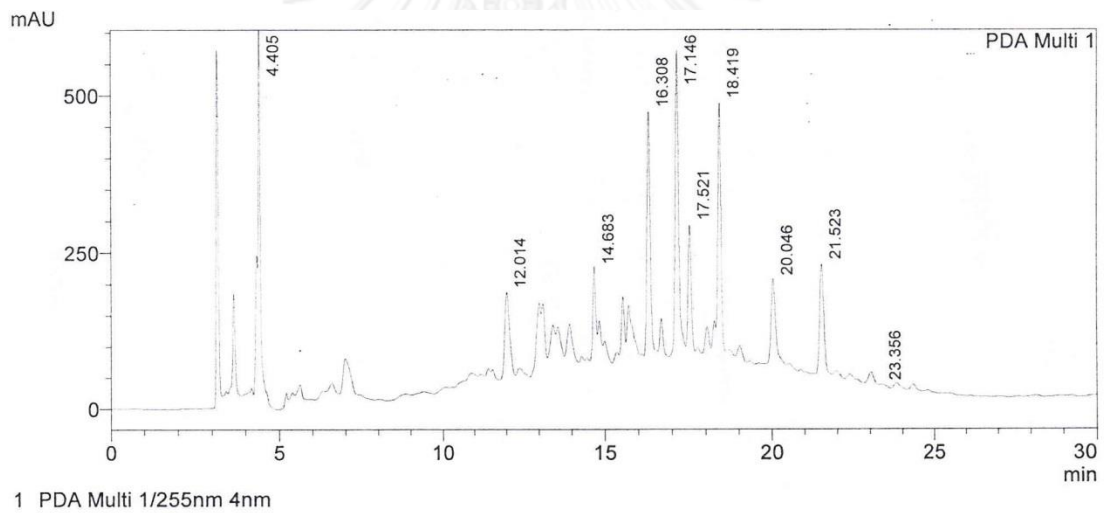
ภาคผนวก ข.

ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม

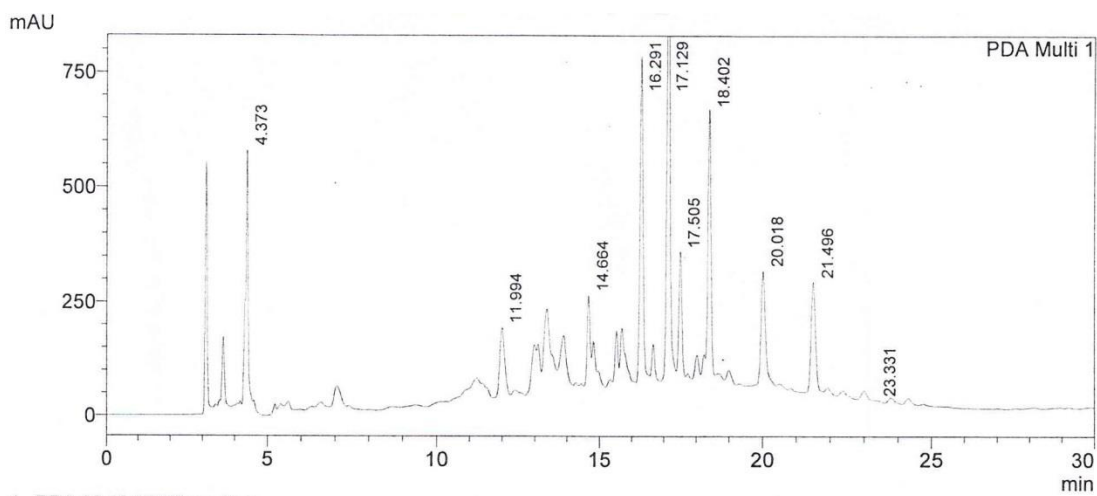
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาพที่ ข.1 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 50% (v/v)

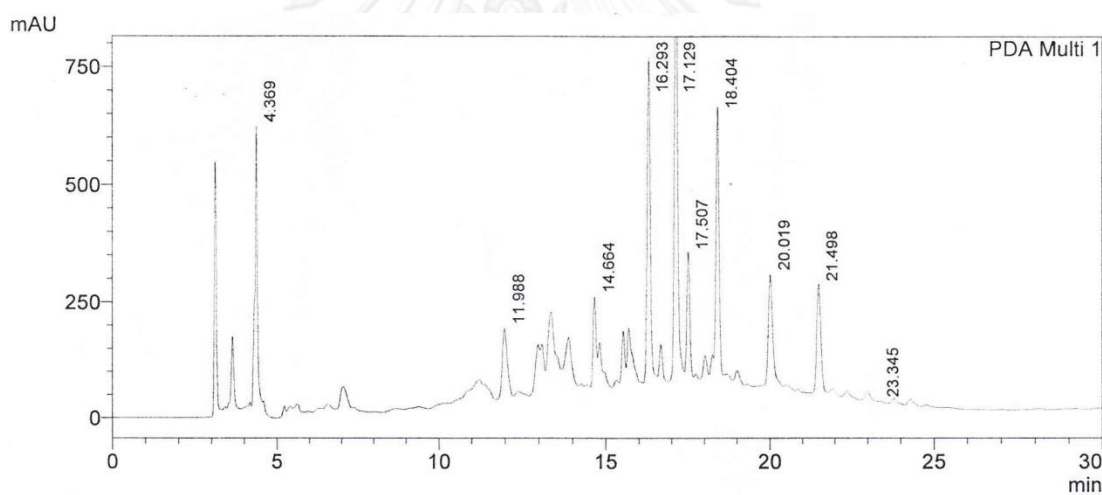


ภาพที่ ข.1 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 50% (v/v)



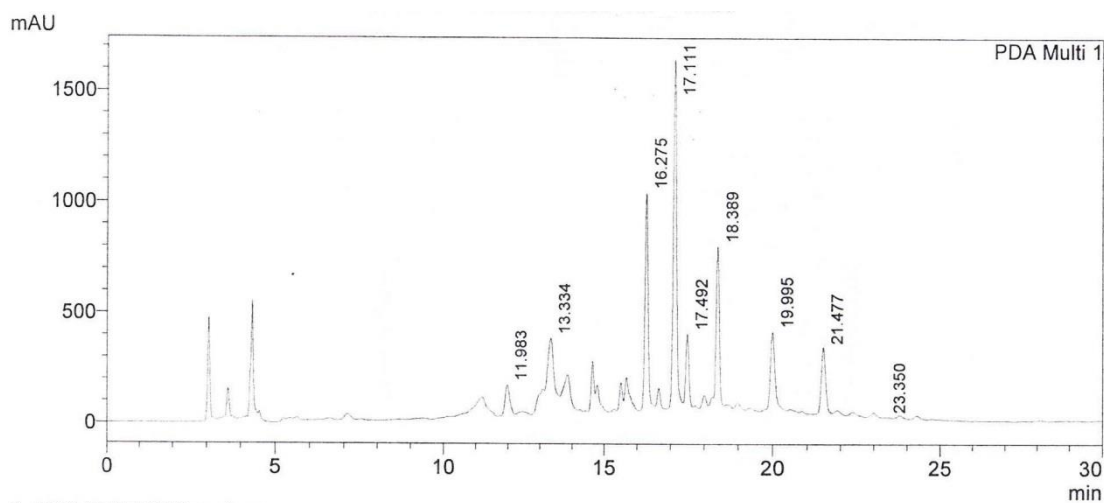
1 PDA Multi 1/255nm 4nm

ภาพที่ ข.2 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 60% (v/v)

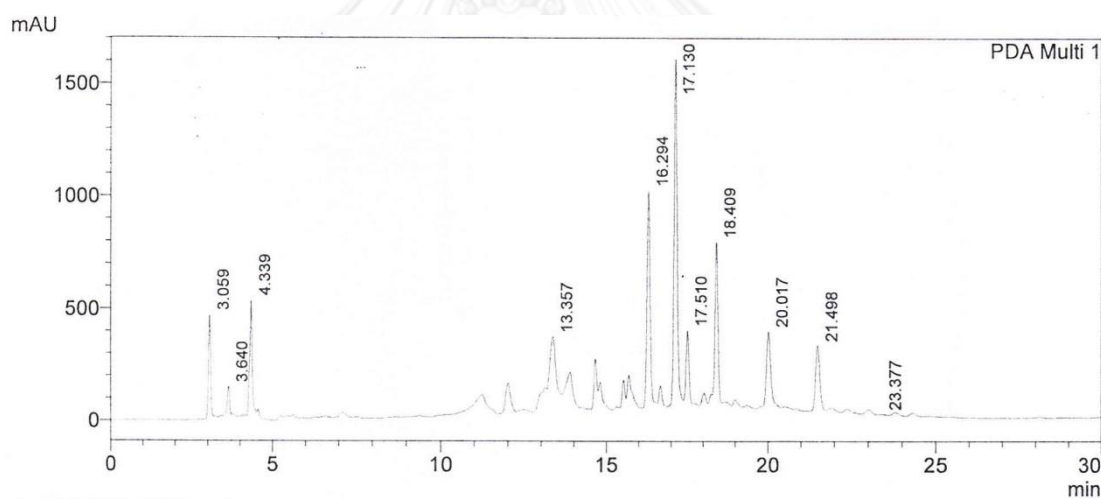


1 PDA Multi 1/255nm 4nm

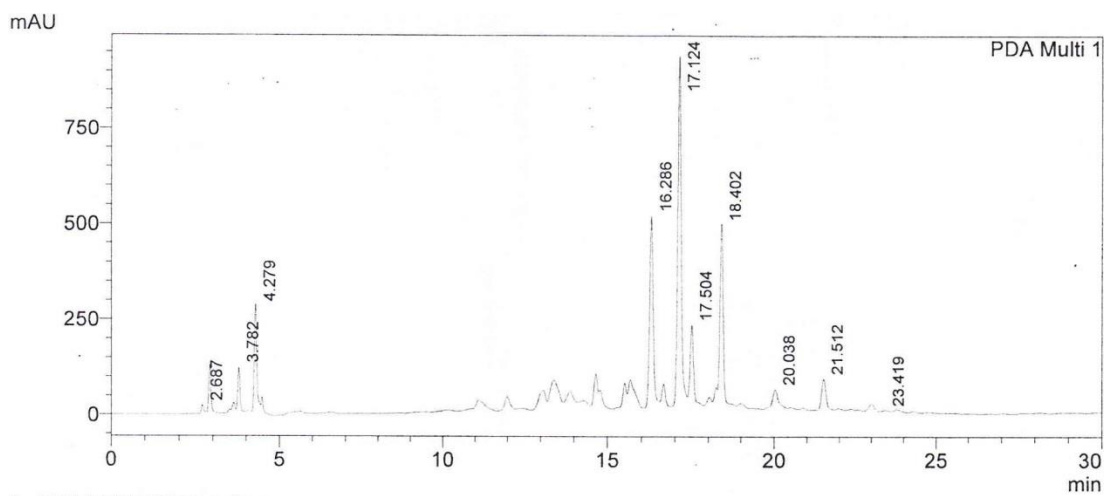
ภาพที่ ข.2 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 60% (v/v)



ภาพที่ ข.3 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 70% (v/v)

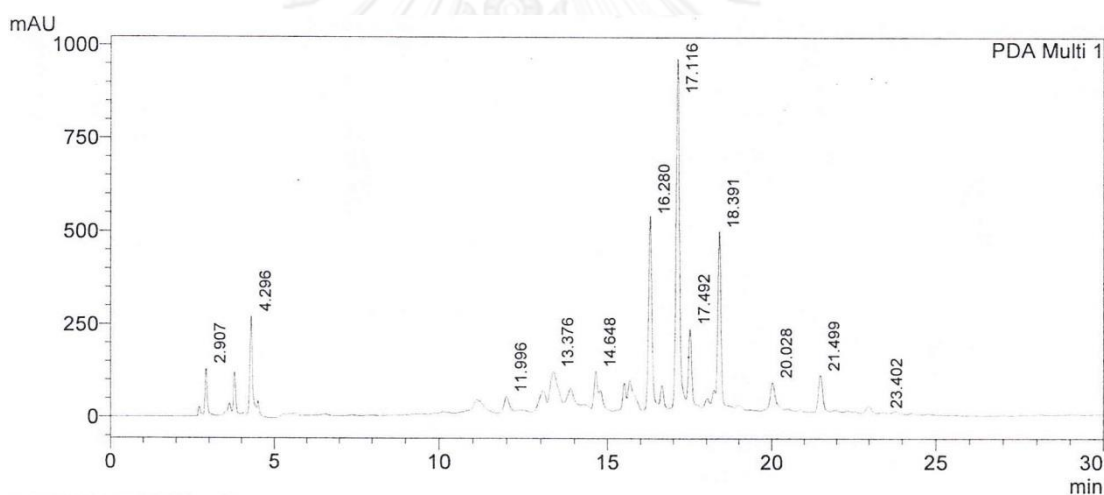


ภาพที่ ข.3 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 70% (v/v)



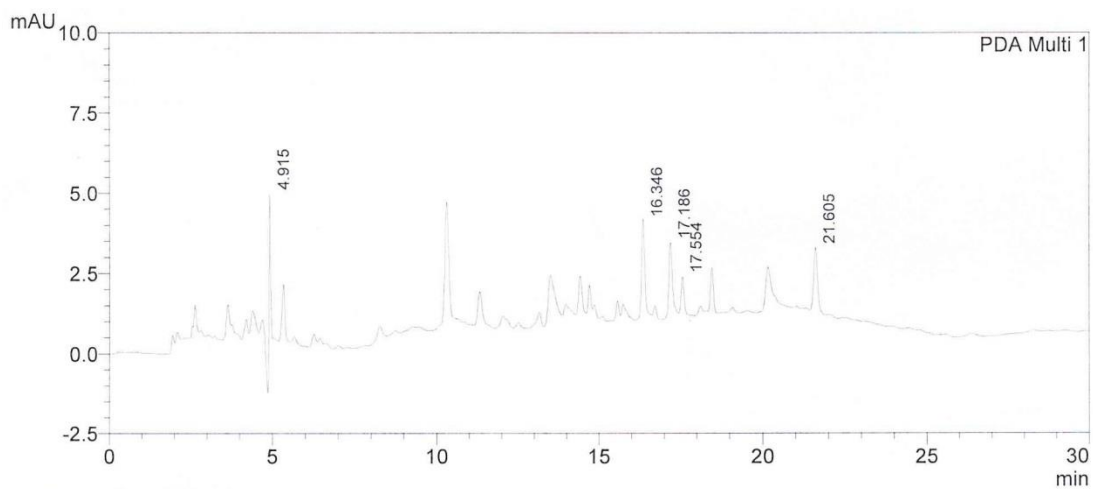
1 PDA Multi 1/255nm 4nm

ภาพที่ ข.4 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v)



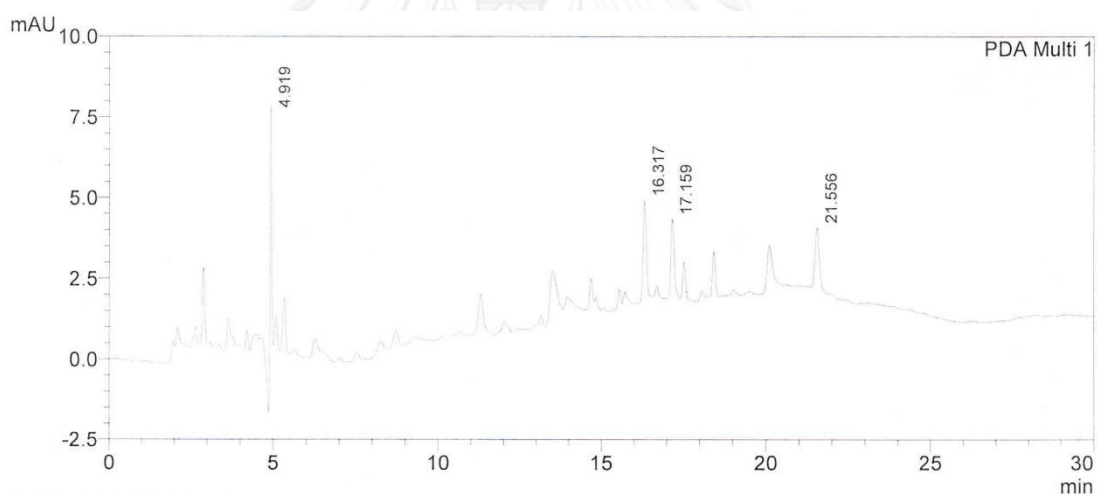
1 PDA Multi 1/255nm 4nm

ภาพที่ ข.4 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการสกัดใบหม่อนด้วยเอทานอลความเข้มข้น 95% (v/v)



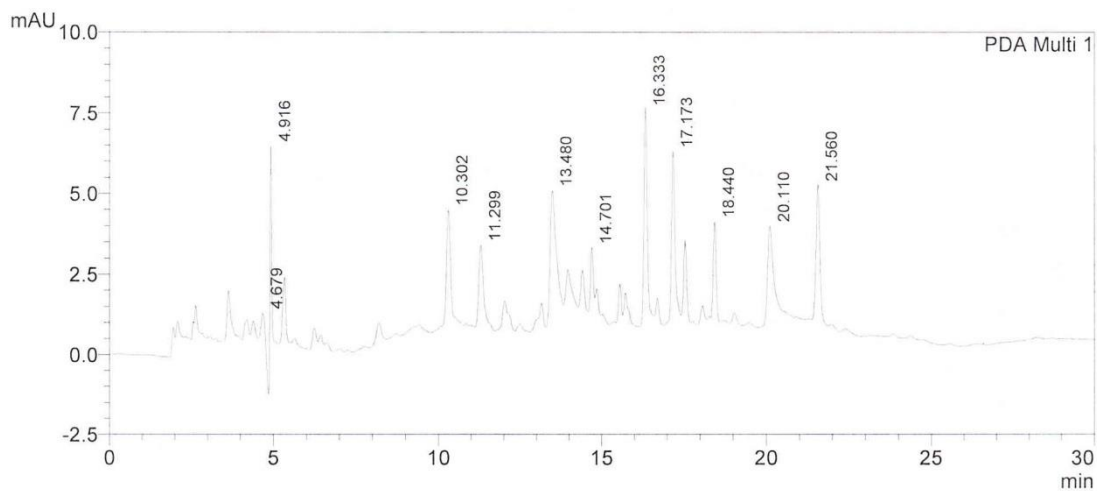
1 PDA Multi 1/255nm 4nm

ภาพที่ ข.5 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 15% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส



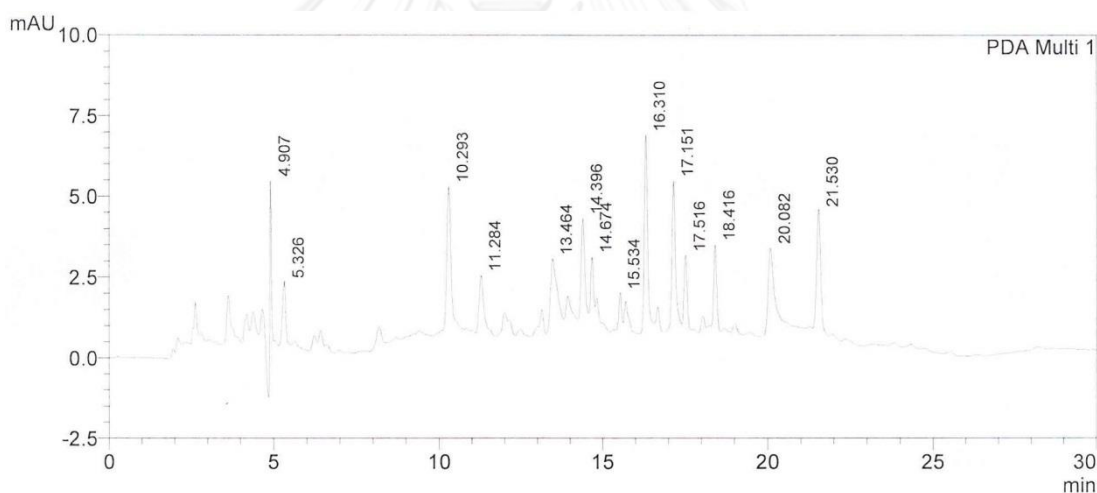
1 PDA Multi 1/255nm 4nm

ภาพที่ ข.5 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 15% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส



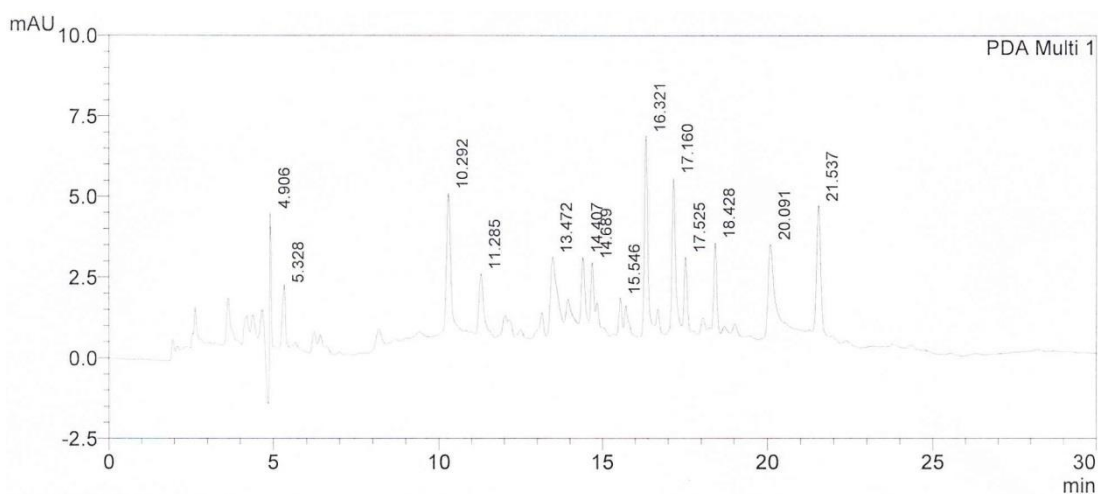
1 PDA Multi 1/255nm 4nm

ภาพที่ ข.6 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส

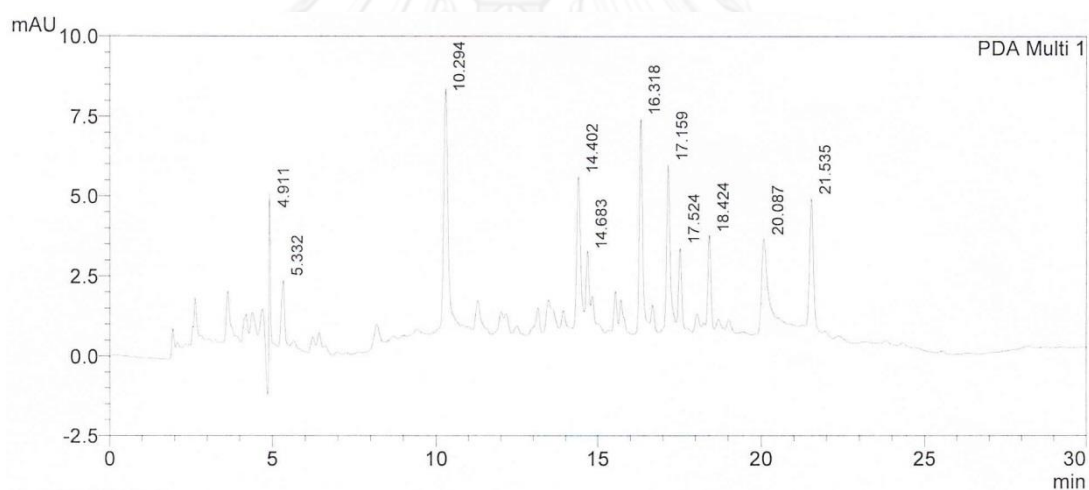


1 PDA Multi 1/255nm 4nm

ภาพที่ ข.6 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส

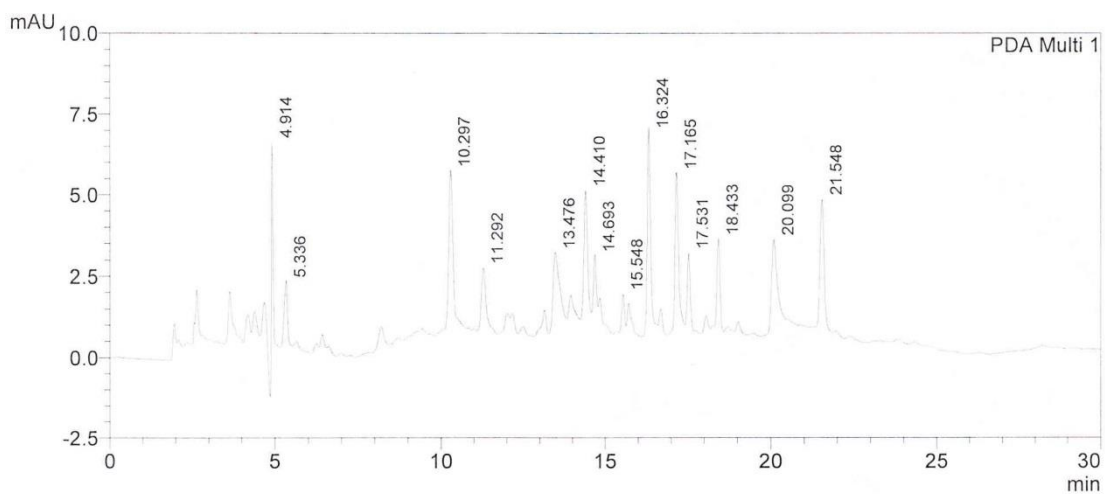


ภาพที่ ข.7 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศเข้า 180 องศาเซลเซียส



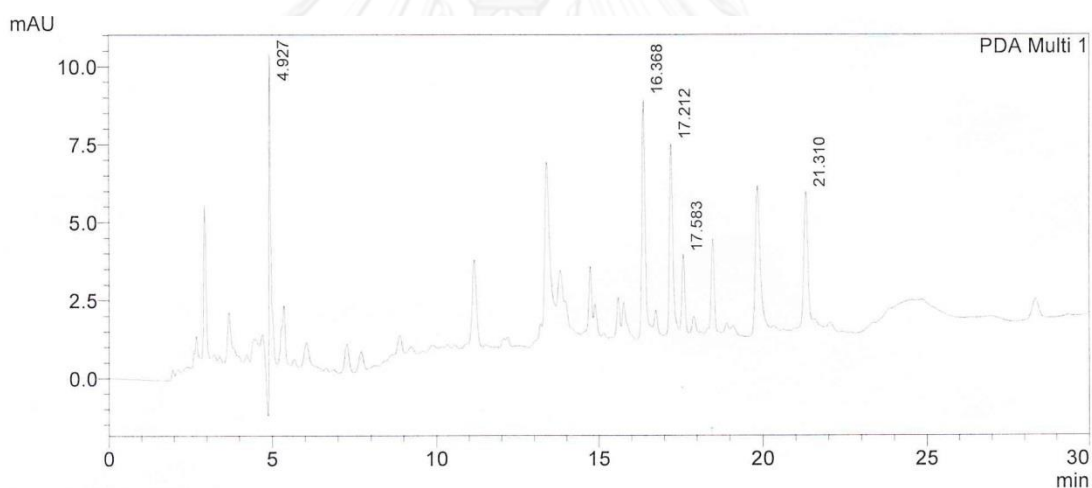
ภาพที่ ข.7 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน 3:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศเข้า 180 องศาเซลเซียส





1 PDA Multi 1/255nm 4nm

ภาพที่ ข.8 ก โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน 5:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศเข้า 180 องศาเซลเซียส



1 PDA Multi 1/255nm 4nm

ภาพที่ ข.8 ข โครมาโทแกรมของสารสำคัญต่างๆที่ได้จากการละลายไมโครแคปซูลของสารสกัดจากใบหม่อน เมื่ออัตราส่วนของสารเคลือบผงบุกและมอลโตเดกซ์ทริน 5:1 ปริมาณสารสกัดต่อสารเคลือบ 30% และอุณหภูมิอากาศเข้า 180 องศาเซลเซียส



ภาคผนวก ค.  
การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP และ DPPH ของสารสกัดจากใบหม่อนที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอลต่างๆ

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
TPC	Between Groups	12987.219	3	4329.073	155.918	.000
	Within Groups	111.060	4	27.765		
	Total	13098.279	7			
FRAP	Between Groups	1890.351	3	630.117	105.519	.000
	Within Groups	23.886	4	5.972		
	Total	1914.238	7			
DPPH	Between Groups	9.322	3	3.107	8.322	.034
	Within Groups	1.493	4	.373		
	Total	10.815	7			

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณสารรูตินและเคอควิซินของสารสกัดจากใบหม่อนที่ระดับความเข้มข้นของเอทานอลต่างๆ ซึ่งได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค HPLC

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
rutin	Between Groups	8076.154	3	2692.051	809.755	.000
	Within Groups	13.298	4	3.325		
	Total	8089.453	7			
quercetin	Between Groups	.014	3	.005	27.238	.004
	Within Groups	.001	4	.000		
	Total	.015	7			

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของความสามารถในการละลาย ความชื้น และฤทธิ์การต้านออกซิเดชันซึ่งศึกษาด้วยวิธี FRAP และ DPPH ของไมโครแคปซูลที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอุณหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอย

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
ค่าการละลาย	Between Groups	46.470	8	5.809	.870	.573
	Within Groups	60.108	9	6.679		
	Total	106.578	17			
ความชื้น	Between Groups	.145	8	.018	.436	.872
	Within Groups	.374	9	.042		
	Total	.519	17			
FRAP	Between Groups	21281471.129	8	2660183.891	114.620	.000
	Within Groups	208878.653	9	23208.739		
	Total	21490349.782	17			
DPPH	Between Groups	33150.664	8	4143.833	43.769	.000
	Within Groups	852.081	9	94.676		
	Total	34002.745	17			

ตารางที่ ค.4 ปริมาณสารรูตินของไม้โครแคปซูลที่อัตราส่วนของผงบุกต่อมอลโตเดกซ์ทริน ปริมาณสารสกัดจากใบหม่อนต่อปริมาณสารเคลือบ และอุณหภูมิอากาศขาเข้าในการอบแห้งแบบพ่นฝอยต่างๆ ซึ่งได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค HPLC

## ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.526	3	.175	52.568	.001
Within Groups	.013	4	.003		
Total	.540	7			



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนันท์นิตย์ สุรพันธุ์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนมาแตร์เดอีวิทยาลัย และระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยม สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร จากภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2554

นำเสนอผลงานทางวิชาการ แบบโปสเตอร์ เรื่อง PRODUCTION OF ANTIOXIDATION POWDER FROM MULBERRY *Morus alba* L. LEAF EXTRACT ในการประชุมวิชาการ The International Symposium on Agri-Foods for Health and Wealth (AFHW2013) ระหว่างวันที่ 5-6 สิงหาคม 2556 ที่โรงแรมโกลเด้นทิวลิป ซอฟเฟอริน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY