ไมโครเอนแคปซูเลชันของสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

น.ส.อัญธิดา จันทร์ตรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MICROENCAPSULATION OF SUNFLOWER SPROUT EXTRACT BY SPRAY DRYING

Miss Anthida Chantri

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Food Technology
Department of Food Technology
FACULTY OF SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ไมโครเอนแคปซูเลชันของสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย
โดย	น.ส.อัญธิดา จันทร์ตรี
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พนิตา งามเชื้อชิต)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภอรรจ ศิริกันทรมาศ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติพงษ์ รัตนาภรณ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อัญธิดา จันทร์ตรี : ไมโครเอนแคปซูเลชันของสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย. (MICROENCAPSULATION OF SUNFLOWER SPROUT EXTRACT BY SPRAY DRYING) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้ม และสภาวะในการทำแห้งที่เหมาะสมในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกจากสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) ด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) และศึกษาเสถียรภาพในระหว่างการเก็บรักษาของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน เป็นเวลา 60 วัน วางแผนการทดลองแบบ Mixture design กำหนดปัจจัยที่ทำการศึกษาแบบไม่กำหนดช่วง (Simplex centroid model) แปรอัตราส่วนของสารห่อหุ้ม 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrin, MD) กัมอารบิก (Gum Arabic, GA) และบุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท (Konjac glucomannan. KGMH) ได้อัตราส่วนของสารผสม 7 สูตร กำหนดให้สารสกัดต้นอ่อนทานตะวันทุกสูตร มีความเข้มข้นเท่ากับ 1 % อัตราส่วนระหว่างสารสกัดต่อสารห่อหุ้ม คือ 1:3 กำหนดให้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าคงที่เป็น 160 °C และอุณหภูมิลมร้อนขาออกเป็น 90±5 °C โดยกำหนดอัตราการไหลให้อยู่ระหว่าง 14-16 mL/min พบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผลิตโดยใช้ KGMH อัตราส่วน100% (สูตรที่ 3) มีประสิทธิภาพในการห่อหุ้มและกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกจากสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรอื่น ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระพบว่าสูตรดังกล่าวมีค่าที่ตรวจวัดได้ด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และ Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) สูงที่สุดด้วย ($p \leq 0.05$) เมื่อศึกษาโครงสร้างพื้นผิวภายนอกของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้ KGMH เป็นสารห่อหุ้มมีรูปร่างเป็นทรงกลม ผิวเรียบ และไม่มีรอยบุบหรือแตกบริเวณพื้นผิวเมื่อเทียบกับสูตรอื่นๆ ซึ่งอาจบ่งชี้ถึงคุณลักษณะของไมโครแคปซูลที่เหมาะสมที่ผลิตได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการทดลองนี้ จึงคัดเลือกไมโครแคปซูลสูตรดังกล่าวไปศึกษาสภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อในการทดลองถัดไป โดยแปรอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 3 ระดับ ได้แก่ 150 °C 170 °C และ 180 °C พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจาก 150 ถึง 170 °C ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระมีค่าเพิ่มขึ้นกว่าสูตรที่ใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเป็น 180 °C อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า คือ 180 °C มีค่าปริมาณกรดคาฟีโออิลควินิก (Caffeoylquinic acid) สูงที่สุดกว่าอุณหภูมิอื่นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ายังส่งผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลที่เตรียมได้อีกด้วย อย่างไรก็ดีอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองนี้ คือ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 170 °C ดังนั้นจึงเลือกสูตรนี้ไปศึกษาเสถียรภาพในระหว่างการเก็บรักษาของไมโครแคปซูลดังกล่าวเทียบกับสูตรที่ 1 (MD 100%) ซึ่งใช้เป็นสูตรควบคุม โดยกำหนดอุณหภูมิในการเก็บรักษา 2 ระดับ คือ 35 และ 45 °C พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และกรดคาฟีโออิลควินิกมีค่าลดต่ำลง โดยอายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูลที่อุณหภูมิ 25 °C สามารถเก็บรักษาได้นาน 6 เดือน ดังนั้นจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าการใช้ KGMH 100% เป็นสารห่อหุ้ม และอุณหภูมิในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ 170 °C เป็นภาวะที่มีความเหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน เพื่อให้ได้ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บที่ดี มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และคงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่สูง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6270170423 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEYWORD: Sunflower sprout Microencapsulation Spray drying Phenolic compounds
Anthida Chantri : MICROENCAPSULATION OF SUNFLOWER SPROUT EXTRACT BY SPRAY DRYING. Advisor: Assoc. Prof. CHALEEDA BOROMPICHAICHARTKUL, Ph.D.

The objectives of this research were to study the effects of using different wall materials and suitable drying conditions for encapsulation of phenolic compounds extracted from sunflower sprout (*Helianthus annuus* L.) extract by using spray drying and the stability of sunflower sprout extract microcapsule during storage for 60 days. A mixture design with simplex centroid model was used to optimize the types and ratios of the wall materials. 7 formulations with three components as maltodextrin (MD), gum arabic (GA), konjac glucomannan hydrolysate (KGMH) and their combination were used as wall materials. The concentration of sunflower sprout extract was fixed at 1% (w/w), the ratio of core to wall was fixed at 1:3 and control the inlet air temperate at 160 °C, outlet air temperature at 90±5 °C by adjusting feed rate (14-16 mL/min). The results showed that sunflower sprout extract microcapsule was produced with KGMH as a single wall material (formula 3) exhibited the highest encapsulation efficiency ($p \leq 0.05$). Moreover, the microcapsule shows the highest TPC, 2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) and Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) ($p \leq 0.05$). The surface morphology of microencapsulated powder by the scanning electron microscopy (SEM) indicated that KGMH-powder showed a spherical shape and smooth surface without cracks or holes, which is highly recommended for spray drying microencapsulation. Consequently, sunflower sprout extract microcapsule prepared by KGMH as a wall material was used to study of the spray drying conditions. The inlet air temperature varied between 150 to 180 °C. The results showed that an increase in the inlet air temperatures from 150 to 170 °C led to increase in TPC, DPPH and FRAP while they decrease when the inlet air temperatures at 180 °C. On the other hand, shows the highest of caffeoylquinic acid content. Furthermore, the moisture content, water activity and water solubility index were decreased with an increase on the drying temperature. The obtained powders by KGMH at 170 °C as inlet temperature showed the highest encapsulation efficiency, this formula was select to storage stability test of microcapsule compared with maltodextrin as wall material during storage at the temperature of 35 and 45 °C. From the results, it was found that the moisture content, water activity, color difference (ΔE^*) of all samples tended to increase, while TPC, caffeoylquinic acid content and antioxidant activity by DPPH and FRAP assays decreased with increasing storage time. The shelf life of microcapsule at 25 °C can be kept up to 6 months. This research was concluded that the KGMH can be used as an appropriate wall material in spray drying microencapsulation of sunflower spout extract with retaining phenolic compounds and also to preserve their antioxidant activities.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Food Technology	Student's Signature .....
Academic Year:	2021	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ได้เนื่องจากได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ชาลีดา บรมพิชัยชาติกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้คำแนะนำ และสั่งสอนด้วยความเอาใจใส่ แก้ไขปัญหาและอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาในการทำงานวิจัย จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ไว้ ณ โอกาสนี้ ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พนิตา งามเชื้อชิต รองศาสตราจารย์ ดร. ศุภอรรจ ศิริกันทรมาศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิติพงษ์ รัตนาภรณ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมในการเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังให้คำแนะนำ ความรู้ ความเข้าใจในเรื่องต่างๆ รวมทั้งตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้ความรู้ และคำแนะนำในเรื่องต่างๆ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ศุภอรรจ ศิริกันทรมาศ และภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนตัวอย่างสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน รวมถึงอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านสำหรับการอำนวยความสะดวก การให้คำแนะนำในการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต และพี่ๆ ในหลักสูตรปริญญาดุษฎีบัณฑิตทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ดูแล รวมทั้งให้กำลังใจเพื่อฝ่าฟันอุปสรรคต่าง ๆ ในการทำวิจัย ผู้ทำวิจัยจะไม่สามารถทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ หากไม่มีทุกท่านคอยช่วยเหลือ ขอกราบขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนเสมอมา จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงผ่านไปได้ด้วยดี

อัญธิดา จันทร์ตรี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูปภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่ทำวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์ 3

2.1 ทานตะวัน (Sunflower) 3

2.1.2 ลักษณะของทานตะวัน 3

2.2 ต้นงอก (Sprout) 5

2.2.1 ต้นอ่อนทานตะวัน (Sunflower sprout) 6

2.3 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) 6

2.4 อนุมูลอิสระ (Free radical) 8

2.5 สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant) 9

2.6 ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation) 10

2.7 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) 11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเอนแคปซูเลชันสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย 14
2.8.1. ชนิดและอัตราส่วนของสารเคลือบ 14
2.8.2 สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย 17
2.9 อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ 19
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 21
3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และสารเคมี 21
3.1.1 วัตถุดิบ 21
3.1.2 สารเคมี / อุปกรณ์ 21
3.1.3 เครื่องมือ 22
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย 24
3.2.1 การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย 24
3.2.1.1 การเตรียมสารละลายบุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท 24
3.2.1.2 การเตรียมสารห่อหุ้มที่ใช้ในการกักเก็บสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน 24
3.2.1.3 การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) 25
3.2.2 การศึกษาสภาวะในการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย 26
3.2.3 การศึกษาเสถียรภาพในระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน 27
3.2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ 27
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 28
4.1 ผลการศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย 28
4.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของบุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท 28

4.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของสารห่อหุ้มที่ใช้ในการกักเก็บสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน 28
4.1.3 การศึกษาปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 30
4.1.4 การศึกษาความสามารถในการละลาย ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 31
4.1.5 การศึกษาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 32
4.1.6 การศึกษาค่าสี *L* a* b** ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 34
4.1.7 การศึกษาประสิทธิภาพในการกักเก็บ และร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 35
4.1.8 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 37
4.1.9 การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP (μM trolox equivalent/g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 39
4.1.10 การศึกษาปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิก (mg/g dw) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 41
4.1.11 การศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 42
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย 47
4.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน 54
บทที่5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 70
บรรณานุกรม 72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก 85
ภาคผนวก ก. วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเคมี 86
ก.1 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry 86
ก.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity (DPPH) 87
ก.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) 89
ก.4 ปริมาณกรดคลอโรจีนิกและสารอนุพันธ์กรดคาฟีโออิลควินิก ด้วยเทคนิค HPLC 91
ภาคผนวก ข. วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ 92
ข.1 การวิเคราะห์ค่าความชื้น (% moisture content) 92
ข.2 การวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, aw) 92
ข.3 การวิเคราะห์ค่าสี ระบบ CIE LAB 92
ข.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (water solubility index, WSI) 92
ข.5 การวิเคราะห์ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% encapsulation yield) 93
ข.6 การวิเคราะห์ร้อยละประสิทธิภาพการกักเก็บ (% encapsulation efficiency) 93
ข.7 การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) 94
ข.8 การวิเคราะห์อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) 94
ภาคผนวก ค. ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม 95
ประวัติผู้เขียน 103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2. 1 การจัดจำแนกหมวดหมู่ของทานตะวัน 4

ตารางที่ 3. 1 อัตราส่วนสารเคลือบที่ใช้ในการห่อหุ้มสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน 25

ตารางที่ 3. 2 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย 27

ตารางที่ 4. 1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของบุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท 28

ตารางที่ 4. 2 ความหนืด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารห่อหุ้มที่ชนิดและอัตราส่วนต่าง ๆ 29

ตารางที่ 4. 3 ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความสามารถในการละลาย และอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 33

ตารางที่ 4. 4 ค่าสี *L* a* b** ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 35

ตารางที่ 4. 5 ประสิทธิภาพในการกักเก็บ และร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย 37

ตารางที่ 4. 6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย .. 38

ตารางที่ 4. 7 ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรสภาวะในการทำแห้ง 48

ตารางที่ 4. 8 ค่าสี *L* a* b** ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรสภาวะในการทำแห้ง 49

ตารางที่ 4. 9 ประสิทธิภาพในการกักเก็บ และร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยการแปรสภาวะในการทำแห้ง 50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4. 10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และFRAP ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยแปรสภาวะในการทำแห้ง 51

ตารางที่ 4. 11 ค่าครึ่งชีวิตของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2. 1 ส่วนประกอบของทานตะวัน (1) ลำต้น (2) ใบ (3-4) ดอก (5-6) ผล 4

รูปที่ 2. 2 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม 7

รูปที่ 2. 3 โครงสร้างของสารคาฟิโออิลควินิก 8

รูปที่ 2. 4 กลไกการต้านออกซิเดชันของสารจำพวกฟีนอลิก 10

รูปที่ 2. 5 สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูล 11

รูปที่ 2. 6 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 14

รูปที่ 4. 1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 39

รูปที่ 4. 2 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (μM Trolox/ g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 40

รูปที่ 4. 3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (μM Trolox/ g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 41

รูปที่ 4. 4 ปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิก ที่พบในไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 42

รูปที่ 4. 5 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า (ซ้ายไปขวา ตามลำดับ) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน A) มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม B) กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม และ C) กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม 45

รูปที่ 4. 6 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า (ซ้ายไปขวา ตามลำดับ) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน D) มอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม E) มอลโตเดกซ์ทรินและกลูโคแมนแนนไฮโดไลซ์เสทเป็นสารห่อหุ้ม และ F) กัมอารบิกและกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม G) มอลโตเดกซ์ทริน, กัมอารบิกและกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม 46

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4. 7 ปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิก ที่พบในไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน 52

รูปที่ 4. 8 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า (ซ้ายไปขวา ตามลำดับ) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน H) กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150°C I) กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170°C และJ) กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180°C 53

รูปที่ 4. 9 ร้อยละปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา 55

รูปที่ 4. 10 ปริมาณน้ำอิสระของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา 55

รูปที่ 4. 11 ความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา 56

รูปที่ 4. 12 ค่า *L** value ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา ... 57

รูปที่ 4. 13 ค่า *a** value ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา ... 60

รูปที่ 4. 14 ค่า *b** value ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา ... 60

รูปที่ 4. 15 ค่า *ΔE** ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา 61

รูปที่ 4. 16 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) (mg GAE/ g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา 62

รูปที่ 4. 17 ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (μM trolox equivalent/g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา 63

รูปที่ 4. 18 ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (μM trolox equivalent/g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา 65

รูปที่ 4. 19 ปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิก (mg/g DW) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา 66

รูปที่ 4. 20 ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (μM trolox equivalent/g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ในระหว่างการเก็บรักษา 67

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4. 21 ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (μM trolox equivalent/g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ในระหว่างการเก็บรักษา 68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาที่ทำวิจัย

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจในการบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารหรือวัตถุดิบที่ไม่ผ่านการแปรรูปหรือปรุงแต่ง การบริโภคผักสดจึงได้รับความนิยมมากขึ้น เช่น การเพิ่มความนิยมในการบริโภคต้นอ่อนพืช เนื่องจากต้นอ่อนพืชให้คุณค่าทางโภชนาการที่สูงกว่าเมล็ดที่ยังไม่งอก โดยเฉพาะต้นอ่อนของทานตะวัน (*Helianthus annuus* L.) เป็นพืชที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ และสารพฤกษเคมีมากมาย เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารฟลาโวนอยด์ แร่ธาตุ และวิตามิน ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังต่างๆ เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็ง เป็นต้น เนื่องด้วยสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ แต่อย่างไรก็ตาม สารประกอบฟีนอลิกเหล่านี้มีความเสถียรที่ต่ำ ไม่คงตัวต่อสภาพแวดล้อม เช่น ความร้อน แสง และออกซิเจน รวมถึงกระบวนการแปรรูปต่างๆ ทำให้ต้องมีการหาวิธีในการกักเก็บสารสำคัญดังกล่าวเพื่อเพิ่มความเสถียรให้กับสาร ทำให้สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตทางการเกษตร และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในกลุ่มอาหารเพื่อสุขภาพ กระบวนการไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation) เป็นกระบวนการที่นิยมใช้ในการห่อหุ้มสารสำคัญ เพื่อรักษาและป้องกันการสูญเสียเสถียรภาพของสารได้ดี โดยเป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสารชนิดอื่น เพื่อป้องกันสารจากสภาพแวดล้อม พร้อมทั้งสามารถควบคุมและชะลอการปลดปล่อยสารออกมาตามระยะเวลาที่ต้องการ ปัจจุบันมีเทคนิคที่นิยมใช้ในการทำไมโครเอนแคปซูเลชันหลายวิธี แต่เทคนิคที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมอาหารคือ วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) เนื่องจากใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ วิธีการไม่ยุ่งยาก และมีประสิทธิภาพในการกักเก็บที่สูง สารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการกักเก็บสารมีหลายชนิด ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต (เช่น สตาร์ช แป้งดัดแปร มอลโตเดกซ์ทริน กัมอารบิก) ไขมัน (เช่น โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์) และโปรตีน (เช่น เจลาติน เคซีน เวย์) ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มสารขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะของสารเคลือบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม สำหรับสารเคลือบในกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเป็นกลุ่มที่นิยมนำมาใช้ในการห่อหุ้มเพื่อปกป้องสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน และกัมอารบิก เนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้ำที่ดี ให้ความหนืดต่ำ และเป็นสารที่ไม่มีกลิ่นและสี มีความสามารถในการปกป้องสารสำคัญจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ และกัมอารบิกยังช่วยทำให้ได้อิมัลชันที่เสถียร ในส่วนของบุกกลูโคแมนแนน มีคุณสมบัติที่ดีในการเกิดฟิล์ม และมีการสร้างโครงข่ายที่แข็งแรง (fine dense network) เมื่อผ่านกระบวนการทำแห้ง แต่เมื่อนำไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ละลายน้ำแล้ว บุกกลูโคแมนแนนจะให้ความหนืดที่สูง ซึ่งเป็นลักษณะที่ไม่พึงประสงค์สำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้นก่อนนำมาใช้จะต้องนำไปผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์เพื่อทำให้สารละลายมีความหนืดลดต่ำลง การใช้สารเคลือบแต่ละชนิดให้ผลที่แตกต่างกัน ซึ่งการใช้สารเคลือบเพียงชนิดเดียว อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากขาดคุณสมบัติที่ดีบางประการของสาร การเลือกใช้สารเคลือบแบบผสม จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการห่อหุ้ม และลดต้นทุนในการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำเทคนิคการทำไมโครเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยมาประยุกต์ใช้ในการห่อหุ้มสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน โดยศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารเคลือบที่เหมาะสม ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน กัมอารบิก และกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อให้ได้ไมโครแคปซูลที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บที่ดี มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิก และมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่สูง และศึกษาเสถียรภาพในระหว่างการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้ม สภาวะในการทำแห้งแบบพ่นฝอย และเสถียรภาพในระหว่างการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มที่เหมาะสม โดยใช้มอลโตเดกซ์ทริน กัมอารบิก และกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท เป็นสารห่อหุ้มในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.3.2 ศึกษาสภาวะในการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

1.3.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และเคมีของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้

1.3.4 ศึกษาคุณภาพของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 วัน

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 ทานตะวัน (Sunflower)

2.1.2 ลักษณะของทานตะวัน

ทานตะวัน มีชื่อสามัญคือ Common sunflower, Sunflower, Sunchoke มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Helianthus annuus* L. จัดอยู่ในวงศ์ทานตะวัน (ASTERACEAE หรือ COMPOSITAE) (ตารางที่ 2.1) ต้นทานตะวัน มีถิ่นกำเนิดและเป็นพรรณไม้พื้นเมืองของประเทศสหรัฐอเมริกา (นิจศิริ และ ธวัชชัย, 2547; จุไรรัตน์, 2556) สามารถพบเห็นได้ทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะในแถบภาคกลางบริเวณจังหวัด ลพบุรี และเพชรบูรณ์ เป็นต้น

ใบทานตะวันเป็นใบเดี่ยว ออกตรงข้ามกัน หลังจากที่มีใบเกิดแบบตรงกันข้ามได้ 5 คู่แล้ว ใบที่เกิดหลังจากนั้นจะมีลักษณะวน โดยจำนวนของใบบนต้นอาจมีตั้งแต่ 8-70 ใบ ลักษณะของใบเป็นรูปรีค่อนข้างกลม หรือกลมเป็นรูปไข่ หรือเป็นรูปหัวใจ และสีของใบอาจมีตั้งแต่เขียวอ่อน เขียว และเขียวเข้ม (แตกต่างกันออกไปตามสายพันธุ์) ปลายใบแหลม โคนใบมนเว้าเป็นรูปหัวใจ ส่วนขอบใบจักเป็นซี่ฟัน ใบมีขนาดกว้างประมาณ 9-25 เซนติเมตรและยาวประมาณ 10-30 เซนติเมตร หลังใบและท้องใบหยาบและมีขนสีขาวทั้งสองด้าน

ดอกทานตะวันเป็นดอกเดี่ยว ออกดอกที่ปลายยอด เป็นดอกแบบสมบูรณ์เพศ ดอกมีขนาดใหญ่เป็นสีเหลืองเข้ม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดอกประมาณ 25-30 เซนติเมตร มีกลีบดอกเป็นจำนวนมากเรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ กลีบดอกมีลักษณะเป็นรูปไข่ ปลายกลีบดอกแหลมเป็นสีเหลืองสด ส่วนด้านในคือช่อดอก มีลักษณะเป็นจาน ประกอบไปด้วยดอกขนาดเล็กจำนวนมาก กลางดอกมีเกสรสีน้ำตาลอมสีม่วงและภายในมีผลจำนวนมาก (นิจศิริ และ ธวัชชัย, 2547; จุไรรัตน์, 2556; วิทยา, 2554)

เมล็ดทานตะวัน เป็นผลแห้งและมีจำนวนมากอยู่ตรงฐานดอก ผลขนาดใหญ่จะอยู่บริเวณวงรอบนอก และผลขนาดเล็กจะอยู่ใกล้กับกึ่งกลาง ผลมีลักษณะรูปร่างเป็นรูปรีและแบนนูน ด้านหนึ่งแหลม อีกด้านหนึ่งมน มีขนาดของผล ประมาณ 6-17 มิลลิเมตร เปลือกหุ้มผลแข็ง เปลือกผลจะเป็นสีเทาเข้มหรือสีดำและเป็นลาย ภายในผลมีเมล็ดสีเหลืองอ่อนเพียง 1 เมล็ด ลักษณะรียาว และในเมล็ดพบว่ามีน้ำมันเป็นจำนวนมาก (นิจศิริ และ ธวัชชัย, 2547; จุไรรัตน์, 2556; วิทยา, 2554; Teerakun, 2004) ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ตารางที่ 2. 1 การจัดจำแนกหมวดหมู่ของทานตะวัน

ลำดับ	ชื่อเรียก
อาณาจักร (kingdom)	Plantae–Plants
หมวด (phylum/division)	Magnoliophyta
ชั้น (class)	Magnoliopsida
อันดับ (order)	Asterales
วงศ์ (family)	Asteraceae
เผ่า (tribe)	Heliantheae
สกุล (genus)	*Helianthus*
ชนิด (species)	*H. annuus*

ที่มา เมดไทย (2017)

รูปที่ 2. 1 ส่วนประกอบของทานตะวัน (1) ลำต้น (2) ใบ (3-4) ดอก (5-6) ผล

ที่มา: เมดไทย (2017)

2.2 ต้นงอก (Sprout)

เป็นผลผลิตที่ได้จากเมล็ดโดยตรง โดยไม่ผ่านสารเคมีใดๆ ใช้อาหารที่สะสมอยู่ภายในเมล็ดมาพัฒนาเป็นต้นงอก ซึ่งเป็นระยะการงอกของเมล็ดที่มีการเกิดรากในช่วงแรก มีส่วนของลำต้น และมีใบสีเขียวหรือใบจริงไม่เกิน 2 ใบ การรับประทานต้นงอกสามารถรับประทานได้ทั้งลำต้น บางครั้งอาจรวมถึงเปลือกหุ้มเมล็ดด้วย อาจจะกล่าวได้ว่าต้นงอกเป็นอาหารเข้มข้น (concentrate essences) จากต้นพ่อต้นแม่ (Oswald และ Oswald, 2002) เมล็ดจะงอกได้เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมแก่การงอก (Copeland McDonald, 1985; ISTA, 1999; Raven และคณะ, 2005) เช่น น้ำ ความชื้น ออกซิเจน และอุณหภูมิที่เหมาะสม เมล็ดจะดูดน้ำเพื่อเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ในเมล็ดสำหรับย่อยอาหารที่สะสมไว้ในเมล็ด เช่น แป้ง โปรตีน ไขมัน และน้ำมัน ให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลงในรูปที่ละลายน้ำได้ กระตุ้นกระบวนการสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ และกระบวนการลำเลียงอาหาร สำหรับนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของเอมบริโอ้และสามารถเจริญเติบโตไปเป็นต้นกล้าปกติ (วันชัย, 2538; โสภิตา, 2546) ต้นงอกเป็นแหล่งของโปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ ซึ่งประกอบไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น กลูโคซิโนเลต และสารประกอบฟีนอลิก (วันชัย, 2538; โสภิตา, 2546) งานวิจัยของ Kestwal และคณะ. (2012) พบว่าสารประกอบฟีนอลิก มีปริมาณเพิ่มขึ้น 28% ในระหว่างการงอกของถั่วมอด (Vigna aconitifolia). โดยสารประกอบฟีนอลิกจะมีความแตกต่างกันไปตามสภาพของการงอก นอกจากนี้ Kim และคณะ (2006) พบว่าแสงช่วยเพิ่มการผลิตไฟโตเคมิคอลในต้นงอกของถั่วเหลืองได้

งานวิจัยของ Casals และ Zevallos (2010) ได้ทำการศึกษาปริมาณของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระจากเมล็ดที่บริโภคได้ 13 ชนิด ได้แก่ แอลแฟลฟา บรอกโคลี ฟาวา เฟนูกรีก คะน้า ถั่วฝักยาว ถั่วเขียว มัสตาร์ด หัวหอม หัวไชเท้า ถั่วเหลือง ทานตะวัน และข้าวสาลี พบว่าต้นทานตะวันงอก อายุ 7 วัน มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด (40,202 μg Trolox g^{-1}) เมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น ๆ โดยสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญที่พบในเมล็ดทานตะวันคือ กรดคลอโรจีนิก (55%), 1,4-di-O-caffeoylquinic acid หรือ 1,5-di-O-caffeoylquinic acid (อนุพันธ์ของกรดคลอโรจีนิก) (30%), กรดคาฟิโออิล-เพนตาไฮดรอกซีซินนาโมอิลควินิก (อนุพันธ์ของกรดคลอโรจินิก) (10%) และกรดคาเฟอิก (4%) (Pedrosa และคณะ, 2000)

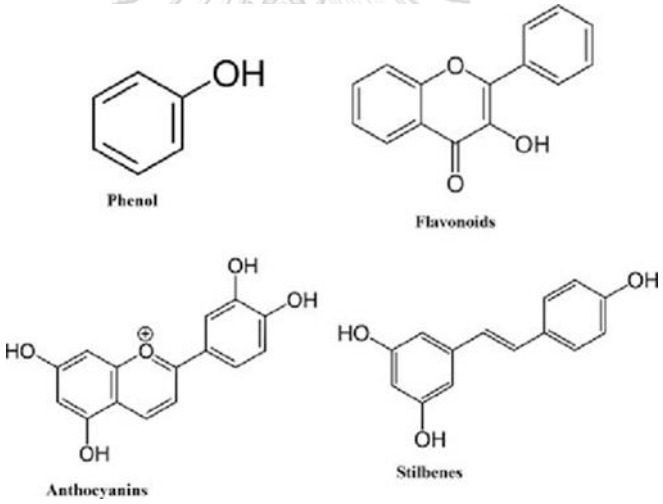
2.2.1 ต้นอ่อนทานตะวัน (Sunflower sprout)

ต้นงอกของทานตะวัน เป็นพืชที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางโภชนาการ และสารพฤกษเคมีมากมาย เช่น สารประกอบฟีนอลิก (Phenolic compound) เช่น Caffeic acid, Chlorogenic acid, Caffeoylquinic acid, Cynarine, Gallic acid ฟลาโวนอยด์ เช่น Heliannone, quercetin, luteolin, kaempferol สารสี เช่น Chlorophyll, carotene, xanthophyll วิตามิน เช่น วิตามินเอ วิตามินบี วิตามินซี วิตามินอี วิตามินบีสาม (niacin) และธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการป้องกันโรคต่างๆ เนื่องด้วยสารเหล่านี้มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) การต้านจุลินทรีย์ (antimicrobial) การรักษาโรคเบาหวาน (antidiabetic) การบรรเทาอาการของโรคความดันโลหิตสูง (antihypertensive) การต้านการอักเสบ (anti-inflammatory) และการสมานบาดแผล (wound healing) (Jiraungkoorskul, 2016; Guo และคณะ, 2017)

2.3 สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารธรรมชาติที่สามารถสร้างขึ้นได้จากพืชชั้นสูงและสิ่งมีชีวิตทั่วไป มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นวงแหวน (aromatic ring) ที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) เข้ามาแทนที่ ซึ่งอาจเข้ามาแทนที่ 1 หมู่หรือมากกว่า จากโครงสร้างที่แตกต่างกันกันนั้น ทำให้สารประกอบฟีนอลิกสามารถจำแนกได้เป็นหลายกลุ่ม ได้แก่ จำนวนคาร์บอน และหมู่ที่เข้ามาแทนที่ในตำแหน่งต่างๆ ซึ่งมีการจำแนกชนิดของสารประกอบฟีนอลิกมากกว่า 8,000 ชนิด (Kris-Etherton และคณะ, 2002) โดยจำแนกเป็นกลุ่ม ได้แก่ กรดฟีนอลิก (phenolic acids) ลิกนิน (lignin) กรดไฮดรอกซีซินนามิกและอนุพันธ์ (hydroxycinnamic acid and derivatives) และฟลาโวนอยด์ (flavonoids) เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิกจะมีโครงสร้างและองค์ประกอบที่แตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่ม สามารถพบได้ในพืช ผัก หรือผลไม้หลายชนิด สารประกอบฟีนอลิกสามารถเป็นได้ทั้งสารตั้งต้นของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reaction) และเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) โดยเมื่อมีปริมาณน้อยจะทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน และหากมีในปริมาณที่มากจะไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Robards และคณะ, 1999) สารประกอบจากพืชที่ถูกสร้างขึ้นด้วยกระบวนการเมแทบอลิซึม แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ สารเมแทบอไลท์ปฐมภูมิ (primary metabolite) ซึ่งเป็นสารที่ได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง (photosynthesis) และการหายใจ (respiration) ที่มีสารประกอบต่าง ๆ เกิดขึ้น และมีการสร้างพลังงาน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน กรดอะมิโน โปรตีน เพียวรีน และ ไพริมิดีน และสารเมแทบอไลท์ทุติยภูมิ (secondary

metabolite) ซึ่งเป็นสารที่ได้มาจากการนำสารเมแทบอไลท์ปฐมภูมิมาเข้าสู่กระบวนการชีวสังเคราะห์เพื่อสร้างสารชนิดต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการดำรงชีวิต ได้แก่ อัลคาลอยด์ (alkaloids) ฟีนอลิก (phenolics) อะซีโทจีนิน (acetogenins) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoids) เป็นต้น โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) 1 หมู่ หรือมากกว่าต่ออยู่กับวงแหวนอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (เบนซีน) (รูปที่ 2.2) โครงสร้างพื้นฐานของสารฟีนอลิกจะเกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลน้ำตาลตั้งแต่ 1 โมเลกุล ขึ้นไป รวมกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH-group) โดยน้ำตาลดังกล่าวอาจเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharides) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) หรือโอลิโกแซคคาไรด์ (oligosaccharides) ก็ได้ โดยน้ำตาลที่พบมากที่สุดในโมเลกุลของสารประกอบฟีนอลิกได้แก่ น้ำตาลกลูโคส (glucose sugar) นอกจากนี้อาจมีการรวมตัวกันระหว่างสารประกอบฟีนอลิกด้วยกันเอง หรือสารประกอบฟีนอลิกรวมตัวกับสารประกอบอื่น ๆ เช่น กรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) กรดอินทรีย์ (organic acid) เอมีน (amine) และไขมันอีกด้วย (Randhir และคณะ, 2004)

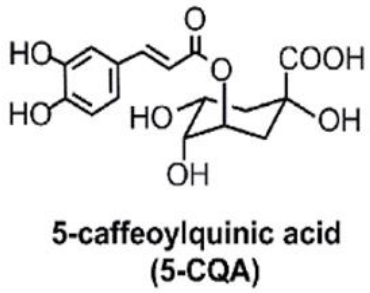


รูปที่ 2. 2 โครงสร้างของสารประกอบฟีนอลิกที่แตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม
ที่มา: de Souza และคณะ (2019)

สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compounds) เป็นสารเคมีกลุ่มใหญ่ที่สุดที่พืชสร้างขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเจริญเติบโต พบมากในอาหารและเครื่องดื่มที่มาจากพืชหลายชนิด เช่น ผัก ผลไม้ เครื่องเทศ สมุนไพร ถั่วเมล็ดแห้ง และเมล็ดธัญพืช เป็นต้น การบริโภคผัก ผลไม้โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ และเครื่องดื่ม เช่น ไวน์แดง ชา ที่อุดมไปด้วยสารประกอบฟีนอลิก โดย

สารประกอบฟีนอลิกจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระ (free radical) และไอออนของโลหะที่สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ (free radical) ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ที่มีอนุมูลอิสระเป็นสาเหตุ จึงทำให้มีสรรพคุณที่ดีต่อสุขภาพ เนื่องจากมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลิสระ (antioxidant) (Randhir และคณะ, 2004)

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญที่พบในต้นอ่อนทานตะวัน โดยสารประกอบฟีนอลิกที่สำคัญที่พบมากที่สุดในต้นอ่อนทานตะวัน ได้แก่ กรดคลอโรจีนิก (Chlorogenic acid; CGA) ซึ่งพบในรูปของกรดกรดคาฟิโออิลควินิก (caffeoylquinic acids; 5-CQA) มากที่สุด (รูปที่ 2.3) (Pedrosa และคณะ, 2000)



รูปที่ 2. 3 โครงสร้างของสารคาฟิโออิลควินิก
ที่มา : Liang และ Kitts (2014)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4 อนุมูลอิสระ (Free radical)

อนุมูลอิสระ (free radicle) หมายถึง โมเลกุลหรือไอออนที่มีอิเล็กตรอนอิสระอยู่รอบนอกของอะตอมหรือโมเลกุล เช่น อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล อนุมูลเพอร์ออกไซด์ อนุมูลไฮโดรเจน เป็นต้น โมเลกุลหรือไอออนเหล่านี้ไม่เสถียร เนื่องจากขาดอิเล็กตรอน โดยมีการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนออกจากโมเลกุลของออกซิเจนทำให้อิเล็กตรอนในโมเลกุลออกซิเจนไม่สมดุลกลายเป็นอนุมูลอิสระ และว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และยังสามารถดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลอื่นมาแทนที่อิเล็กตรอนที่ขาดหายไป เพื่อให้ตัวเองเกิดความสมดุลหรือเสถียร ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ และเกิดขึ้นในเซลล์ตลอดเวลา ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$R\bullet + O2 \rightarrow ROO\bullet \quad \text{(สมการ 2.1)}$$

$$ROO\bullet + RH \rightarrow ROOH + R\bullet \quad \text{(สมการ 2.2)}$$

ดังนั้นโมเลกุลหรือไอออนเหล่านี้จึงต้องมีการให้หรือรับอิเล็กตรอนโดดเดี่ยวแก่สารอื่นทั้งที่เป็นอนุมูลอิสระ หรือไม่เป็นอนุมูลอิสระ เพื่อให้เกิดความเสถียร ส่งผลให้สารอื่นที่ให้หรือรับอิเล็กตรอนจะเกิดความไม่เสถียร ดังนั้นปฏิกิริยาจึงเกิดอย่างต่อเนื่องไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ อนุมูลอิสระจึงเป็นพิษต่อเซลล์ของร่างกาย โดยถ้าหากมีมากเกินไปก็จะเป็นอันตราย และส่งผลต่อความเสี่ยงในการเกิดโรคต่างๆได้ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคความจำเสื่อม โรคไขข้ออักเสบ เป็นต้น (ไมตรี สุทธจิตต์, 2555)

อนุมูลอิสระที่มีความสำคัญทางชีวภาพ จำแนกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

2.4.1. กลุ่มที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลักเรียกว่า reactive oxygen species (ROSs) สามารถจำแนกเป็น

2.4.1.1 กลุ่ม Oxygen centered radicals ได้แก่ superoxide anion (O_2-), hydroxylradical (HO-), alkoxyl radicals (RO-) และ peroxyl radicals (ROO-) เป็นต้น

2.4.1.2 กลุ่ม Oxygen centered non radicals ได้แก่ hydrogen peroxide (H_2O_2), และ singlet oxygen ($1O_2$) เป็นต้น

2.4.2. กลุ่มที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก เรียกว่า reactive nitrogen species (RNS) ได้แก่ nitric oxide (NO-), nitric dioxide ($NO-_2$) และ peroxynitrite (OONO-) เป็นต้น อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

2.4.2.1 อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายในร่างกายเกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมตามปกติในร่างกาย หรือเกิดจากการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายที่มีการสร้างอนุมูลอิสระขึ้นมาเพื่อกำจัดเชื้อโรคบางชนิด

2.4.2.2 อนุมูลอิสระที่มาจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ได้แก่ สารเคมีและสิ่งปนเปื้อนที่มากับอากาศที่เราหายใจเข้าไป สารเติมแต่งอาหาร สีผสมอาหาร สารเคมีปนเปื้อนในอาหาร สารกันบูดหรือสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการเกษตร เป็นต้น

2.5 สารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant)

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) หมายถึง สารที่ป้องกันหรือชะลอการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารตั้งต้นที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา สารเหล่านี้มีกลไกการทำงานในการต้านออกซิเดชัน

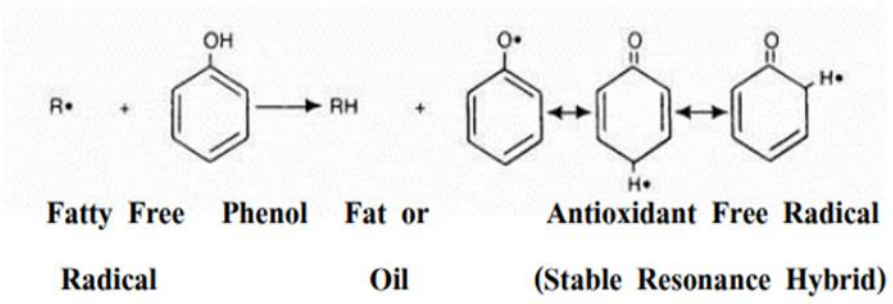
หลายแบบ เช่น จับอนุมูลอิสระโดยตรง เข้าจับกับเหล็ก เป็นต้น ซึ่งกลไกการต้านออกซิเดชันของสารจำพวกฟีนอลิกแสดงในรูปที่ 2.4 โดยปกติร่างการของมนุษย์มีการสร้างสารต้านออกซิเดชันตามธรรมชาติทั้งที่เป็นเอนไซม์และไม่ใช่เอนไซม์ แต่เนื่องจากสารออกซิเดชันที่ร่างกายสร้างขึ้นมีจำนวนจำกัด หากร่างกายมนุษย์มีปริมาณอนุมูลอิสระมากเกินกว่าสารต้านออกซิเดชันที่ร่างกายสร้างขึ้น อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายมนุษย์ได้ ดังนั้นร่างกายจึงต้องมีการรับสารต้านออกซิเดชัน เพื่อให้เพียงพอกับอนุมูลอิสระในร่างกาย เช่น สารกลุ่มโพลีฟีนอล ซึ่งพบมากในพืช ผักและผลไม้ทั่วไป (Punchard และ Kelly, 1996)

สารต้านอนุมูลอิสระแบ่งตามกลไกของการยับยั้งออกซิเดชันได้เป็น 3 ชนิดคือ

1. สารกลุ่มป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ (Preventive antioxidant)

2. สารกลุ่มทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น (Scavenging antioxidant)

3. สารกลุ่มทำให้ปฏิกิริยาลูกโซ่การเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง (Chain breaking antioxidant)

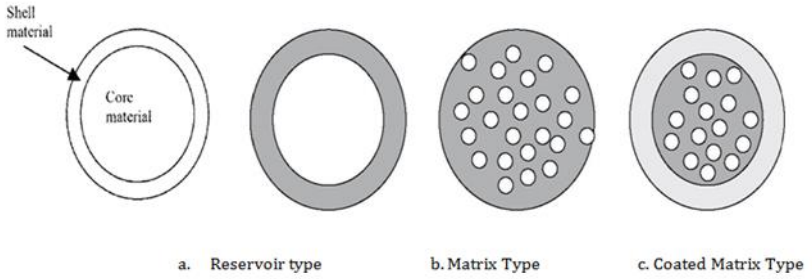


รูปที่ 2. 4 กลไกการต้านออกซิเดชันของสารจำพวกฟีนอลิก
ที่มา : เนตรนภา และ เฉลิม (2557)

2.6 ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation)

เทคโนโลยีไมโครเอนแคปซูเลชัน เป็นกระบวนการที่ของเหลวหรืออนุภาคถูกห่อหุ้มให้อยู่ในรูปของแคปซูลด้วยพอลิเมอร์ เป็นชั้นบางๆ เกิดเป็นไมโครแคปซูลซึ่งมีขนาดประมาณ 1-1,000 ไมครอน (Schrooyen และคณะ, 2001) โดยชั้นพอลิเมอร์จะเป็นตัวป้องกันหรือปลดปล่อยสารสำคัญภายในให้ออกมามาตามระยะเวลาที่ต้องการ โดยทำให้เกิดฟิล์มบางๆ รอบอนุภาค หรือทำให้เกิดเป็นอิมัลชัน และทำให้แห้ง ซึ่งสารสำคัญที่ต้องป้องกันในไมโครแคปซูลจะถูกเรียกว่า แกนกลาง (core) และผนังบางๆ ที่ห่อหุ้มสารสำคัญจะถูกเรียกว่า สารเคลือบ (wall) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

(Itthisoponkul และ Chaovanalikit, 2012) โดยในปัจจุบันมีการนำเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อปกป้องสารสำคัญจากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์นานขึ้น และสามารถปลดปล่อยสารสำคัญออกมาตามระยะเวลาที่ต้องการ ทำให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย เช่น วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying), การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying), การอัดผ่านเกลียว (Extrusion), การทำแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed coating), การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Coacervation) เป็นต้น แต่เทคนิคที่นิยมมากที่สุดในอุตสาหกรรมอาหารคือ วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำ วิธีการไม่ยุ่งยาก และมีประสิทธิภาพในการกักเก็บที่สูง (Ferreira และคณะ, 2016)



รูปที่ 2. 5 สัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูล
ที่มา: Jeyakumari และคณะ (2016)

2.7 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying)

การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วด้วยอากาศร้อน กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการพ่นของเหลว (Feed) ออกมาเป็นละอองขนาดเล็ก เข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปทั้งหมด และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง สำหรับกระบวนการทำแห้งให้กับผลิตภัณฑ์นั้น จะเริ่มตั้งแต่การนำตัวอย่างของเหลวเข้าสู่เครื่องอบแห้ง เมื่อของเหลวมีความชื้นในระดับที่เหมาะสม จะถูกฉีดให้ออกมาเป็นละออง จากนั้นจึงแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งออกมา สำหรับตัวอย่างของเหลวที่นำมาทำแห้งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็น ตัวทำละลาย (Solution) สารประเภทอิมัลชัน (Emulsion) หรือสารแขวนลอย (Suspension) หลักการทำแห้ง คือทำให้ของเหลวดังกล่าวแตกตัวเป็นละอองหรือหยดเล็กๆ แล้วไหลผ่านไปในหออบแห้ง ซึ่งมีอากาศร้อนไหลผ่าน เนื่องจากหยดของเหลวมีขนาดเล็กมากประมาณ 100-200 ไมโครเมตร ทำให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากขึ้น เป็น

การเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายโอนมวลและความร้อน การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของหยดของเหลวอนุภาคเล็กๆ อย่างรวดเร็ว กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

2.7.1 การทำให้ของเหลวมีอนุภาคขนาดเล็กๆหรือหยดของเหลว (Atomization) เป็นหัวใจสำคัญของการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพราะจะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวในการระเหย ซึ่งถ้ามีพื้นที่ผิวสูงก็จะสามารถระเหยน้ำออกจากอาหารได้อย่างรวดเร็ว และจะทำให้เกิดอนุภาคเล็กๆ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะทางกายภาพ ทั้งขนาด รูปร่าง ตลอดจนความหนาแน่น เมื่อของเหลวมีขนาดเล็กลงจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายโอนความร้อนได้มาก ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.7.2. การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (Atomization of Feed) กระบวนนี้เป็นการทำให้ของเหลว (Feed) เกิดการพ่นฝอยกระจายตัวกลายเป็นละออง โดยใช้หัวฉีดแบบหมุนซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของเครื่องพ่นฝอย (Spray dryer) ซึ่งหัวฉีดจะมี 3 ชนิด ได้แก่

2.7.2.1 หัวฉีดแบบหมุน (Rotary Atomizer) อุปกรณ์ฉีดพ่นฝอยชนิดนี้ ของเหลวจะไหลลงบนจานหมุนที่อยู่ใกล้กับจุดศูนย์กลาง โดยความเร็วรอบของจานหมุนเท่ากับ 5,000-10,000 รอบต่อนาที ของเหลวที่ตกลงบนจานหมุนจะถูกเหวี่ยงออกไปด้านข้าง และเกิดการกระจายเป็นละอองฝอย มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 30-120ไมครอน

2.7.2.2 หัวฉีดแบบแรงดัน (Pressure Nozzles Atomizer) อุปกรณ์ฉีดพ่นฝอยชนิดนี้ ของเหลวจะไหลผ่านช่องของหัวฉีดภายใต้ความดันสูง ทำให้ของเหลวถูกพ่นกระจายเป็นละอองฝอยออกมาจากหัวฉีดได้โดยที่ไม่ต้องใช้อากาศ มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 120-250 ไมครอน โดยขนาดอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของของเหลวที่ป้อนเข้าเครื่อง (Feed) และความหนืด แต่จะแปรผกผันกับความดัน

2.7.2.3 หัวฉีดแบบสองของไหล (Two-fluid Nozzle Atomizer, Pneumatic Nozzle Atomizer) อุปกรณ์ฉีดพ่นฝอยชนิดนี้ ของเหลวและอากาศร้อนจะไหลผ่านหัวของหัวฉีด (Nozzle) ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกเป็นละอองฝอยของของเหลว เนื่องจากภายในหัวฉีดจะมีอากาศร้อนไหลผ่านด้วยความเร็วสูง การปรับอัตราการไหลของอากาศร้อนจะช่วยทำให้ของเหลวเกิดการกระจายตัวและพ่นออกมาเป็นละอองฝอย โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากสำหรับของเหลวที่มีความหนืดสูง แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่สูง แต่ให้ผลผลิตค่อนข้างต่ำ

2.7.3. การสัมผัสระหว่างละอองหยดของเหลวกับอากาศร้อน ในขั้นตอนนี้อนุภาคของอาหารจะสัมผัสกับอากาศร้อนเพื่อทำให้น้ำในอาหารเหลวได้รับความร้อนจากอากาศร้อนมา แล้วทำให้เกิดการระเหยน้ำออกไป การกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงอย่างมาก โดยถ้าทิศทางการไหลของอากาศเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นได้รวดเร็ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการอบแห้ง ลักษณะของอาหารที่ต้องการอบแห้ง คุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ การสัมผัสระหว่างอนุภาคกับอากาศร้อน แบ่งได้ เป็น 3 ชนิด ได้แก่

2.7.3.1 การไหลไปในทิศทางเดียวกัน (Co-current flow)

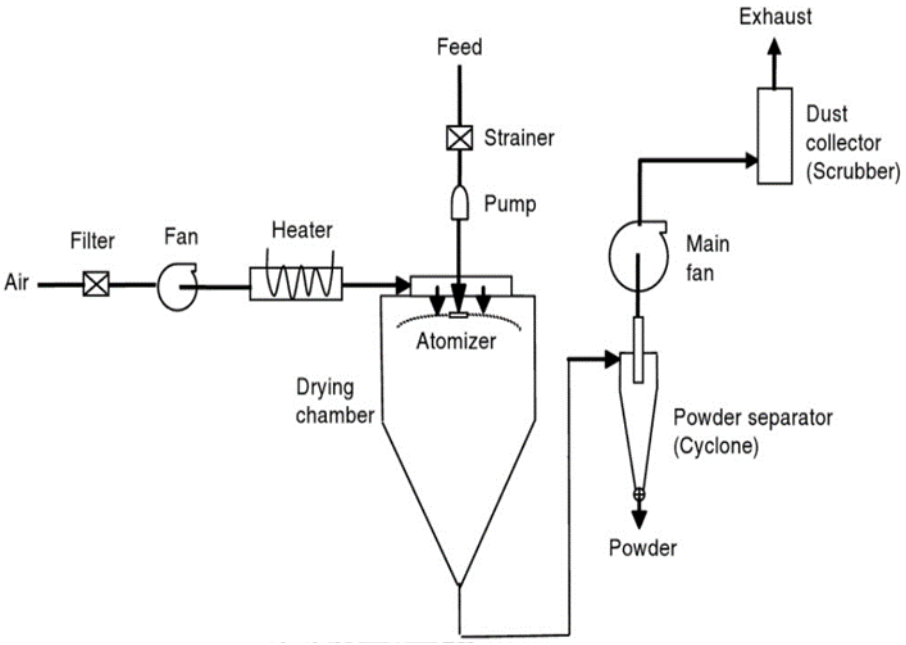
2.7.3.2 การไหลสวนทางกัน (Counter-current flow)

2.7.3.3 การไหลแบบผสมกัน (Mixed-flow)

2.7.4 การอบแห้งละอองฝอย (Drying of spray) เมื่อละอองฝอยสัมผัสกับอากาศแห้งส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำ โดยการระเหยของละอองฝอยนั้น แบ่งออกได้เป็น 2 ขั้น ขั้นแรกนั้นเกิดจากความชื้นภายในละอองฝอยเกิดการแพร่ออกสู่บริเวณผิวของละอองฝอย เพื่อรักษาสมดุลความชื้นระหว่างภายในของละอองฝอยและบริเวณผิวของละอองฝอย โดยในขั้นนี้อัตราการระเหยของความชื้นคงที่ อัตราการระเหยจะคงที่จนกระทั่งความชื้นลดลงเกินกว่าที่จะรักษาสมดุลความชื้นภายในและผิวของละอองฝอย ซึ่งเรียกสภาวะนี้ว่า จุดวิกฤต (critical point) ซึ่งเกิดการแห้งบริเวณผิวของละอองฝอย การระเหยของความชื้นในขั้นนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการแพร่ของความชื้นผ่านผิวแห้งของละอองฝอย ความหนาของผิวแห้งของละอองฝอยจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการแพร่ของความชื้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการระเหยลดลง ขั้นที่สองนี้จะเป็นขั้นที่อัตราการระเหยลดลง สารตั้งต้นที่แตกต่างกันนั้นจะส่งผลให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้แตกต่างกัน บางชนิดมีการพองตัว บางชนิดเกิดการแตก ส่งผลให้เกิดรูหรือรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่แน่นอน บางชนิดเกิดการอยู่ตัวเป็นรูปทรงกลม นอกจากนั้นการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างของผลิตภัณฑ์นั้นยังมีความเกี่ยวข้องกับอัตราการอบแห้งอีกด้วย

2.7.5. การแยกผลิตภัณฑ์ออกจากอากาศร้อน (Separation of dried product from the air) การแยกผลิตภัณฑ์ออกจากอากาศร้อนนั้นเกิดขึ้นหลังจากขั้นตอนการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังคงกระจายอยู่ในอากาศร้อน อากาศร้อนจะพาผลิตภัณฑ์ไปยังส่วนไซโคลน (cyclone) ไซโคลนจะแยกอากาศร้อนออกจากผลิตภัณฑ์ โดยอากาศร้อนจะแยกออกจากผลิตภัณฑ์ไปยังตัวกรองอากาศ ส่วน

ผลิตภัณฑ์นั้นจะกระทบกับผนังของไซโคลนและตกลงสู่ภาชนะที่รองรับไว้สำหรับเก็บผงผลิตภัณฑ์ (สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)



รูปที่ 2. 6 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

ที่มา : Bhandari และคณะ (2008)

2.8 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเอนแคปซูเลชันสารประกอบฟีนอลิกด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

2.8.1. ชนิดและอัตราส่วนของสารเคลือบ

สารเคลือบ (Coating material) คือ สารที่ใช้ในการห่อหุ้มสารสำคัญที่ต้องการกักเก็บไว้ภายใน เพื่อปกป้องสารสำคัญจากการสูญเสีย เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายนอก เช่น แสงแดด ความร้อน ออกซิเจนในอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งและการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับความร้อนในสภาวะที่เหมาะสม คุณสมบัติต่างๆของสารเคลือบที่ดี คือ ควรมีความสามารถในการขึ้นรูปฟิล์ม ยืดหยุ่นและแข็งแรง เพื่อห่อหุ้มสารสำคัญ มีความสามารถในการยึดติดกับสารแกนกลางได้ดี โดยไม่ทำปฏิกิริยากัน ไม่มีกลิ่นรส ราคาถูก มีคุณสมบัติเป็นอิมัลซีไฟเออร์ มีความคงตัวสูง ความหนืดต่ำ แม้จะใช้สารเคลือบในปริมาณมาก ไม่ดูดความชื้น เมื่ออยู่ในสถานะของแข็ง และมีความสามารถในการปลดปล่อยสารสำคัญเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความเหมาะสม (Risch และ Reineccius,1988; Gharsallaoui และคณะ, 2007)

สารเคลือบที่ใช้ในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด แต่สารเคลือบที่นิยมใช้กันมาก คือ สารในกลุ่มโพลิเมอร์ และโพลิเมอร์จากคาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช มอลโตเดกซ์ทริน กัม โปรตีน เป็นต้น

สารเคลือบนั้นมีผลต่อความเสถียรและประสิทธิภาพในการกักเก็บของไมโครแคปซูล มอลโตเดกซ์ทริน (Maltodextrins) เป็นหนึ่งในสารที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มเพื่อป้องกันสารประกอบฟีนอลิก มอลโตเดกซ์ทริน เป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) ที่ได้จากการย่อยโมเลกุลบางส่วนของสตาร์ช (Starch) ให้เป็นสายสั้นๆ ซึ่งจะมีกลูโคสอยู่ 5-20 หน่วยต่อโมเลกุล ขึ้นอยู่กับค่า DE (Dextrose Equivalent) โดยน้ำหนักโมเลกุลจะลดลงเมื่อค่า DE เพิ่มขึ้น มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี และมีความหนืดต่ำ แม้ใช้ในปริมาณความเข้มข้นที่สูง ซึ่งมีความเหมาะสมต่อกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย และมีคุณสมบัติในการป้องกันสารสำคัญจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Shahidi และ Han, 1993) กัมอารบิก เป็นสารโพลีแซคคาไรด์จากอะคาเซีย จัดอยู่ในกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids) โมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาล และอนุพันธ์น้ำตาล ได้แก่ กาแล็กโตสแอราบิโนส แรมโนส และกรดกลูคูโรนิก ถูกใช้เป็นสารห่อหุ้มสำหรับการทำไมโครเอนแคปซูเลชัน เนื่องจากความสามารถในการละลาย มีความหนืดที่ต่ำกว่ากัมชนิดอื่นๆ ไม่มีสี กลิ่น และรส และทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียรมาก (McNamee และคณะ 2001)

มีการศึกษาเกี่ยวกับชนิดและอัตราส่วนของสารเคลือบในการกักเก็บสารสำคัญด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยมากมาย งานวิจัยของ Tolun และคณะ (2016) ได้ศึกษาการใช้มอลโตเดกซ์ทริน (DE 4-7 และ 17-20) และกัมอารบิก ในอัตราส่วน มอลโตเดกซ์ทรินต่อกัมอารบิก 10:0, 8:2 และ 6:4 เป็นสารเคลือบในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกที่สกัดจากองุ่น (*Vitis vinifera* L.) ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส พบว่า การใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอารบิก มีประสิทธิภาพในการกักเก็บมากกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเพียงชนิดเดียว การใช้อัตราส่วนที่แตกต่างกันของมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิก มีผลต่อความสามารถในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิก โดยอัตราส่วน 8:2 มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ ส่วนกัมอารบิกมีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี เนื่องจากกัมอารบิกเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวและไกลโคโปรตีนจำนวนเล็กน้อยที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งทำให้กัมอารบิกสามารถเกิดอันตรกิริยา (interaction) ได้ทั้งส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ของโมเลกุล และมีคุณสมบัติในการเกิดฟิล์มที่ดี ซึ่งช่วยให้สามารถกักเก็บสารที่ต้องการห่อหุ้มไว้ภายในได้ดีขึ้น และสารทั้งสองชนิดนี้ยังมีความสามารถในการละลายน้ำที่ดี สามารถดักจับสารสำคัญ และปกป้องสารสำคัญจากปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ นอกจากนี้มอลโตเดกซ์ทริน DE4-7 สามารถสร้างพันธะกับกัมอาราบิกได้ดีกว่า DE17-

20 เนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่า จึงมีประสิทธิภาพในการปกป้องสารประกอบฟีนอลิกที่สูงกว่า และยังให้ร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูงขึ้นอีกด้วย

Yinbin และคณะ (2016) ศึกษาการเอนแคปซูเลชันสารประกอบฟีนอลิกจากสารสกัดจากลูกไหน (*Prunus salicina* Lindl.) ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้สารเคลือบที่แตกต่างกัน พบว่าการใช้มอลโตเด็กซ์ทรินร่วมกับไคโตซาน ในอัตราส่วน 7:3 และความเข้มข้นของสารสารสกัดต่อสารเคลือบ เท่ากับ 1:4 ซึ่งไคโตซานมีความสามารถในการเกิดเจล โดยอาศัยพันธะโควาเลนต์หรือไอออนิก การเชื่อมข้าม (Covalent crosslinking) ของพันธะไอออนิกทำให้เกิดการฟอร์มตัวของไฮโดรเจล หรืออนุภาคขนาดเล็กที่มีโครงสร้างเครือข่ายที่แข็งแรง เนื่องจากการเกิดพันธะเคมีนี้เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถผันกลับได้ การเชื่อมกันแบบนี้จึงทำให้สามารถดูดซึมน้ำหรือสารประกอบที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ โดยที่ไม่ละลาย ส่งผลให้ทำหน้าที่เป็นสารเคลือบที่ดี จึงสามารถกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกได้

Ferreira และคณะ (2007) ได้ศึกษาการใช้คาร์โบไฮเดรตซึ่งมีมวลโมเลกุลสูงและมีคุณสมบัติในการฟอร์มฟิล์มร่วมกับมอลโตเดกซ์ทริน ในการเอนแคปซูเลชั่นสารคาเทชิน แล้วนำไปแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิขาเข้าระหว่าง 150 ถึง 190 องศาเซลเซียส พบว่า คาเทชินที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะมีลักษณะเป็นทรงกลมพื้นผิวเรียบ ปลดปล่อยสารคาเทชินเมื่อถูกกระตุ้นด้วยอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส ที่ไม่ใช่สภาวะกรด สามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและออกฤทธิ์ได้ดีขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากคาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช มอลโตเดกซ์ทริน เป็นต้น มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี และสารละลายมีความหนืดต่ำแม้จะใช้ในปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการนำใช้ในการเป็นสารเคลือบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กลูโคแมนแนน พบได้ในหัวบุก จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทเฮทเทอโรโพลีแซคคาไรด์ โครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส และกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า 1,4-ไกลโคซิดิก และมีหมู่อะซิทิลกระจายอยู่ทั่วไปบนสายของกลูโคแมนแนนบริเวณคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 (Kato และ Matsuda, 1969) ในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ของเหลวที่จะนำเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยควรมีความหนืดที่เหมาะสม กล่าวคือ ต้องมีความหนืดที่ต่ำกว่า 100 mPa.s (Wattanaprasert และคณะ, 2017) แต่เนื่องด้วยสารละลายบุกกลูโคแมนแนน มีความหนืดที่สูง จึงมีความจำเป็นในการย่อยสารละลายบุกกลูโครแมนแนนก่อน ซึ่งมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การใช้กรด, ความร้อนสูง และเอนไซม์ เป็นต้น จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การใช้เอนไซม์เซลลูเลสในการย่อยบุกกลูโคแมนแนนที่อุณหภูมิ

50 องศาเซลเซียส ทำให้ความหนืดของกลูโคแมนแนนลดลงถึง 200 mPa.s (Yang และคณะ, 2009) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้เอนไซม์แมนนาเนส ที่ความเข้มข้น 38,000 หน่วยต่อกรัมผงบุก พบว่าสามารถลดความหนืดของบุกกลูโคแมนนแนน ให้มีความหนืดต่ำกว่า 100 mPa.s (Sakawulan และคณะ, 2017) มีการศึกษาการใช้บุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท และมอลโตเด็กซ์ทริน แบบเดี่ยว และแบบผสมเป็นสารเคลือบสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากกาแฟ ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่ากาแฟสำเร็จรูปที่ผลิตจากกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท ความเข้มข้น 20% เพียงชนิดเดียว และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันที่วิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH และวิธี FRAP เหลืออยู่สูงที่สุด แต่มีปริมาณกรดคลอโรจินิกเหลืออยู่น้อยกว่าอุณหภูมิในการทำแห้งที่ 180 องศาเซลเซียส แสดงว่า กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท มีผลต่อคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระและการกักเก็บสารสกัดจากกาแฟในรูปไมโครแคปซูล (Sakawulan และคณะ, 2017) งานวิจัยของ วรัญญา ปานเกตุ (2554) พบว่าการใช้บุกกลูโคแมนแนน ร่วมกับ กัมอารบิก เป็นสารเคลือบในการผลิตไมโครแคปซูลน้ำมันมะกรูดด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าสามารถกักเก็บน้ำมันมะกรูดและสารสำคัญได้มากกว่าการใช้บุกกลูโคแมนแนนเพียงชนิดเดียว เนื่องจากกลูโคแมนแนนสามารถฟอร์มฟิล์มได้ดี และกัมอารบิกมีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ที่ดี

2.8.2 สภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สภาวะในการทำแห้งเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการทำไมโครเอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งจะส่งผลให้ไมโครแคปซูลที่ได้มีคุณลักษณะและคุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่แตกต่างกัน โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อุณหภูมิในการทำแห้ง (Drying temperature) ได้แก่ อุณหภูมิของลมร้อนในการทำแห้งทั้งขาเข้า (Inlet temperature) และขาออก (Outlet temperature) มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการไหลคงที่ จะส่งผลให้เกิดการระเหยน้ำออกไปได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อุณหภูมิขาเข้าที่สูง ยังส่งผลให้ความหนาแน่นปรากฏรวมมีค่าลดลง ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีรูพรุน (Porous) ในอนุภาคผงมากกว่า ในขณะที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกจะส่งผลต่อปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาออกให้สูงขึ้น จะทำให้ปริมาณความชื้นที่เหลือลดลง ดังนั้นการกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาออกจึงขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ผลของความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะส่งผลต่อคุณภาพในด้านต่างๆ เช่น การละลาย (Solubility) ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) ขนาด(Particle size) การดูดความชื้น (Hygroscopicity) และอายุการเก็บรักษา (Shelf life) (นุชเนตร ตาเย๊ะ, 2555)

Tolun และคณะ (2016) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 4 ระดับ ในการทำไมโครเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารสกัดจากองุ่น (*Vitis vinifera* L.) พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าทำให้ร้อยละของผลผลิตที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในขณะเดียวกันปริมาณสารประกอบฟีนอลิก, ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันลดลง โดยอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 140 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด แต่เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มเป็น 160 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงทำให้เกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ของสารประกอบฟีนอลิก ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นในตัวอย่าง แม้ว่าจะมีการเกิดฟิล์มรอบๆอนุภาคอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง แต่สารประกอบฟีนอลิกจำนวนมากอาจจะยังคงอยู่ภายในโครงสร้างของสารเคลือบ นอกจากนี้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่เพิ่มขึ้นยังทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงอีกด้วย โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในอนุภาคสูงขึ้น ซึ่งนำไปสู่การระเหยของน้ำที่เร็วขึ้น จึงส่งผลทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์สุดท้ายลดลง สอดคล้องกับงานงานวิจัยของ Paini และคณะ (2016) ได้ศึกษาการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกจากสารสกัดจากกากมะกอก (*Olea europaea* L.) โดยศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 2 ระดับ ได้แก่ 130 และ 160 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 130 องศาเซลเซียส สามารถกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกได้มากกว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 160 องศาเซลเซียส (39.5 และ 26 mg CAE/gDP ตามลำดับ) และยังให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บ, ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงกว่าอีกด้วย นอกจากนี้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ทำให้ผงไมโครแคปซูลที่ได้มีความชื้นลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่130 องศาเซลเซียส ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ มีผลทำให้ความชื้นของไมโครแคปซูลลดลง เนื่องจากอุณหภูมิขาเข้าที่สูงขึ้นจะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศร้อนและละอองฝอย ทำให้เกิดการระเหยของความชื้น ส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง

งานวิจัยของ Wattanaprasert และคณะ (2017) รายงานว่าการศึกษาการเอนแคปซูเลชันสารแอนโดรกราโฟไลด์ (Andrographolide) ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้บุก กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท ร่วมกับเบต้าและแกมม่า ไซโคลเด็กซ์ทริน เป็นวัสดุห่อหุ้มสารสำคัญ ผลการศึกษาพบว่าการใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเพียงชนิดเดียวให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าในการกักเก็บสารแอนโดรกราโฟไลด์ และพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้นส่งผลให้ร้อยละของผลผลิตที่ได้ของไมโครแคปซูลเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 170°C และ 190°C ให้ร้อยละของผลผลิตที่ได้สูงกว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า เท่ากับ 150°C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.9 อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

อายุการเก็บรักษา (shelf life) หมายถึง ช่วงระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์ถูกบรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์และเก็บรักษาไว้ภายใต้สภาวะที่กำหนด ซึ่งสามารถรักษาคุณภาพและความปลอดภัยของอาหารให้อยู่ในระดับที่กำหนดได้ สภาวะในการเก็บรักษาอาจส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการเก็บรักษาเป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม อาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพ ซึ่งแสดว่าผลิตภัณฑ์นั้นไม่เหมาะสมในการบริโภค หรือระยะเวลาหมดอายุของผลิตภัณฑ์นั้น (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2548) รวมทั้งยังหมายถึงระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์ยังคงมีลักษณะที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคอีกด้วย โดยเจ้าของผลิตภัณฑ์จะต้องระบุว่า ผลิตนั้นมีอายุการเก็บไม่น้อยกว่าวันหมดอายุ (expiring date) ที่กำหนดไว้ข้างผลิตภัณฑ์ (Matins และคณะ, 2008) หากในระหว่างการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพ และส่งผลให้เกิดลักษณะที่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จะทำให้เกิดความเสียหายทั้งต่อผู้บริโภคเองและต่อผู้ผลิตอีกด้วย ดังนั้นการะบวนการแปรรูปเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาจึงมีความสำคัญ ซึ่งจะเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์นั้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ถึงแม้ว่าจะเก็บไว้เป็นระยะเวลาหนึ่งแล้วก็ตาม นอกจากนั้นแล้วการที่ผู้บริโภคได้ทราบถึงระยะเวลาที่สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์นั้นๆไว้ได้ยังเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นั้นๆอีกด้วย ดังนั้นการศึกษาอายุการเก็บรักษา และอุณหภูมิในการเก็บรักษาจึงเป็นสิ่งที่สำคัญในการผลิตอาหาร (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2548) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา มีทั้งปัจจัยภายในตัวของผลิตภัณฑ์เอง เช่น องค์ประกอบต่างๆภายในผลิตภัณฑ์ เช่น ไขมัน โปรตีน น้ำตาล เป็นต้น ความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติต่างๆของภาชนะบรรจุ เป็นต้น ส่วนปัจจัยภายนอก ได้แก่ สิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น แสง ออกซิเจน ความชื้น และอุณหภูมิ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กระบวนการแปรรูปต่างๆนั้นอาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นผง มีรูพรุน ส่งผลให้ดูดความชื้นได้รวดเร็วและจับตัวกันเป็นก้อนได้ง่าย โดยของเหลวที่เกิดขึ้นระหว่างอนุภาคจะเกิดการเชื่อติดกัน และเมื่อของเหลวที่เชื่อมติดกันนั้นเกิดการแข็งตัวกลาบเป็นของแข็ง ซึ่งจะทำลายสมบัติการไหลอย่างอิสระของผลิตภัณฑ์ (free flowing property) รวมทั้งอาจก่อให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการยุบตัวของผนังอนุภาค ซึ่งจะทำให้สารให้กลิ่นรสที่อยู่ภายในอนุภาคถูกปลดปล่อยออกมา รวมถึงสารสำคัญที่อยู่ภายใน ทำให้สารสูญเสียคุณค่าที่ดีทางอาหารไป (จิราภรณ์ 2537; ประศาสตร์, 2545)

บรรจุภัณฑ์มีบทบาทสำคัญในการยืดอายุการเก็บรักษา และรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งในด้านสี กลิ่น รสชาติ และความอร่อยให้คงอยู่จนกระทั่งถึงมือของผู้บริโภค ทั้งยังช่วยให้การขนส่งผลิตภัณฑ์มีความสะดวกมากขึ้น โดยบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งควรทำจากวัสดุที่ป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและออกซิเจนได้ดี (รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ, 2540) ถุงพลาสติกใส ฟิล์มโพลีพอไพรีน (Polypropylene, PP) และถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต (Aluminium foil laminated bag) มีคุณสมบัติที่ดีในการนำมาทำภาชนะบรรจุอาหารแห้ง เนื่องจากถุงโพลีพอไพรีนเป็นบรรจุภัณฑ์พลาสติกที่ทนต่อการทิ่มทะลุ และการฉีกขาด สามารถใช้ความร้อนเชื่อมปิดผนึกได้ดี มีความปลอดภัยและใช้กับสิ่งของที่นำไปบริโภคได้ทันที สามารถป้องกันความชื้นและการซึมผ่านของอากาศได้บางส่วน จึงทำให้อากาศสามารถซึมผ่านได้ง่าย การใช้งานกับผลิตภัณฑ์อาหารมักใช้บรรจุอาหารร้อน บรรจุผักและผลไม้ และใช้ทำซองบรรจุอาหารแห้ง เช่น บะหมี่สำเร็จรูป ส่วนอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตมีคุณสมบัติในการผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับฟิล์มพลาสติกชนิดอื่น ๆ แต่มีราคาที่สูง เป็นวัสดุที่สามารถป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจน ความชื้น และแสง รวมไปถึงความปลอดภัยของการสัมผัสกับอาหารและสามารถประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย (มยุรี ภาคลำเจียก, 2536)

Shishir และคณะ (2007). ศึกษาผลของสภาวะในการเก็บรักษา ต่อการรักษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของผงฝรั่งสีชมพูที่ผ่านการทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยบรรจุด้วยถุง LDPE, PET ลามิเนต และฟิล์มOPPลามิเนต เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าชนิดของบรรจุภัณฑ์ ระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยผงฝรั่งสีชมพูที่เก็บรักษาในถุง LDPE มีการเพิ่มขึ้นของความชื้นมากที่สุด และส่งผลให้อุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) และระดับการจับเป็นก้อน (CD) เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น นอกจากนี้ยังพบว่าผงฝรั่งสีชมพูที่บรรจุในถุง LDPE มีปริมาณไลโคปีนลดลงในระหว่างการเก็บรักษา เนื่องจากฟิล์มLDPEมีความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของออกซิเจนได้น้อย ซึ่งทำให้ออกซิเจนสามารถซึมผ่านเข้าไปในผลิตภัณฑ์ได้ (Robertson, 2009) ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับไลโคปีนและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือการแยกโมเลกุลของไลโคปีนอันเป็นผลมาจากการสูญเสียไลโคปีน (Shi และคณะ,2016) อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีการลดลงของปริมาณไลโคปีนมากกว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และผงฝรั่งสีชมพูที่บรรจุด้วยฟิล์ม OPP และ PET มีการเปลี่ยนแปลงของสีที่น้อยกว่าผงที่บรรจุด้วยฟิล์ม LDPE เนื่องจากมีคุณสมบัติในการป้องกันความชื้นและออกซิเจนสูง และมีลักษณะที่ไม่โปร่งใสต่อแสง โดยฟิล์ม LDPE แสดงให้เห็นถึงความสามารถที่ต่ำที่สุดในการปกป้องสีและปริมาณไลโคปีน

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

สารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน (ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

มอลโตเดกซ์ทริน DE 10-15 (Food Grade, Bronson & Jacobs International Co., Ltd. (Shanghai, China)

กัมอารบิก (Food Grade, Nexira, France)

ผงบุกกลูโคแมนแนน (ยูเนี่ยน ไทยคอนยัค จำกัด)

3.1.2 สารเคมี / อุปกรณ์

Mannanase enzyme (Mannanase BGM “Amano” 10)

Folin-Ciocalteu reagent (Sigma-Aldich, Germany)

Gallic acid monohydrate (Sigma-Aldich, Germany)

2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma-Aldich, Germany)

Ethanol (CH_3CH_2OH) (A.R. grade, QRëC®, Newzealand)

Methanol (CH_3OH) (A.R. grade, QRëC®, Newzealand)

6-hydroxy-2,5,7,8-tretamethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) (Sigma-Aldich, Germany)

2,4,6-tripyridyl-s-triazine (TPTZ) (Sigma-Aldich, Germany)

Sodium acetate treta-hydrate ($CH_3COONa.3H_20$) (A.R. grade, KemAus, Australia)

Sodium carbonate (Na_2CO_3) (A.R. grade, KemAus, Australia)

Acetic Acid Glacial (CH_3COOH) (A.R. grade, QRëC®, Newzealand)

Hydrochloric acid (HCL) (A.R. grade, QRëC®, Newzealand)

Ferric tripyridyltriazine (Fe^3) (Sigma-Aldich, Switzerland)

กระดาษกรอง No.1 (Whatman international, Thailand)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.3 เครื่องมือ

อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (Shaking water bath) (Julabo, รุ่น SW33, Germany)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-ray Spectrometer) (JEOL, รุ่น JSM-IT300, Japan)

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (GEA Powder Technology Division, รุ่น Niro A/S, Model E, Denmark)

เครื่องวัดค่าความต่างความร้อนของสาร (Differential Scanning Calorimeter) (NETZSCH, รุ่น 204 F1 Phoenix, Germany)

เครื่องวัดกิจกรรมของน้ำ (Water activity analyzer) (AquaLab, รุ่น series3 TE, U.S.A)

เครื่องวัดความชื้น (Moisture Analyzer) (Mettler-Toledo, รุ่น HB43-S, Switzerland)

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrophotometer) (Thermo Fisher Scientific, รุ่น GENESYSTM 20 Visible, U.S.A)

เครื่องวัดสี (Chroma meter) (Konica Minolta, รุ่น CR-400, Japan)

เครื่องกวนผสมสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน (Hotplate Stirrer) (IKA®, รุ่น C-MAG HS, Germany)

เครื่องล้างชิ้นงานด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Cleaner) (ELMA, รุ่น Elmasonic E 70 H, Germany)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เครื่องเขย่าสาร (Vortex mixer) (Scientific Industries, รุ่น GENIE2, U.S.A)

Rotational Viscometer (FungiLab, รุ่น Premium R, Spain)

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Analytical balance) (Mettler Toledo, รุ่น New Classic MF, Switzerland)

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) (Mettler Toledo, รุ่น MS304S, Switzerland)

เครื่องซีลกึ่งอัตโนมัติแบบเท้าเหยียบ (Semi Auto Impulse Sealer) (TUPACK, รุ่น PHS 450/10D, Thailand)

เครื่องซีลสุญญากาศ (Vacuum sealer) (Multivac, รุ่น A300/16, Germany)

เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (Homogenizer Laboratory) (IKA®, รุ่น T25 digital ULTRA-TURRAX®, Germany)

ตู้บ่มเชื้อแบบเขย่าควบคุมอุณหภูมิ (Shaker Incubator) (N-Biotek, รุ่น NB 205, Korea)

เครื่องกวนผสมสารละลาย (Overhead stirrer) (Daihan Scientific Co., Ltd, รุ่น HT-50DX, Korea)

ตู้บ่มเชื้อ (GENERAL INCUBATOR) (LABTECH, รุ่น LIB-101 SM Universal Incubator,

เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Hettich zentrifugen, รุ่น Universal 32R,)

เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) (Mettler Toledo SevenCompact™ pH/Ionmeters S220)

เครื่องวัดความหวาน (Hand-Refractometer) (MASTER-PM, ATAGO,)

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบปรอท (Thermometer) (Testo, รุ่น 925, UK)

ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (Memmert, รุ่น DO 6062, Germany)

เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography) (Shimadzu UFLC system equipped with an SPD-M20A photodiode array detector, Shimadzu, Japan)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.2.1.1 การเตรียมสารละลายบุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท

การย่อยบุกกลูโคแมนแนนด้วยเอนไซม์แมนนาเนส (Mannanase BGM “Amano” 10) ในอัตราส่วน 200 ยูนิตต่อบุก 1 กรัม ความเข้มข้นของปริมาณบุกกลูโคแมนแนนเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ตามวิธีของ Hamad และคณะ (2019) โดยในระหว่างการย่อยให้ความร้อนในอ่างควบคุมความร้อนแบบเขย่า ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องกวนผสมสารละลาย (Daihan Scientific Co., Ltd, รุ่น HT-50DX, Korea) เป็นเวลา 30 นาที หลังจากการย่อยแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 10 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์

3.2.1.2 การเตรียมสารห่อหุ้มที่ใช้ในการกักเก็บสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน

การเตรียมสารละลายสารห่อหุ้ม โดยใช้สารละลายสารห่อหุ้ม 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน กัมอารบิก บุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท วางแผนการทดลองแบบ Mixture Design ทำการแปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มตามตารางที่ 3.1 กำหนดปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย เท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ทำการละลายสารห่อหุ้มแต่ละสูตรโดยใช้เครื่องกวนผสมสารละลาย (Daihan Scientific Co., Ltd, รุ่น HT-50DX, Korea) เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างที่ได้ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องซาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง แล้วนำมาผสมกับสารละลายสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ (w/w) โดยใช้อัตราส่วนของสารสกัดต่อสารห่อหุ้ม เท่ากับ 1:3 และกำหนดความเข้มของสารละลาย เท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์ (w/w) ทำการกวนผสมโดยใช้เครื่องปั่นผสมความเร็วสูง (IKA®, รุ่น T25 digital ULTRA-TURRAX®, Germany) ที่ความเร็วรอบ 16,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของสารละลาย ได้แก่ ค่าความหนืดของสารละลาย ด้วยเครื่อง Rotational Viscometer (FungiLab, รุ่น Premium R, Spain) โดยใช้หัววัดขนาด R3 ความเร็วรอบ 250 rpm, วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ด้วยเครื่อง Hand-Reflectometer และค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter

ตารางที่ 3. 1 อัตราส่วนสารเคลือบที่ใช้ในการห่อหุ้มสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน

สูตร	อัตราส่วนสารเคลือบ (%)		
	มอลโตเดกซ์ทริน	กัมอารบิก	กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท
1	100	0	0
2	0	100	0
3	0	0	100
4	50	50	0
5	50	0	50
6	0	50	50
7	33.33	33.33	33.33

3.2.1.3 การทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying)

นำตัวอย่างสารละลายที่ได้ในข้อ 3.2.1.3 เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (GEA Powder Technology Division, รุ่น Niro A/S, Model E, Denmark) โดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิอากาศขาออก 90±5 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างหลังจากการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนตเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูลสารต้นอ่อนทานตะวัน ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2.1.3.1 ปริมาณความชื้น (% moisture content) (ภาคผนวก ข.1)

3.2.1.3.2 ปริมาณน้ำอิสระ (water activity, aw) (ภาคผนวก ข.2)

3.2.1.3.3 ค่าสี ระบบ CIE LAB ด้วยเครื่อง chroma meter (ภาคผนวก ข.3)

3.2.1.3.4 ความสามารถในการละลาย (water solubility index, WSI) (ภาคผนวก ข.4)

3.2.1.3.5 ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% encapsulation yield) (ภาคผนวก ข.5)

3.2.1.3.6 ประสิทธิภาพในการกักเก็บ (% encapsulation efficiency) (ภาคผนวก ข.6)

3.2.1.3.7 ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope, SEM) (ภาคผนวก ข.7)

3.2.1.3.8 อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature, T_g) (ภาคผนวก ข.8)

3.2.1.3.9 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content, TPC) ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu (ตามวิธีของ Swain และ Hillis (1959) (ภาคผนวก ก.1)

3.2.1.3.10 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (ดัดแปลงตามวิธีของ Brand-Williams และคณะ, 1995) (ภาคผนวก ก.2)

3.2.1.3.11 ฤทธิการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี ferric ion reducing antioxidant power (FRAP) (ดัดแปลงตามวิธีของ Benzie และ Strain, 1996) (ภาคผนวก ก.3)

3.2.1.3.12 ปริมาณกรดคาฟีโออิลควินิก ด้วยเทคนิค HPLC (ดัดแปลงตามวิธีของ Cheevarungnapakul และคณะ, 2019) (ภาคผนวก ก.4)

เลือกไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยพิจารณาคัดเลือกจากประสิทธิภาพการกักเก็บ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ จำนวน 1 สูตร เพื่อใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.2 การศึกษาสภาวะในการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยพิจารณาคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดจากการศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มในข้อที่ 3.2.1.3 มาแปรสภาวะในการทำแห้งทั้งหมด 3 สภาวะ ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 170 และ 180 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 3.2 จากนั้นเก็บตัวอย่างหลังจากการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันไว้ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต เพื่อวิเคราะห์สมบัติทางเคมี ทางกายภาพ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของไมโครแคปซูลสารต้นอ่อนทานตะวัน เช่นเดียวกับการทดลองในข้อที่ 3.2.1.3 หลังจากนั้นคัดเลือกไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันจากการทำแห้งแบบพ่นฝอยในข้อ 3.2.2 โดยพิจารณาคัดเลือกจากประสิทธิภาพการกักเก็บ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การ

ต้านอนุมูลอิสระ จำนวน 1 สูตร และเปรียบเทียบกับสูตรควบคุมอีก 1 สูตร เพื่อใช้ในการทดลองในขั้นต่อไป

ตารางที่ 3. 2 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สูตร	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (°C)
8	150
9	170
10	180

3.2.3 การศึกษาเสถียรภาพในระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน

บรรจุผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย ที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.2.2 โดยแปรชนิดของสารห่อหุ้ม 2 ชนิด (มอลโตเดกซ์ทริน และกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท) และอุณหภูมิในการเก็บรักษา 2 อุณหภูมิ (35 และ 45 องศาเซลเซียส) ติดตามผลการเปลี่ยนแปลง ทุกๆ 7 วัน เป็นระยะเวลา 60 วัน โดยวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ตามข้อ 3.2.1.3.1-3.2.1.3.3 และ 3.2.1.3.8-3.2.1.3.12

3.2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ออกแบบการทดลองโดยใช้แผนการทดลองแบบ Mixture Design สำหรับการทดลองในข้อที่ 3.2.1 (การศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย) และวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for Social Sciences) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan ’s new multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับการทดลองในข้อที่ 3.2.2 (การศึกษาสภาวะในการทำแห้งที่เหมาะสมในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย) และการทดลองในข้อที่ 3.2.3 (การศึกษาเสถียรภาพในระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

4.1.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของบุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท

จากการศึกษาการการย่อยบุกกลูโคแมนแนน ด้วยเอนไซม์แมนนาเนส พบว่าเมื่อย่อยบุกที่ความเข้มข้นร้อยละ 40 (w/w) และความเข้มข้นของเอนไซม์ 200 IU/ g KGM เป็นเวลา 30 นาที ความหนืดของสารละลายบุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท มีค่าเท่ากับ 545.04±4.81 cP และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเท่ากับ 5.45±0.02 (ตารางที่ 4.1) ซึ่งสารละลายบุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทที่ได้มีค่าความหนืดลดลงกว่าบุกกลูโคแมนแนนที่ไม่ได้ผ่านการย่อย จึงสามารถนำสารละลายบุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทที่ได้ไปใช้ในการห่อหุ้มสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้ในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4. 1 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของบุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท

การวิเคราะห์	ค่าที่ได้
ความหนืด (cP)	545.04±4.81
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	5.45±0.02
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix)	40.11±0.40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของสารห่อหุ้มที่ใช้ในการกักเก็บสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน

จากการศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มที่เหมาะสมสำหรับการกักเก็บสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน พบว่าสารห่อหุ้มในสูตรที่ 1 ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน อัตราส่วน 100% มีค่าความหนืดต่ำที่สุด ในขณะที่สูตรที่ 2 ได้แก่ กัมอารบิก อัตราส่วน 100 % มีค่าความหนืดสูงที่สุด เนื่องจากมีความเข้มข้นของกัมอารบิกมากที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปกัมอารบิกจะใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในอาหาร เนื่องจากโครงสร้างมีลักษณะเป็นกิ่งก้านแตกแขนง ส่งผลให้มีความหนืดที่สูง โดยความหนืดเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งจะส่งผลต่อขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูล หากสารละลายที่ป้อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยมีความหนืดที่สูง จะส่งผลให้อนุภาคที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น และในระหว่างการฉีดพ่นตัวอย่างจะทำให้เกิดการสะสมและติดอยู่ภายในผนังห้องเครื่อง ส่งผลให้

ผลผลิตที่ได้มีค่าลดลง โดยค่าความหนืดที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) นั้นควรมีค่าต่ำกว่า 200 cP โดยค่าความหนืดของสารละลายสารห่อหุ้มชนิดต่าง ๆ ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 74.05±0.50 ถึง 227.78±2.28 cP ส่วนปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด มีค่าเท่ากับ 30°Brix และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าอยู่ใช่วง 5.05±0.02 ถึง 5.47±0.03 แสดงว่าสารห่อหุ้มในทุกสูตรมีความเป็นกรด ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากนั้นนำสารละลายสารห่อหุ้มที่เตรียมได้ทั้ง 7 สูตร ไปทำการศึกษาต่อเพื่อพิจารณาความสามารถในการห่อหุ้มสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน โดยนำไปผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) บริษัท GEA Powder Technology Division (รุ่น Niro A/S, Model E, ประเทศเดนมาร์ค) ควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 160 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิลมร้อนขาออก 90±5 องซาเซลเซียส หลังจากนั้นเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อรอการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4. 2 ความหนืด ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และค่าความเป็นกรด-ด่าง ของสารห่อหุ้มที่ชนิดและอัตราส่วนต่าง ๆ

สูตร	ความหนืด (cP)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (°Brix) ^{ns}	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
1	74.05±0.50^{f}	30	5.09±0.02^{c}
2	227.78±2.28^{a}	30	5.05±0.02^{d}
3	178.20±4.56^{b}	30	5.47±0.03^{a}
4	148.16±3.14^{d}	30	5.07±0.02^{cd}
5	152.60±0.94^{d}	30	5.40±0.01^{b}
6	167.96±0.87^{c}	30	5.46±0.01^{a}
7	129.62±0.43^{e}	30	5.38±0.00^{b}

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ (^{a,b,c,d,e,f}) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร (ns) ในแนวสดมภ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.3 การศึกษาปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (moisture content) และค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้ม พบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้ชนิดและอัตราส่วนของของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกันส่งผลให้ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระของไมโครแคปซูลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน ร่วมกับกัมอารบิกและกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าความชื้นต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าการใช้สารห่อหุ้มหลายชนิดส่งผลให้ปริมาณความชื้นของตัวอย่างลดลง ในขณะที่สูตรที่ 2 ซึ่งใช้กัมอารบิกเพียงชนิดเดียวเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าความชื้นสูงที่สุด โดยในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น ปริมาณน้ำและปริมาณของแข็งทั้งหมดของส่วนผสมที่เตรียมก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยจะส่งผลต่อความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูล ดังนั้นไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผลิตโดยใช้กัมอารบิกเพียงชนิดเดียวเป็นสารห่อหุ้มจึงมีความชื้นสูง เนื่องจากมีความเข้มข้นของกัมอารบิกมากที่สุด ทำให้มีค่าความหนืดที่สูง จากความหนืดที่สูงขึ้นนี้ทำให้อัตราการแพร่กระจายของโมเลกุลน้ำในระหว่างการทำแห้งลดลง ส่งผลให้ความชื้นมีค่าสูงขึ้น โดยปริมาณความชื้นของไมโครแปคซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่แตกต่างกันนั้นอาจจะเกิดจากความสามารถในการดูดซับน้ำในระหว่างและหลังการทำแห้งของสารห่อหุ้มแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน (Lewicki และ Jakubczyk, 2004) โดยหากตัวอย่างผงแห้งมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระสูงจะส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาได้ เนื่องจากผงแห้งที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย มีรูปร่างไม่เสถียร หากมีความชื้นมากพอจะทำให้ผงที่ได้พยายามเคลื่อนที่เข้าหากัน แล้วเกิดการดูดความชื้นเข้าสู่พื้นผิว ส่งผลให้เกิดการสลายตัวของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ถูกห่อหุ้มอยู่ภายในได้ (Ramakrishnan และคณะ, 2018) แต่อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันทุกสูตรมีค่าอยู่ในช่วง 1.54±0.11 ถึง 2.86±0.22 เปอร์เซ็นต์ และ 0.152±0.01 ถึง 0.213±0.01 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) และค่าที่ได้มีความเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาหารประเภทอบแห้งควรมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 และควรมีค่าความชื้นไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ (Thai Community Product Standard, 2016) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ferrari และคณะ (2013) ซึ่งรายงานว่าผลิตภัณฑ์ผงแบล็กเบอร์รี่ที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้มอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มส่งผลให้ผงแบล็กเบอร์รี่มีปริมาณความชื้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการใช้กัมอารบิก และของผสมระหว่างมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิก เช่นเดียวกัน Mara Righetto และ Maria Netto (2005)

อธิบายว่ามอลโตเดกซ์ทรินมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ผงอะเซโรลาที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยมากกว่ากัมอารบิก อาจจะเนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างโครงสร้างทางเคมีของสารห่อหุ้มทั้งสองชนิด โดยกัมอารบิกเป็นเฮเทอโรโพลีแซ็กคาไรด์เชิงซ้อนที่มีโครงสร้างแบบกิ่งก้านแตกแขนงมากมายต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ประกอบด้วยสายโซ่ที่สั้นกว่าและกลุ่มที่ชอบน้ำ (Hydrophilic groups) จึงส่งผลให้ผงอะเซโรลาที่ผลิตโดยใช้กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้มมีความชื้นที่สูงกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม

4.1.4 การศึกษาความสามารถในการละลาย ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ความสามารถในการละลาย (water solubility index) เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ใช้ในการบ่งบอกคุณภาพของไมโครแคปซูลต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ โดยค่าความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผลิตจากสารห่อหุ้มต่างชนิดกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 86.49±0.11 ถึง 93.30± 0.12 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 4.3 พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม ทำให้ความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีค่าสูงที่สุด ในทางกลับกันการใช้กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม ทำให้ค่าความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลมีค่าต่ำที่สุด เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Cano-Chauca และคณะ (2005) รายงานว่า มอลโทเดกซ์ทรินมีความสามารถในการละลายที่สูง โดยส่งผลให้น้ำมะม่วงผงที่ผลิตโดยใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าความสามารถในการละลายสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เมื่อเติมเซลลูโลส 9 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลลดลงเหลือประมาณ 72 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารเคลือบชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพราะมีความสามารถในการละลายในน้ำสูง แต่เมื่อเติมเซลลูโลสเข้าไปในระบบ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไมโครแคปซูล และส่งผลต่อความสามารถในการละลาย ซึ่งความสามารถในการละลายจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับโครงสร้างของไมโครแคปซูล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติความเข้มข้นของเซลลูโลส จึงส่งผลต่อลักษณะของอนุภาคน้ำมะม่วงผง นอกจากนี้พื้นผิวอสัณฐานที่สูงขึ้นยังช่วยเพิ่มความสามารถในการละลายของผงในน้ำ ในทางกลับกัน ลำดับอนุภาคที่สูงขึ้น (state crystalline) ส่งผลให้ความสามารถในการละลายลดลง ในขณะที่ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าความสามารถในการละลาย เท่ากับ 90.68±0.07 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าการใช้กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม แต่ยังมีค่าน้อยกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม โดยปริมาณของกลูโคแมนแนนมีผลต่อความสามารถในการละลาย เนื่องจากโครงสร้างของกลูโคแมนแนนมีหมู่อะซิทิลซึ่ง

กระจายอยู่บนสายกลูโคแมนแนนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้วจึงสามารถจับกับน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลที่มีขั้วได้ดี ส่งผลให้ความสามารถในการละลายเพิ่มมากขึ้น (Maekaji และ Kawamura, 1984; Thomas, 1997; Williams และคณะ, 2000) นอกจากนี้จากการศึกษาความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลจะเห็นได้ว่ามีบางส่วนที่ไม่ละลายน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากในต้นอ่อนทานตะวันนั้นประกอบด้วยสารสำคัญต่างๆ มากมาย เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน แคลเซียม ธาตุเหล็ก เป็นต้น จึงมีความเป็นไปได้ที่สารสำคัญบางชนิดไม่สามารถละลายได้ แต่อย่างไรก็ตามค่าความสามารถในการละลายยังมีค่าสูงกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันทุกสูตรนั้นยังมีความสามารถในการละลายที่ดี

4.1.5 การศึกษาอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ผลการศึกษาอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน ที่แปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มต่างๆ มีค่าระหว่าง 58.20 ถึง 142.30 องศาเซลเซียส ดังนั้นไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันจะอยู่ในสถานะคล้ายแก้วหากเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว กล่าวคือ อุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว และพบว่าอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่มีค่าต่ำที่สุด พบในตัวอย่างที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม (สูตรที่ 3) ในขณะที่ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้สารห่อหุ้มร่วมกัน 3 ชนิด (สูตรที่ 7) นั้นส่งผลให้อุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีค่าสูง ซึ่งอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ถือว่าเป็นคุณสมบัติหนึ่งของการผลิตไมโครแคปซูลด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยเมื่อวัสดุมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่เรียกว่าอุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานซิชัน (Glass Transition Temperature) ส่วนที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานในวัสดุจะเปลี่ยนสถานะจากสถานะคล้ายแก้ว (Solid-like Glassy State) ซึ่งมีลักษณะแข็งเปราะ กลายเป็นสถานะคล้ายยาง (Liquid-like Rubbery State) ซึ่งมีลักษณะเหนียวหนืบ โดยที่อุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วในตัวอย่างจะมีค่าแตกต่างกันไป ในระหว่างการเก็บรักษาของไมโครแคปซูล โดยหากเก็บไมโครแคปซูลไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ไมโครแคปซูลจะยังคงสภาพปกติ แต่หากเก็บรักษาไมโครแคปซูลที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของไมโครแคปซูล ส่วนโครงสร้างของไมโครแคปซูลที่เป็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อสัญฐาน จะเปลี่ยนสถานะจากสถานะคล้ายแก้ว กลายเป็นสถานะคล้ายยาง (Truong และคณะ, 2004) ดังนั้นสามารถเก็บรักษาไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันไว้ที่อุณหภูมิห้องได้โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง งานวิจัยของ Roos และ Karel (1991) รายงานว่าในตัวอย่างที่มีค่ากิจกรรมของน้ำสูง ผลิตภัณฑ์ผงจะดูดซับน้ำได้ดี ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วมีค่าลดลง ทำให้เกิดลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเกิดก้อน การตกผลึก หรือความเหนียวของผง เหตุการณ์นี้อาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เช่น การรวมตัวเป็นก้อนแข็ง หรือแม้กระทั่งการแข็งตัวของผงทั้งหมด ซึ่งส่งให้ผลิตภัณฑ์ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และยากต่อการนำไปใช้งาน อุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของตัวอย่างที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยจึงสามารถเป็นตัวชี้วัดความคงตัวของตัวอย่างที่ต้องการเก็บรักษาเป็นเวลานาน

ตารางที่ 4. 3 ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความสามารถในการละลาย และอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สูตร	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณน้ำอิสระ	ความสามารถในการละลาย (%)	อุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (°C)
1	2.26 ± 0.19^{c}	0.152 ± 0.01^{d}	93.30 ± 0.12^{a}	ND
2	2.86 ± 0.22^{a}	0.193 ± 0.02^{ab}	86.49 ± 0.11^{g}	ND
3	2.03 ± 0.09^{d}	0.202 ± 0.00^{a}	90.68 ± 0.07^{d}	58.20
4	2.61 ± 0.03^{b}	0.164 ± 0.02^{cd}	89.56 ± 0.05^{e}	ND
5	1.64 ± 0.08^{e}	0.172 ± 0.01^{bcd}	91.37 ± 0.07^{b}	128.90
6	1.88 ± 0.03^{d}	0.177 ± 0.01^{bc}	88.64 ± 0.05^{f}	127.80
7	1.54 ± 0.11^{e}	0.213 ± 0.01^{a}	91.15 ± 0.35^{c}	142.30

* ND: not detected

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ (^{a,b,c,d,e,f}) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.6 การศึกษาค่าสี *L* a* b ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย**

จากการวิเคราะห์ค่าสีของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยการใช้ชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน พบว่าการแปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มส่งผลต่อ ค่า *L**, *a** และ *b** ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และพบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีค่า *L**, *a** และ *b** อยู่ในช่วง 62.94±0.06 ถึง 67.34±0.31, -2.27±0.13 ถึง -1.34±0.04 และ 12.70±0.10 ถึง 15.54±0.21 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) โดยค่า *L** บ่งบอกถึงความสว่าง มีค่าตั้งแต่ 0-100 ซึ่ง 0 หมายถึงสีดำ และ 100 หมายถึงสีขาว (สว่างมาก) ซึ่งไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าความสว่างสูงที่สุด และไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กัมอารบิกร่วมกับกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าความสว่างต่ำที่สุด ในขณะที่ค่า *a** บ่งบอกถึงค่าความเป็นสีเขียว *(-a*)* ไปจนถึงสีแดง *(+a*)* โดย ค่า *a** ในทุกตัวอย่างมีค่าเป็นลบ ซึ่งบ่งบอกถึงค่าความเป็นสีเขียวของตัวอย่าง โดยไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน ร่วมกับกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้มมีค่าความเป็นสีเขียวมากที่สุด (-2.27±0.13) นอกจากนี้ค่า *b** เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเป็นสีน้ำเงิน *(-b*)* ไปจนถึงสีเหลือง *(+b*)* โดยพบว่า ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันทุกตัวอย่างมีค่าบวก แสดงว่ามีค่าสีไปทางสีเหลือง โดยตัวอย่างที่มีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุดคือ ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม และไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้สารห่อหุ้ม 3 ชนิดร่วมกัน โดยทั้ง 2 สูตรมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งจากค่า *a** และ *b** ที่กล่าวมานั้นสามารถสรุปได้ว่าไมโครแคปซูลต้นอ่อนทานตะวันในทุกตัวอย่างมีสีเหลืองอมเขียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4. 4 ค่าสี *L* a* b** ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สูตร	สี		
	*L**	*a**	*b**
1	67.34±0.31^{a}	-1.75±0.03^{c}	12.70±0.10^{d}
2	64.54±0.01^{d}	-2.03±0.11^{d}	13.92±0.21^{b}
3	63.43±0.02^{e}	-1.34±0.04^{a}	15.54±0.21^{a}
4	66.34±0.02^{b}	-2.27±0.13^{e}	14.21±0.05^{b}
5	65.36±0.13^{c}	-1.67±0.03^{bc}	13.54±0.04^{c}
6	62.94±0.06^{f}	-1.46±0.15^{ab}	14.02±0.07^{b}
7	63.26±0.02^{e}	-1.53±0.03^{ab}	15.37±0.12^{a}

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ (^{a,b,c,d,e,f}) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

4.1.7 การศึกษาประสิทธิภาพในการกักเก็บ และร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ประสิทธิภาพในการการกักเก็บ (Encapsulation efficiency) เป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญสำหรับการผลิตไมโครแคปซูล ซึ่งหมายถึงศักยภาพของวัสดุห่อหุ้มที่จะสามารถกักเก็บสารสำคัญไว้ภายในไมโครแคปซูลได้ (Patel และคณะ, 2020) จากการศึกษาผลของชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้ม ต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน โดยกำหนดอุณภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 160 องศาเซลเซียส และอุณภูมิลมร้อนขาออก 90±5 องศาเซลเซียส และควบคุมอัตราการไหลของตัวอย่างที่ 14-16 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มมีผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บ ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสูงที่สุด (91.35±0.22 %) รองลงมาคือ ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม (89.19±0.05 %) และประสิทธิภาพในการกักเก็บที่น้อยที่สุดพบในไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม (82.18±1.17%) งานวิจัยของ (Wattanaprasert และคณะ, 2017) อธิบาย

ว่าการใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มเพียงชนิดเดียวให้ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มมากกว่าการใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทร่วมกับเบต้าไซโคลเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มในการกักเก็บสารสำคัญจากฟ้าทะลายโจร เนื่องจากในระหว่างกระบวนการทำแห้งจะทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโอลิโกแซ็กคาไรด์ ส่งผลให้โครงสร้างถูกปิดล้อมและห่อหุ้มสารสำคัญไว้ภายในได้ ส่วนผลการศึกษาร้อยละของปริมาณผลผลิต (% yield) ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีค่าระหว่าง 56.28±1.00 ถึง 72.52±0.14 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.5) พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มให้ค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้มากที่สุด (72.51±0.065 %) ขณะที่ตัวอย่างที่ใช้กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้มให้ร้อยละผลผลิตที่ได้น้อยที่สุด (56.28±1.00 %) เนื่องจากกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้มที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำที่ดี ความหนืดสูง โครงสร้างของกัมอารบิกเป็นพอลิเมอร์สายสั้นที่มีลักษณะเป็นกิ่งก้านแตกแขนง อีกทั้งมีหมู่ของไฮดรอกซิลจำนวนมาก ทำให้เกิดการเกาะติดบนพื้นผิวด้านในของห้องเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยและเกิดเป็นวงแหวนระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่งผลให้ร้อยละของผลผลิตที่ได้มีค่าน้อย ส่วนไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม ให้ค่าร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้มากกว่า เนื่องจากมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารที่มีคุณสมบัติไม่เกาะติด จึงเหมาะสมสำหรับการทำแห้งแบบพ่นฝอย และช่วยในการไหลแบบอิสระของผลิตภัณฑ์ผงสุดท้าย (Bhandari และ Howes, 2005) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Tolun และคณะ (2016) ที่ศึกษาการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากองุ่นด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อกักเก็บสารประกอบฟีนอลิก โดยพบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทริน (DE4-7) เป็นสารห่อหุ้ม ให้ร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้มากที่สุด (64.9%) เมื่อเทียบกับการใช้กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม ส่วนไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม พบว่าให้ค่าร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ต่ำกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทริน แต่ยังคงมีค่าที่สูงกว่าการใช้กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม งานวิจัยของ Sakawulan และคณะ (2017) รายงานว่า การใช้บุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นวัสดุห่อหุ้มให้ค่าร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้น้อยกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นวัสดุห่อหุ้มในการผลิตผงกาแฟสำเร็จรูป เนื่องจากสารละลายกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทจะมีความเหนียวและหนืดกว่าสารละลายมอลโตเดกซ์ทริน ดังนั้น จึงทำให้มีตัวอย่างติดอยู่ภายในผนังห้องเครื่องทำแห้งมากกว่า ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4. 5 ประสิทธิภาพในการกักเก็บ และร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สูตร	ประสิทธิภาพในการกักเก็บ (%)	ร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ (%)
1	82.18±1.17^{e}	72.52±0.14^{a}
2	85.58±0.40^{cd}	56.28±1.00^{e}
3	91.35±0.22^{a}	61.65±0.43^{bc}
4	84.55±0.49^{d}	59.87±1.53^{cd}
5	89.19±0.05^{b}	61.72±0.19^{b}
6	86.87±0.54^{c}	59.76±0.23^{d}
7	85.82±0.59^{cd}	60.28±0.19^{bcd}

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ (^{a,b,c,d,e}) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

4.1.8 การศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน โดยเปรียบเทียบชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้ม พบว่าชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มมีผลต่อปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าระหว่าง 6.54±0.18 ถึง 32.68±0.97 mg GAE/ g db (ตารางที่ 4.6) โดยไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ การใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 32.68±0.97 และ 26.59±1.11 mg GAE/ g db ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดต่ำที่สุด พบในไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม นอกจากนี้ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีความสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกักเก็บ โดยพบว่าสารห่อหุ้มที่ทำให้ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด เป็นชนิดเดียวกันกับสารห่อหุ้มที่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บที่ดีที่สุด เนื่องจากกลูโคแมนแนนเมื่อละลายน้ำโมเลกุลจะพองตัวและดูดซับน้ำไว และสรางพันธะ

ไฮโดรเจนกับน้ำ ทำให้เกิดลักษณะเจลที่มีความหนืด เมื่อนำไปทำแห้งจะสร้างชั้นฟลมที่มีลักษณะเหนียว ทนต่ออุณหภูมิและแรงทางกล จึงทำให้สามารถหอหุมสารสำคัญที่อยูภายในไดดี

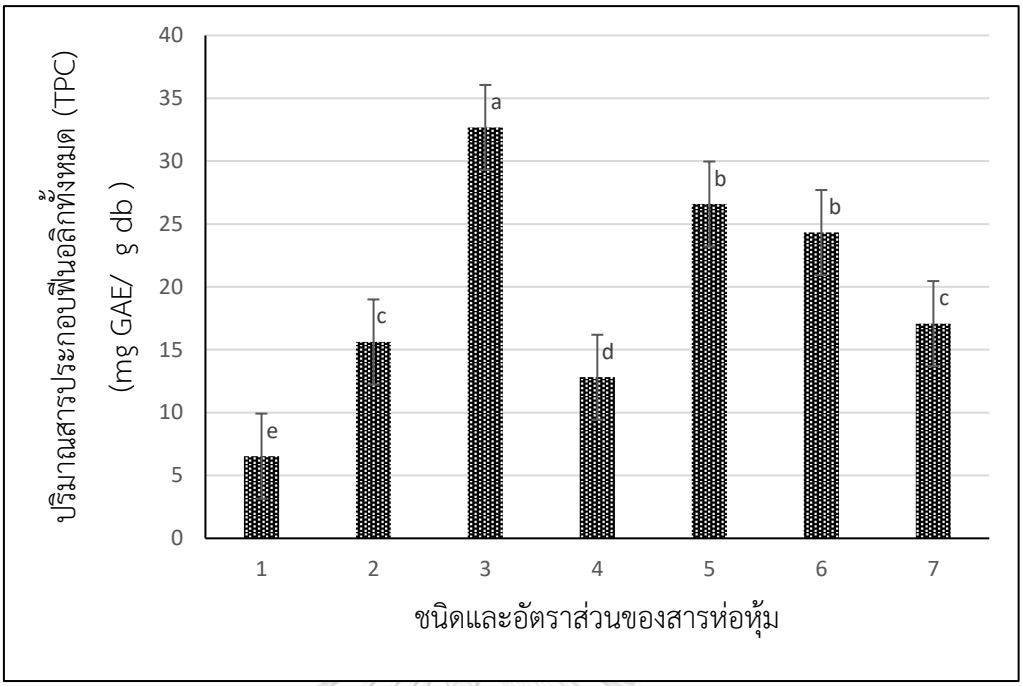
ตารางที่ 4. 6 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สูตร	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g db)	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH (μM trolox equivalent/g db)	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP (μM trolox equivalent/g db)
1	6.54±0.18^{e}	52.36±1.19^{f}	618.52±48.89^{f}
2	15.62±2.07^{c}	85.09±2.49^{e}	1,159.88±63.73^{d}
3	32.68±0.97^{a}	208.47±3.38^{a}	3,059.26±101.26^{a}
4	12.81±0.25^{d}	80.45±2.69^{e}	983.33±44.52^{e}
5	26.59±1.11^{b}	187.29±3.09^{c}	2,554.32±97.77^{b}
6	24.32±0.73^{b}	201.93±3.68^{b}	2,239.51±68.09^{c}
7	17.08±0.21^{c}	116.27±1.99^{d}	1,279.01±55.87^{d}

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ (^{a,b,c,d,e,f}) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



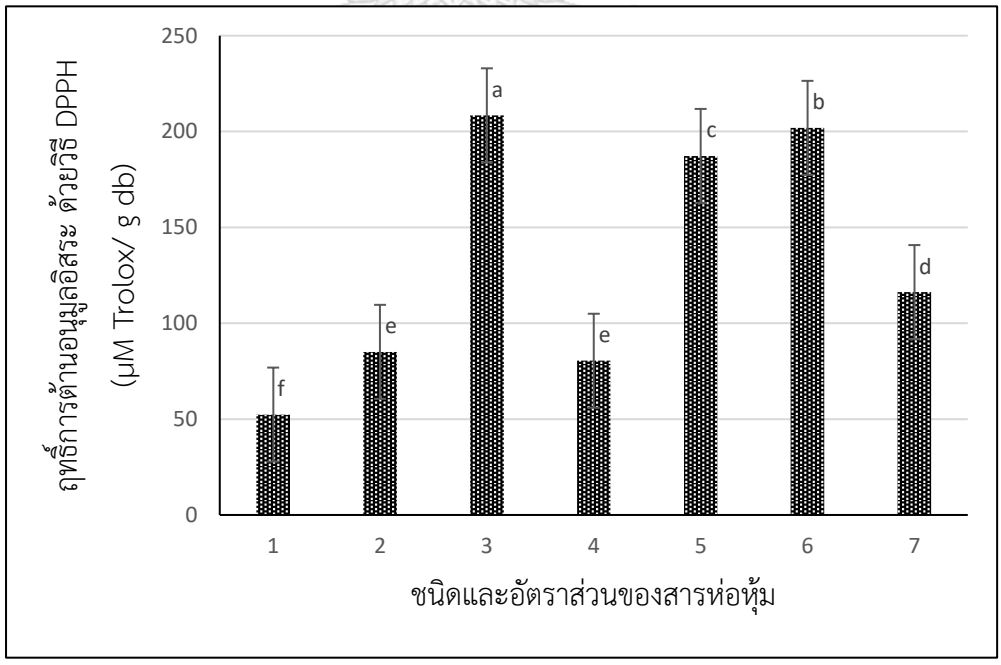
รูปที่ 4. 1 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน

4.1.9 การศึกษาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP (μM trolox equivalent/g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

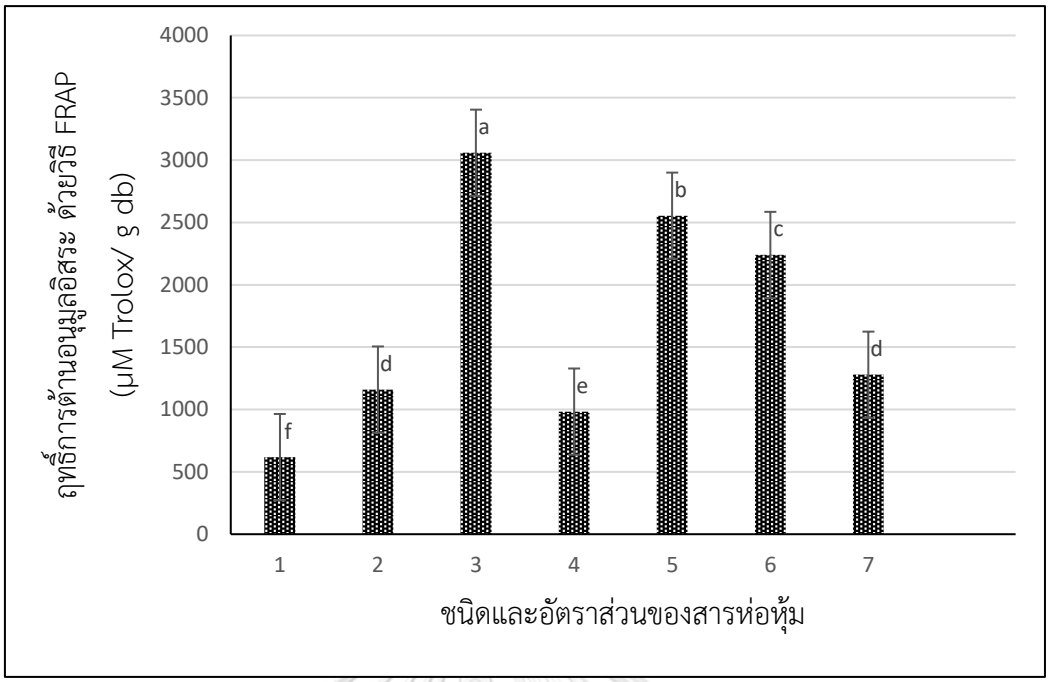
จากการศึกษาผลของชนิดของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกันในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH พบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผลิตจากสารห่อหุ้มที่แตกต่างชนิดกัน มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระอยู่ในช่วง 52.36±1.19 ถึง 208.47±3.38 μM Trolox/ g db ดังแสดงในตารางที่ 4.6 และไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผลิตโดยใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH สูงที่สุด (208.47±3.38 μM Trolox/ g db) รองลงมาคือ การผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันโดยใช้กัมอารบิกร่วมกับกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม (201.93±3.68μM Trolox/ g db) ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับการทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP พบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีฤทธิ์การต้านอนุมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อิสระสูงที่สุด เท่ากับ 3,059.26±101.26 μM Trolox/ g db และไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม ให้ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP ต่ำที่สุด เท่ากับ 52.36±1.19 และ 618.52±48.89 μM Trolox/ g db ตามลำดับ (ตารางที่ 4.6) นันทนิตย์ และคณะ (2013) อธิบายว่าการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากใบหม่อนโดยใช้บุกกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทร่วมกับมอลโตเดกซ์ทรินในอัตราส่วน 3:1 เป็นสารห่อหุ้ม ให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH สูงที่สุด เนื่องจากโดยทั่วไปกลูโคแมนแนนมีหมู่อะซิทิลกระจายอยู่บนสายกลูโคแมนแนนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ส่งผลให้หมู่อะซิทิลสามารถเกิดอันตรกิริยากับสารออกซิเดชันด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) โดยมีพันธะไฮโดรเจนเป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ส่งผลให้ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ในขณะที่ Ferrari และคณะ (2013) รายงานว่าผงแบล็คเบอร์รี่ที่ได้จากการใช้กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้มมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินหรือของผสมระหว่างกัมอารบิกและมอลโตเดกซ์ทรินที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากส่วนของโปรตีนในกัมอารบิกอาจมีส่วนทำให้ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ชนิดที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (non enzymatic browning reaction) ในระหว่างขั้นตอนทำแห้ง ส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูง



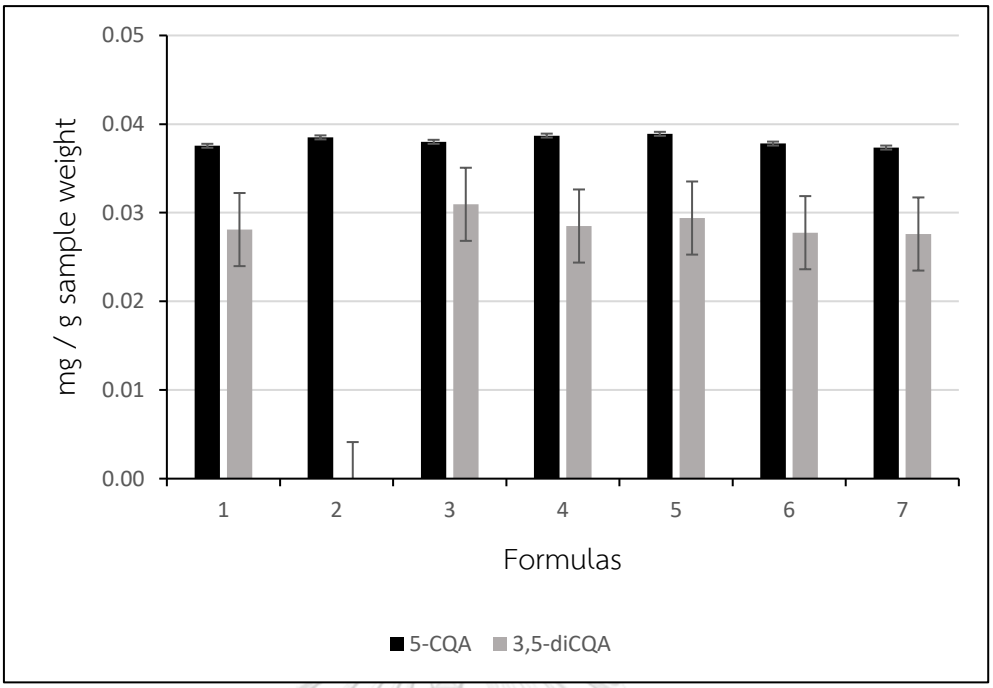
รูปที่ 4. 2 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (μM Trolox/ g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4. 3 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (µM Trolox/ g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน

4.1.10 การศึกษาปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิก (mg/g dw) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากการตรวจสอบหาปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิก (caffeoylquinic acids; 5-CQA) และอนุพันธ์ของกรดไดคาฟิโออิลควินิก (3,5-dicaffeoylquinic acid; 3,5-DCQA) ด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่า ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มเพียงชนิดเดียว มีปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิกสูงที่สุด (0.038±0.002 และ 0.033±0.007 mg/g dw ตามลำดับ) ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด แสดงว่ากลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทมีประสิทธิภาพที่ดีในการกักเก็บกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิก โดยปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิก และกรดไดคาฟิโออิลควินิกที่พบในไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันโดยใช้สารห่อหุ้มที่ชนิดและอัตราส่วนต่างๆแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4. 4 ปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิก ที่พบในไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน

4.1.11 การศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างพื้นผิวภายนอก ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope-SEM) ที่กำลังขยาย 500 และ 1,000 เท่า ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโตเดกซ์ทริน กัมอารบิก และกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทที่อัตราส่วนแตกต่างกันเป็นสารห่อหุ้ม พบว่าขนาดอนุภาคของไมโครแคปซูลมีขนาดไม่แตกตางกัน โดยขนาดอนุภาคมีทั้งเล็กและใหญ มีการซ้อนกันของอนุภาคขนาดเล็กบนอนุภาคขนาดใหญ่ และการจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น โดยอนุภาคที่ได้จะมีขนาดอยู่ในช่วง 10-40 ไมโครเมตร และพบว่าไมโครแคปซูลที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าการใช้กัมอารบิกหรือกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ballesteros และคณะ (2017) ซึ่งผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากกากกาแฟโดยใช้มอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม พบว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มทำให้ขนาดอนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กกว่าการใช้กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม และขนาดอนุภาคของทั้งสองชนิดจะมีขนาดที่ใกล้เคียงกัน โดยลักษณะรูปร่างของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม มีรูปร่างเป็นทรงกลม พื้นผิวไม่ค่อยเรียบ ค่อนข้างมีรอยบุบ มีบางไมโคร

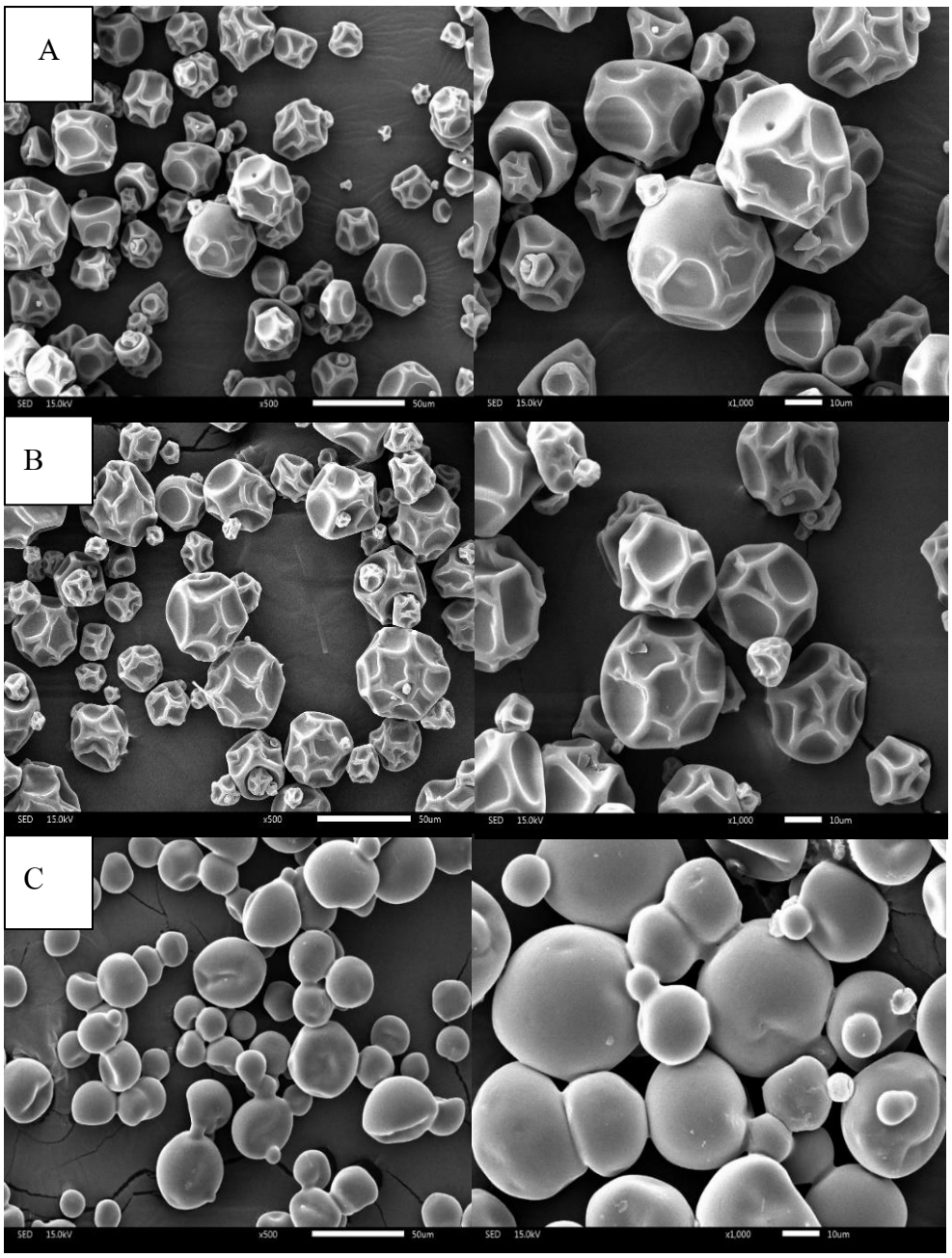
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แคปซูลที่มีลักษณะพื้นผิวเรียบ (รูปที่ 4.5A) เนื่องจากไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันเมื่อถูกทำแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยจะทำให้เกิดแรงดันของไอน้ำต่อโครงสร้างภายในของไมโครแคปซูล ส่งผลให้เกิดการหดตัวอย่างรวดเร็วของพื้นผิว เนื่องจากการสูญเสียความชื้นทำให้โครงสร้างพื้นผิวของไมโครแคปซูลมีรอยจีบและรอยบุบ เมื่อใช้กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม (รูปที่ 4.5B) พบว่าลักษณะรูปร่างของไมโครแคปซูลมีความใกล้เคียงกับการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม แต่ปรากฏรอยจีบและรอยบุบมากกว่า เมื่อพิจารณาการใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม พบว่าไมโครแคปซูลที่ใช้กลูโคแมนนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม (รูปที่ 4.5C) บริเวณพื้นผิวของไมโครแคปซูลมีลักษณะทรงกลมและมีผิวที่เรียบมากกว่า และมีความหนาแน่น โดยไม่พบรอยบุบหรือรอยแตกบนพื้นผิวของไมโครแคปซูล เนื่องจากในระหว่างกระบวนการทำให้แห้ง กลูโคแมนแนนจะสร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของโอลิโกแซ็กคาไรด์ ส่งผลให้อนุภาคถูกปิดล้อมและเคลือบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพไว้ในอนุภาค นอกจากนี้ยังพบว่าที่ลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลม เนื่องจากเฟสต่อเนื่องของโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ห่อหุ้มสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และไม่ทำให้เกิดการแตกของอนุภาค ซึ่งทำให้สามารถรักษาสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และป้องกันความเสียหายจากปัจจัยภายนอกได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Wattanaprasert และคณะ (2017) รายงานว่า การทำแห้งแบบพ่นฝอยในตัวอย่างฟ้าทะลายโจร โดยใช้ไซโคลเด็กซ์ทรินและกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม พบว่าการใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มเพียงชนิดเดียว ส่งผลให้ไมโครแคปซูลมีลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูลมีรูปร่างทรงกลม และพื้นผิวไม่มีรอยแตก ในขณะที่การใช้ไซโคลเด็กซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม ทำให้ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูลมีรอยแตกหรือรอยบุบ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการห่อหุ้มสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพลดลง ซึ่งลักษณะของไมโครแคปซูลที่ดี ควรจะมีพื้นผิวที่เรียบ และมีรูปร่างทรงกลม จึงถือว่าเป็นไมโครแคปซูลที่มีความเสถียรในการกักเก็บ และสามารถควบคุมการปลดปล่อยของสารสำคัญภายในได้ดี (Osorio และคณะ, 2010) เมื่อใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม (รูปที่ 4.6D) พบว่าลักษณะรูปร่างของไมโครแคปซูลไม่สม่ำเสมอและมีรอบบุบหรือรอยจีบคล้ายคลึงกับไมโครแคปซูลที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกับการใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม พบว่าลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูลมีแนวโน้มที่เรียบขึ้นและรอยบุบลดลงกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเพียงชนิดเดียวเป็นสารห่อหุ้ม ดังแสดงในรูปที่ 4.6E ในขณะที่เมื่อใช้กัมอารบิกร่วมกับกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม (รูป 4.6F) พบว่าบริเวณพื้นที่ผิวของไมโครแคปซูลมีลักษณะไม่ค่อยเป็นทรงกลม และมีรอยบุบหรือรอยจีบจำนวนมาก แสดงให้เห็นว่าการใช้กัมอารบิก

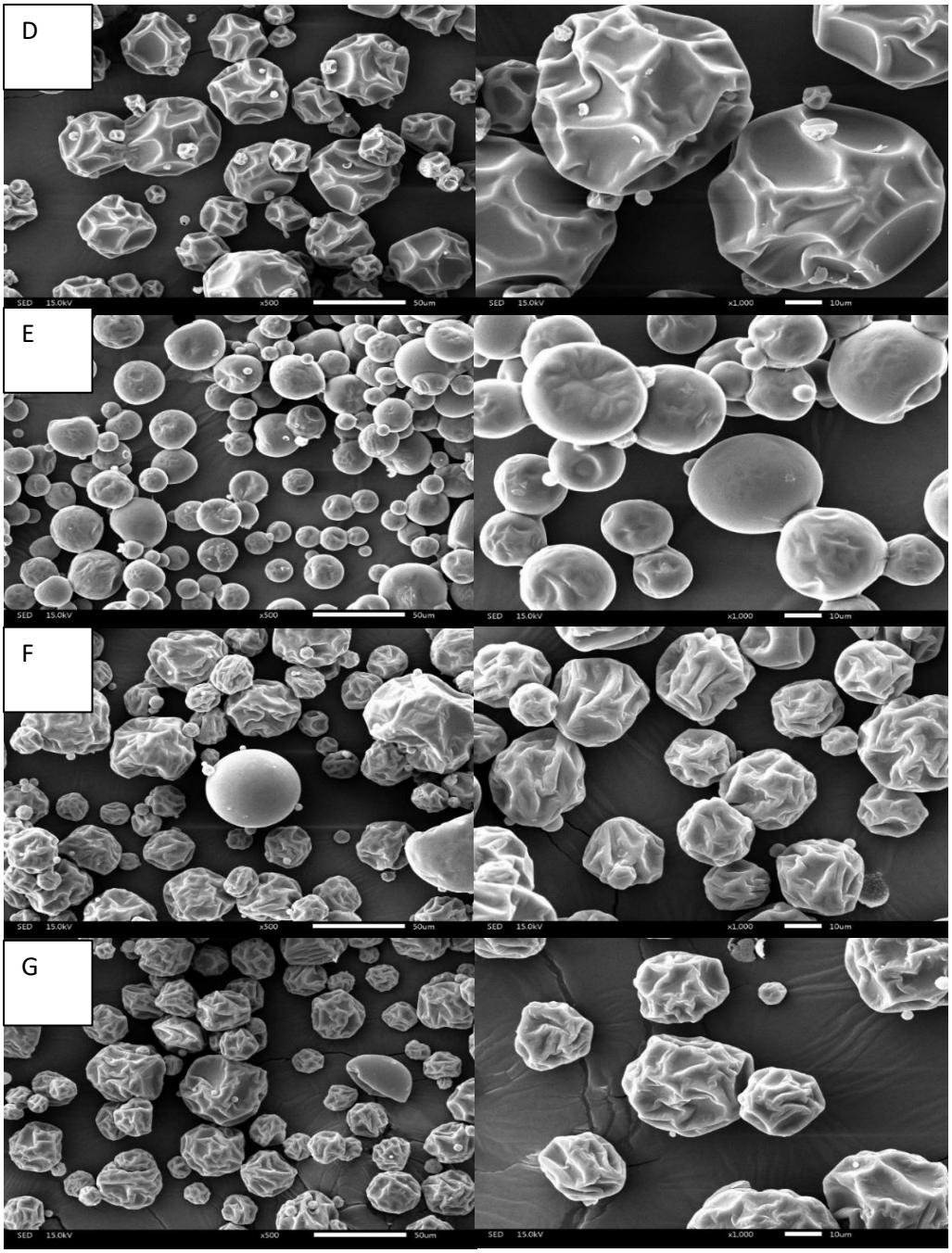
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เป็นสารห่อหุ้มส่งผลต่อรูปร่างและลักษณะพื้นที่ผิวของไมโคแคปซูล โดยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของรอยจีบและรอยบุบมากกว่าการใช้สารห่อหุ้มชนิดอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาการการใช้สารห่อหุ้มร่วมกัน 3 ชนิด ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอารบิกและกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท พบว่าลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูลยังคงมีรอยบุบหรือรอยจีบ และมีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกลมและวงรีปะปนกัน นอกจากนี้ยังพบการเกาะติดของอนุภาคขนาดเล็กกับพื้นผิวของอนุภาคขนาดใหญ่ในไมโครแคปซูล (รูป 4.6G) ซึ่งลักษณะรูปร่างภายนอกที่แตกต่างกันนั้นได้รับผลกระทบมาจากสารห่อหุ้มซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่แตกต่างกัน โครงสร้างที่มีรอยบุบและรอยจีบอาจเกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียความชื้นอย่างรวดเร็วและการเย็นตัวลงของอนุภาค ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของลมร้อนขาเข้า ชนิดของสารห่อหุ้ม รวมไปถึงอัตราส่วนที่ใช้อาจส่งผลต่อรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน ซึ่งจะทำการศึกษาผลของสภาวะในการทำแห้งต่อลักษณะโครงสร้างพื้นผิวภายนอกของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในการทดลองต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4. 5 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า (ซ้ายไปขวา ตามลำดับ) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน A) มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม B) กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม และ C) กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม



รูปที่ 4. 6 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า (ซ้ายไปขวา ตามลำดับ) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน D) มอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม E) มอลโตเดกซ์ทรินและกลูโคแมนแนนไฮโดไลซ์เสทเป็นสารห่อหุ้ม และ F) กัมอารบิกและกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม G) มอลโตเดกซ์ทริน, กัมอารบิก และกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยพิจารณาคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุดจากการศึกษาชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้ม ได้แก่ ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผลิตโดยใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มมาแปรสภาวะในการทำแห้งทั้งหมด 3 สภาวะ ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 (สูตร 8) 170 (สูตร 9) และ 180 (สูตร 10) องศาเซลเซียส จากผลการทดลอง พบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และความสามารถในการละลาย โดยการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลให้ปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระลดลง ในทางตรงกันข้ามการลดอุณหภูมิในการทำแห้งลงจะส่งผลให้ค่าปริมาณความชื้นและ ปริมาณของน้ำอิสระเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.7 งานวิจัยของ Tuyen และคณะ (2010) พบว่าปริมาณความชื้นของฟักข้าวผง (*Momordica cochinchinensis*) ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเข้าจาก 120 ℃ เป็น 200 ℃ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Fazaeli และคณะ (2012) อธิบายว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (110, 130, และ 150 ℃) ในการผลิตผงน้ำหม่อนดำด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่งผลให้ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระลดลง เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในอนุภาคสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้น้ำระเหยเร็วขึ้น และส่งผลให้ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง ส่วนค่าความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้ง พบว่าค่าความสามารถในการละลายมีแนวโน้มที่สูงขึ้น (89.64±0.12 ถึง 91.12±0.02 %) โดยความสามารถในการละลายของผงมักจะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งให้สูงขึ้น เนื่องจากอาจจะเกิดชั้นผิวของอนุภาคที่แข็งขึ้นเหนืออนุภาคของผง และทำให้อัตราการแพร่ของโมเลกุลของน้ำผ่านพื้นผิวของอนุภาคลดลง (Quek และคณะ 2007) นอกจากนี้จากการศึกษาของ Chen และคณะ (2008) ยังพบว่าเมื่อควบคุมสภาวะต่างๆในการทำแห้งแบบพ่นฝอยให้คงที่ หากเพิ่มอุณหภูมลมร้อนขาออกให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง และหากเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าความสามารถในการละลายและความชื้นของผลิตภัณฑ์นั้นเป็นผลมาจากอุณภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออกในการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วย แต่ในการทดลองนี้มีการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาออกให้เท่ากัน คือ 90±5 องศาเซลเซียส ดังนั้นความสามารถในการละลายจึงเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพียงอย่างเดียว เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ความสามารถในการละลายลดลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4. 7 ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และความสามารถในการละลายของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรสภาวะในการทำแห้ง

สูตร	ปริมาณความชื้น (%)^{ns}	ปริมาณน้ำอิสระ	ความสามารถในการลาย (%)
3	2.03±0.09	0.202±0.00^{ab}	90.68±0.07^{b}
8	2.11±0.16	0.227±0.01^{a}	89.64±0.12^{c}
9	1.94±0.09	0.195±0.02^{ab}	90.86±0.25^{ab}
10	1.86±0.11	0.189±0.01^{c}	91.12±0.02^{a}

สูตร 3 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C, สูตร 8 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C, สูตร 9 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C, สูตร 10 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 °C

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ (^{a,b,c}) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร (ns) ในแนวสดมภ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ค่าสีของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยการแปรสภาวะในการทำแห้งที่แตกต่างกัน คืออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 150 ถึง 180 องศาเซลเซียส พบว่าการแปรอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าส่งผลต่อค่า *L*, a* และ b** ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($p \leq 0.05$)* จากตารางที่ 4.8 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ส่งผลให้ค่าความสว่าง *(L*)* มีค่าสูงขึ้น นั่นหมายความว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีค่าความสว่างมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้น ส่วนค่า *a** มีแนวโน้มลดลง แต่ยังคงเป็นค่าลบ แสดงว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีความเป็นสีเขียว เช่นเดียวกับค่า *b** ที่มีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 4. 8 ค่าสี *L* a* b** ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรสภาวะในการทำแห้ง

สูตร	สี		
	*L**	*a**	*b**
3	63.43±0.02^{b}	-1.34±0.04^{c}	15.54±0.21^{a}
8	63.36±0.22^{b}	-1.25±0.05^{b}	15.22±0.05^{ab}
9	63.98±0.02^{a}	-1.13±0.02^{ab}	14.96±0.23^{bc}
10	64.32±0.20^{a}	-1.08±0.04^{a}	14.74±0.09^{c}

สูตร 3 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 °C, สูตร 8 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 °C, สูตร 9 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 °C, สูตร 10 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 °C

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ (^{a,b,c}) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกักเก็บ และร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่สภาพวะในการทำแห้งแตกต่างกัน (ตางรางที่ 4.9) พบว่าเมื่ออุณหภูมิในการทำแห้งสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 150 ถึง 170 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าถึง 180 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพในการกักเก็บลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ *($p \leq 0.05$)* เนื่องจากอาจจะเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ของสารประกอบฟีนอลิกที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงขึ้น อาจจะไปทำลายความสมดุลระหว่างอัตราการระเหยของน้ำและการเกิดฟิล์ม ดังนั้นวัสดุห่อหุ้มของไมโครแคปซูลจึงแตกออก ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บลดลง (Shu และคณะ, 2019) ในขณะที่ร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มสูงขึ้น (60.89±4.574 ถึง 63.29±3.675) Tonon และคณะ (2008) ได้ศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างกัน (138 ถึง 202 ℃) ในการผลิตอาไซอิผง (*Euterpe oleraceae* Mart.) ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ลดลง ซึ่งอาจเป็นผลมาจากประสิทธิภาพที่มากขึ้นของกระบวนการถ่ายเทความ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ร้อนและมวลสารที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่สูงขึ้น และที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ต่ำอาจจะทำให้การระเหยของน้ำในไมโครแคปซูลไม่เพียงพอ จึงทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้น้อยลง

ตารางที่ 4. 9 ประสิทธิภาพในการกักเก็บ และร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยการแปรสภาวะในการทำแห้ง

สูตร	ประสิทธิภาพในการกักเก็บ (%)	ร้อยละของปริมาณผลผลิตที่ได้ (%)
3	91.35 ± 0.22^{ab}	61.65 ± 0.43^{c}
8	91.14 ± 0.32^{b}	60.89 ± 0.11^{d}
9	92.50 ± 0.28^{a}	62.46 ± 0.15^{b}
10	88.76 ± 0.75^{c}	63.29 ± 0.25^{a}

สูตร 3 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 ^{o}C, สูตร 8 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 ^{o}C, สูตร 9 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 ^{o}C, สูตร 10 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 ^{o}C

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ (^{a,b,c,d}) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยการแปรสภาวะในการทำแห้ง พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจาก 150 ถึง 170 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ *($p>0.05$)* และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าถึง 180 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่สูงเกินไปอาจจะทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีอลิก เช่นเดียวกับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น จาก 150 ถึง 170 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าถึง 180 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.10 แสดงว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด ได้แก่ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการทดสอบหาปริมาณกรดคาฟีโอลิลควินิกและกรดไดคาฟีโอลิลควินิก ที่ทดสอบด้วยเทคนิค HPLC พบว่าให้ผลตรงข้ามกัน โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าถึง

180 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิก สูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.7

ตารางที่ 4. 10 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH และFRAP ของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยแปรสภาวะในการทำแห้ง

สูตร	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/ g db)^{ns}	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH (μM trolox equivalent/g db)	ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี FRAP (μM trolox equivalent/g db)
3	32.68±0.97	208.47±3.38^{a}	3,059.26±101.26^{ab}
8	29.53±1.63	182.72±2.59^{b}	2,868.52±65.47^{b}
9	33.57±2.55	212.63±3.88^{a}	3,142.59±61.98^{a}
10	28.11±2.20	176.52±6.17^{b}	2,587±129.20^{c}

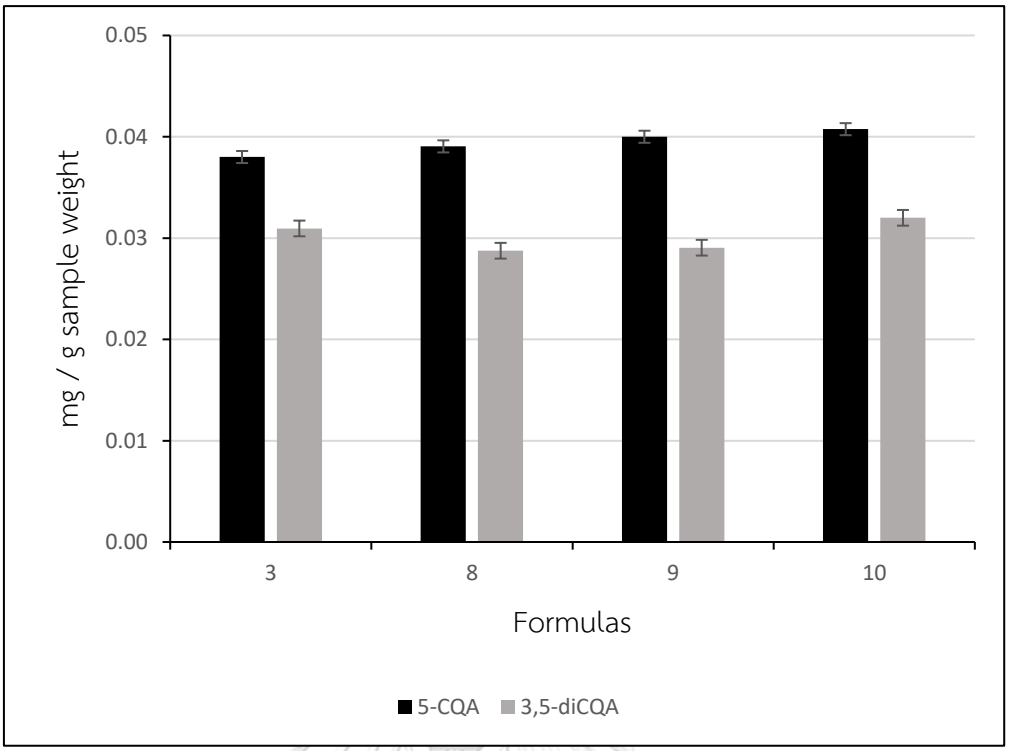
สูตร 3 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 160 ^{o}C, สูตร 8 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 ^{o}C, สูตร 9 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 ^{o}C, สูตร 10 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 ^{o}C

* ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรแตกต่างกันในแนวสดมภ์ (^{a,b,c}) มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

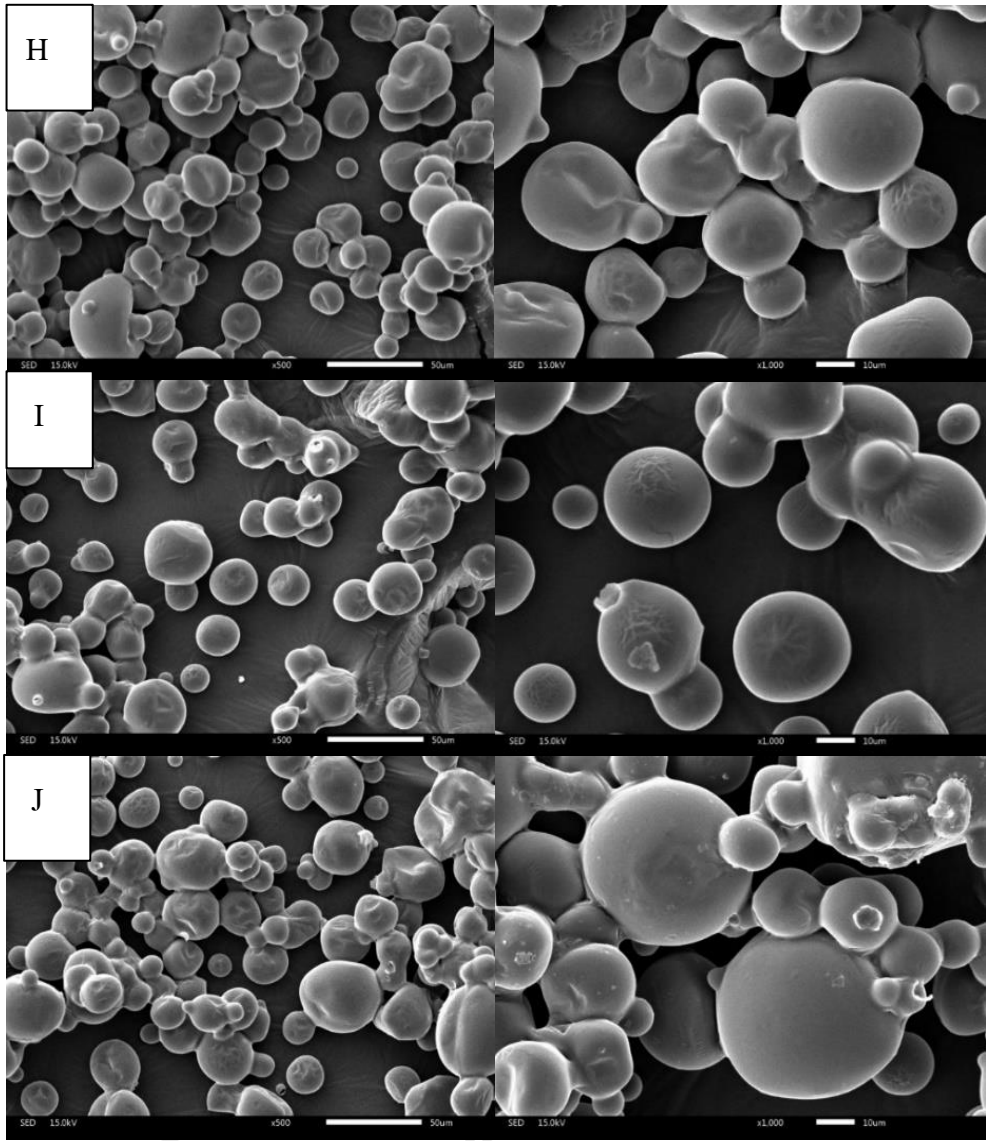
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

* ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษร (ns) ในแนวสดมภ์ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$)



รูปที่ 4. 7 ปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิก ที่พบในไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน

การศึกษาลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน เมื่อแปรสภาวะในการทำแห้งที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ พบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล โดยการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าทำให้ขนาดอนุภาคมีแนวโน้มที่จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ในขณะที่เมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าลดลง จะทำให้อนุภาคแห้งช้าลง ส่งผลให้อนุภาคมีการจับการอย่างหนาแน่นมากขึ้น และมีรอยบุบหรือรอยจีบ ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูลที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเซทเป็นสารห่อหุ้ม โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างกันแสดงในรูปที่ 4.8 โดยเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าลดลง จะทำให้มีรอยบุบหรือรอยจีบบนอนุภาค ในขณะที่อุณหภูมิการทำแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอนุภาคที่มีพื้นผิวเรียบมากขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับความแตกต่างของอัตราการทำให้แห้ง โดยจะมีค่าสูงกว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการทำแห้งที่สูงขึ้น ทำให้น้ำระเหยเร็วขึ้น และทำให้ลักษณะรูปร่างของอนุภาคเรียบขึ้น (Tonon และคณะ, 2008) นอกจากนี้ Saénz และคณะ (2009) อธิบายว่ารอยบุบและรอยจีบที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของไมโครแคปซูลเป็นผลเนื่องมาจากการหดตัวของไมโครแคปซูลที่มีโครงสร้างทรงกลมกลวงที่ยุบตัวลง เนื่องจากการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วระหว่างการทำแห้ง ส่งผลให้พื้นผิวเกิดเป็นรอยบุบและรอยจีบขนาดเล็ก



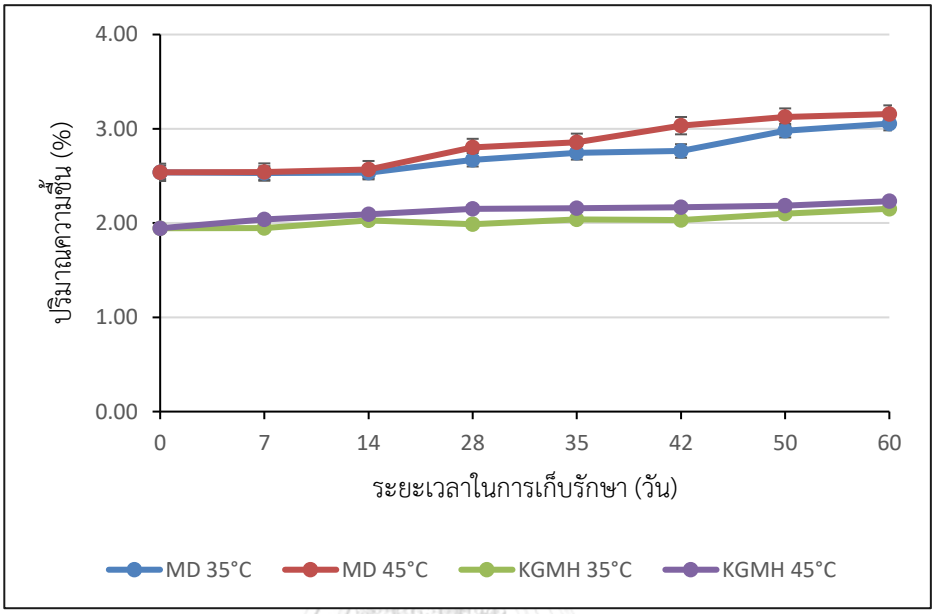
รูปที่ 4. 8 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 เท่า และ 1000 เท่า (ซ้ายไปขวา ตามลำดับ) ของไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน H) กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150°C I) กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170°C และJ) กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180°C

4.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวัน

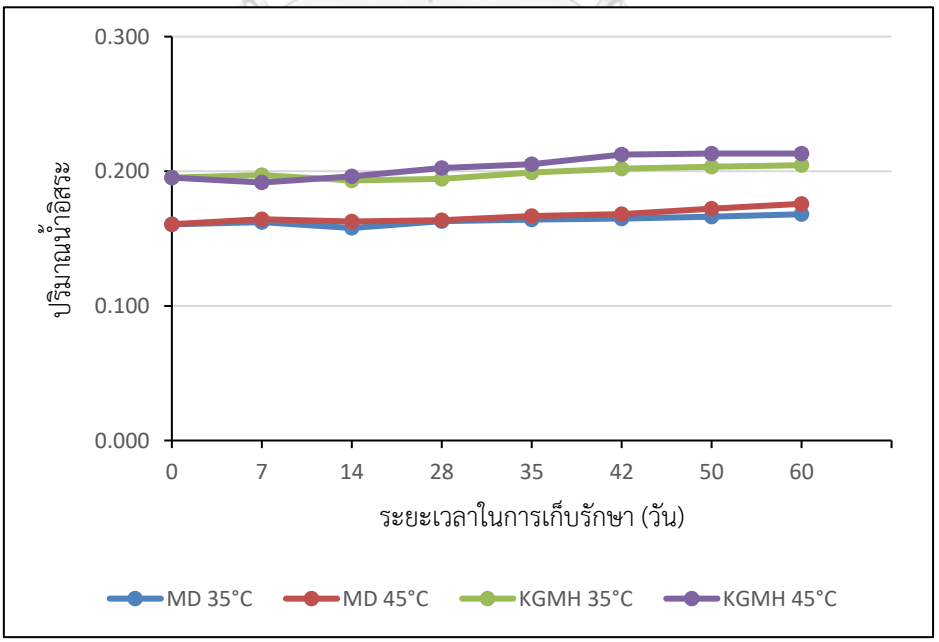
การศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ผงไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิลมร้อนขาออกเท่ากับ 90±5 องศาเซลเซียส โดยศึกษาเปรียบเทียบสารเคลือบที่ใช้ในการห่อหุ้มที่แตกต่างกันสองชนิด ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน และ กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท ทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 วัน จากนั้นสุ่มตัวอย่างมาตรวจคุณภาพทางเคมีกายภาพของไมโครแคปซูล ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความสามารถในการละลาย ค่าสี ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิก ทุกๆ 1 สัปดาห์ จากการศึกษาปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลนานขึ้น ความชื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในทุกตัวอย่าง และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในการห่อหุ้มไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.0.5$) โดยไมโครแคปซูลที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มมีปริมาณความชื้นมากกว่าไมโครแคปซูลที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม โดยไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่านทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าความชื้นเริ่มต้น เท่ากับ 2.54±0.12 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน พบว่าค่าความชื้นเพิ่มขึ้นเป็น 3.06±0.01 และ 3.16±0.04 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา เท่ากับ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่ตัวอย่างไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 1.95±0.02 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน ความชื้นของตัวอย่างเพิ่มขึ้นเป็น 2.15±0.07 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความชื้นเท่ากับ 2.23±0.06 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ พบว่า ปริมาณน้ำอิสระมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.0.5$) โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกตัวอย่าง ตัวอย่างไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.161±0.00 ถึง 0.168±0.00 และ 0.161±0.00 ถึง 0.176±0.01 เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเมื่อเก็บรักษาไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำอิสระเพิ่มขึ้นเป็น 0.205±0.00 และ 0.217±0.01ตามลำดับ (รูปที่ 4.10) เนื่องจากไมโคร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันถูกบรรจุไว้ในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ลามิเนต ซึ่งมีสมบัติในการป้องกันความชื้นและแสงได้ดี อีกทั้งยังบรรจุภายใต้ภาวะสูญญากาศ จึงทำให้มีความสามารถในการควบคุมระดับความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของตัวอย่างไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันได้ดี

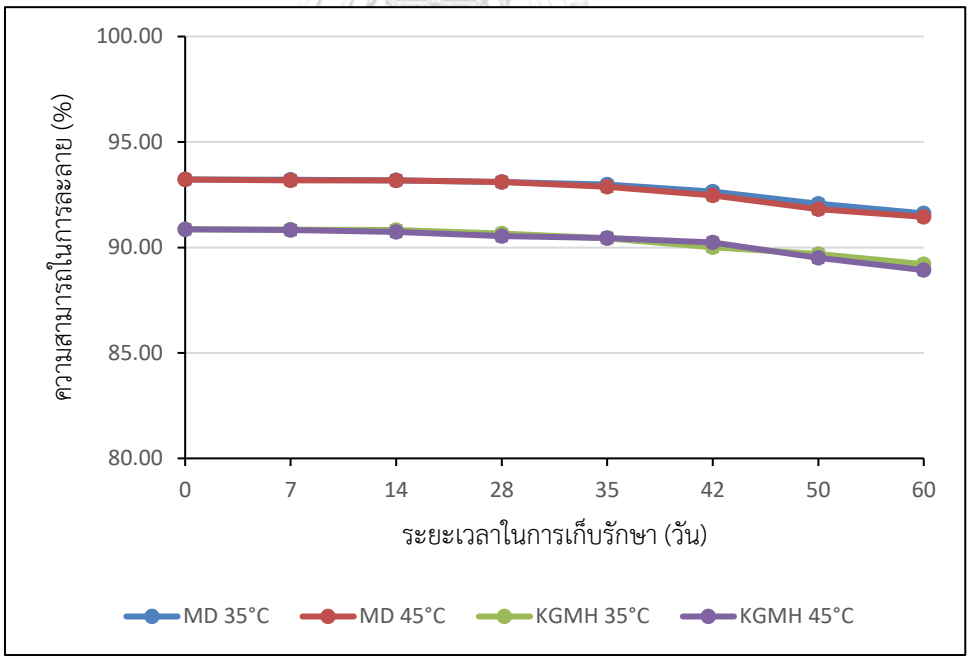


รูปที่ 4. 9 ร้อยละปริมาณความชื้นของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา



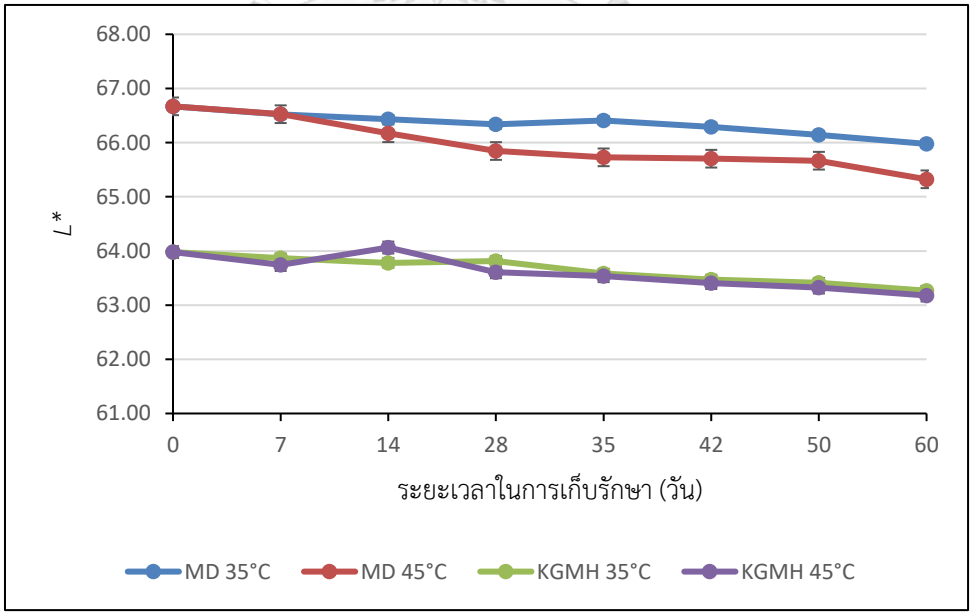
รูปที่ 4. 10 ปริมาณน้ำอิสระของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อศึกษาความสามารถในการละลาย พบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลเพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลนานขึ้น ค่าความสามารถในการละลายมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.0.5) โดยค่าความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส มีค่าความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง 93.22±0.93 ถึง 91.61±0.02 % ในขณะที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา เท่ากับ 45 องศาเซลเซียส มีค่าความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง 93.22±0.93 ถึง 91.45±0.02 % ส่วนไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส มีค่าความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง 90.86±0.05 ถึง 89.21±0.05 % และที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา เท่ากับ 45 องศาเซลเซียส มีค่าความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง 90.86±0.05 ถึง 88.93±0.07 % ดังแสดงในรูปที่ 4.11 การที่ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีค่าความสามารถในการละลายลดลงเนื่องจากอาจจะเกิดจากปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ค่าความสามารถในการละลายมีค่าที่ลดลง



รูปที่ 4. 11 ความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา

การวัดค่าสีของตัวอย่างไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันเริ่มต้นและระยะเวลาสุดท้ายของการศึกษาอายุการเก็บรักษาสามารถใช้เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของตัวอย่าง หากตัวอย่างมีสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมาก อาจจะส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคได้ จากการวิเคราะห์ค่าสีของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 60 วัน พบว่าค่าความสว่าง (L^*) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้ชนิดสารห่อหุ้มต่างกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.0.5$) เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าค่า L^* ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในทุกตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.0.5$) โดยมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยจากวันเริ่มต้นของการเก็บรักษา เมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน พบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าความสว่างเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส เท่ากับ 65.98±0.13 และ 65.32±0.20 ตามลำดับ ส่วนไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าความสว่างเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส เท่ากับ 63.27±0.16 และ 63.18±0.14 ตามลำดับ โดยไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีการลดลงของค่า L^* รวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 35 องศาเซลเซียส ($p>0.0.5$) (รูปที่ 4.12)



รูปที่ 4. 12 ค่า L^* value ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา

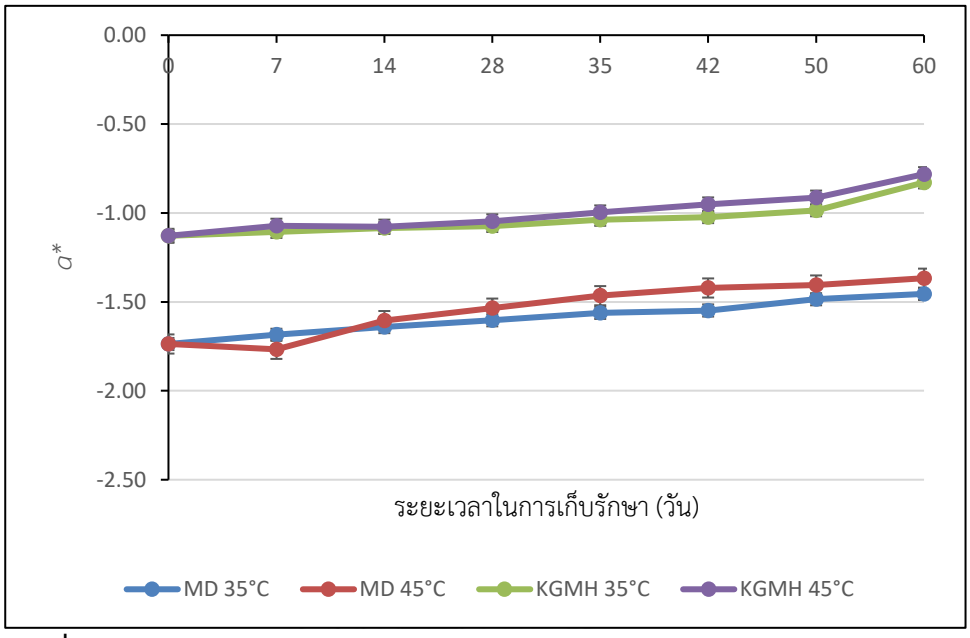
เมื่อพิจารณา ค่า *a** ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลนานขึ้น ส่งผลให้ค่า *a** ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้สารห่อหุ้มต่างชนิดกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยค่า *a** มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากวันแรกในการเก็บรักษา โดยพบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 45 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ค่า *a** มีค่าเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสเล็กน้อย ($p > 0.0.5$) และไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีการเพิ่มขึ้นของค่า *a** มากกว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม โดยค่า *a** เริ่มต้นของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม มีค่าเท่ากับ -1.74±0.01 เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 60 วัน ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่า *a** เท่ากับ -1.46±0.04 และ -1.37±0.06 ตามลำดับ (รูปที่ 4.13) เช่นเดียวกันกับค่า *b** ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น ซึ่งในรูปที่ 4.14 แสดงค่า *b** ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน เมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน พบว่าค่า *b** มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ($p > 0.0.5$) จากวันแรกของการเก็บรักษา โดยไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ค่า *b** มีค่าเพิ่มขึ้น 0.69 ยูนิต และที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 45 องศาเซลเซียส ค่า *b** เพิ่มขึ้น 1.10 ยูนิต ขณะที่ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่า *b** เพิ่มขึ้นจากวันแรกของการเก็บรักษา เท่ากับ 0.75 และ 1.12 ยูนิต ตามลำดับ โดยค่า *b** เป็นการวัดความแตกต่างระหว่างค่าสีน้ำเงิน (–) และสีเหลือง (+) จากผลการทดลองจะสังเกตได้ว่าตัวอย่างไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในทุกตัวอย่างมีการเพิ่มขึ้นของค่า *b** ในระหว่างระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งบ่งชี้ว่าการสูญเสียสีน้ำเงินที่เกิดขึ้น เกิดจากการเสื่อมสภาพของสารประกอบฟีนอลิกในระหว่างการเก็บรักษา ค่าความแตกต่างของสี หรือ ΔE^* คือค่าความแตกต่างของสีตัวอย่างก่อนการเก็บรักษาเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ผ่านการเก็บรักษา 60 วัน โดยถ้า ΔE^* มีค่ามาก แสดงว่า ตัวอย่างมีสีแตกต่างจากค่าเริ่มต้นมาก โดยค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) แสดงในรูปที่ 4.18 พบว่าเมื่อระยะเวลาในเก็บรักษานานขึ้น ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากวันแรกของการเก็บรักษา และเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ก็ส่งผลให้ค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นเดียวกัน โดยที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) เพิ่มขึ้นมากกว่าที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา เท่ากับ 35 องศาเซลเซียส ค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) ที่เพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

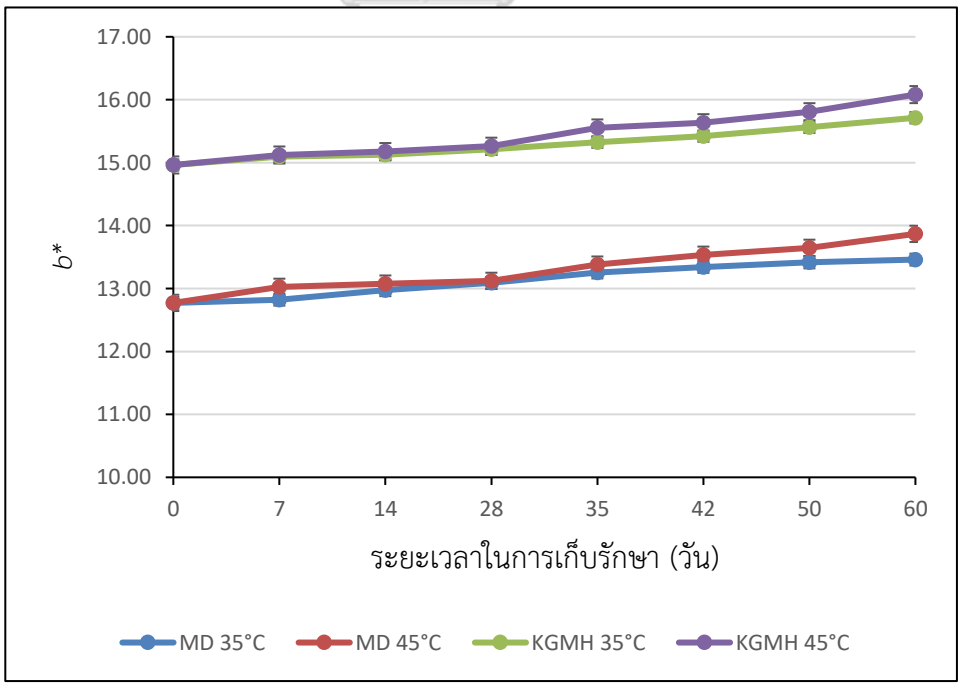
นั้น แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ค่า *L* a** และ *b** จะมีการเปลี่ยนแปลงจากวันที่เริ่มต้นในการเก็บรักษาเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อนำค่า *L* a** และ *b** มาคำนวณหาค่าความแตกต่างของค่าสี (*ΔE**) แล้ว พบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีการเปลี่ยนแปลงของสีที่สามารถเห็นได้อย่างชัดเจน งานวิจัยของ นันทนิตย์ และคณะ (2556) รายงานว่าการเก็บรักษาไมโครแคปซูลสารสกัดใบหม่อนที่ผลิตโดยใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทและมอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น และระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลมากขึ้น เพราะอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะเร่งการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ไมโครแคปซูลสารสกัดใบหม่อนมีสีน้ำตาลมากขึ้น และระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นก็ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดได้มากขึ้นเช่นกัน เนื่องจากกลูโคแมนแนนเมื่อถูกย่อยด้วยเอนไซม์จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์บางส่วนเป็นน้ำตาลกลูโคส และแมนโนส ซึ่งเป็นน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้หมูคาร์บอนิลของน้ำตาลเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีน (amine group) ของกรดอะมิโน ได้เป็นไกลโคซิลเอมีน (N-substituted glycosylamine) จากนั้นไกลโคซิลเอมีนที่ไม่เสถียรจะจัดเรียงตัวใหม่ผ่าน Amadori rearrangement และฟอร์มตัวเป็นสารประกอบ Amadori นำไปสู่การก่อตัวของสารประกอบที่ให้สีน้ำตาล ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาสูงขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาต่าง ๆ เกิดในอัตราที่เร็วขึ้นและมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี โดยงานวิจัยของ Zimmerman และ Zimmer (1978) รายงานว่าเมล็ดทานตะวันประกอบดวยกรดอะมิโนที่จำเปนตอรางกายหลายชนิด โดยเมล็ดที่ลอกเปลือกออกประกอบด้วยโปรตีนหยาบประมาณ 20-40% โดยประกอบด้วยโปรตีน ประมาณ 87–99% และอีก 1–13% มาจากเปปไทด์ กรดอะมิโน หรือสารไนโตรเจนอื่นๆ Obón และคณะ (2009) อธิบายว่าค่าความต่างของสี มีการเปลี่ยนแปลงจาก 0-1.5 เป็นการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก ไม่สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างได้จากตาเปล่า และเมื่อค่าความแตกต่างของสีเพิ่มขึ้นจาก 1.5 ถึง 5 จึงจะสามารถแยกความแตกต่างของค่าสีด้วยตาเปล่าได้ ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกต่างของสีอยู่ในช่วง 0-1.5 ซึ่งแสดงว่าสีของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีการเปลี่ยนแปลงจากวันแรกในระดับที่น้อยมาก ขณะที่ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่าความแตกต่างของสีมากกว่า อยู่ในช่วง 0-1.7 เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Moser และคณะ (2017) รายงานว่า ค่าความแตกต่างของสีของตัวอย่างน้ำองุ่นผงเพิ่มขึ้น (1.79) เมื่อเก็บน้ำองุ่นผงเป็นระยะเวลา 150 วัน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

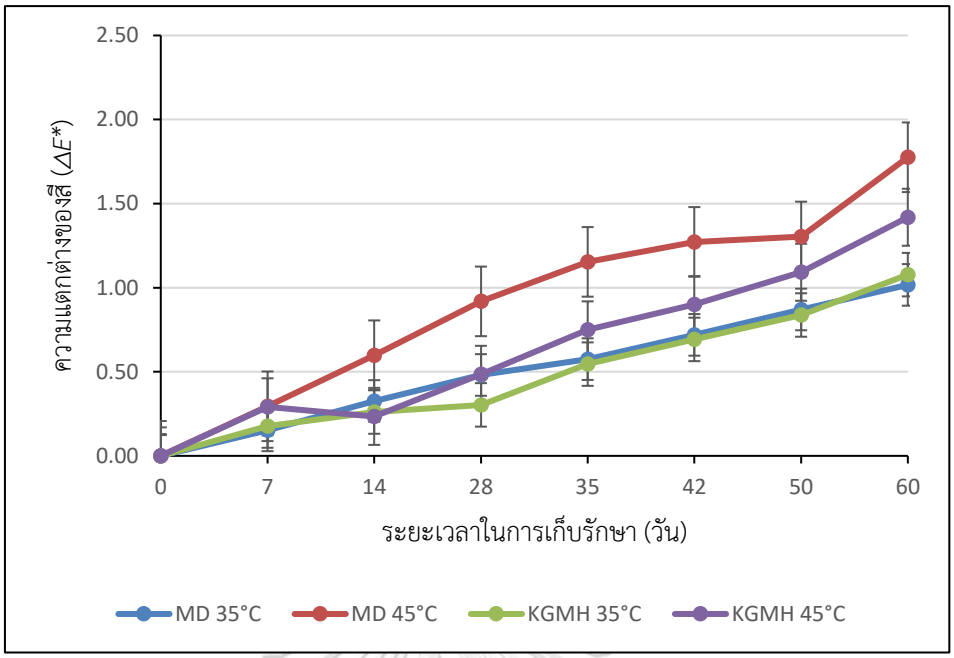
เกิดจากระยะเวลาในการเก็บรักษาที่นานขึ้นส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของตัวอย่างทำให้ค่าสีมีการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4. 13 ค่า *a** value ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา



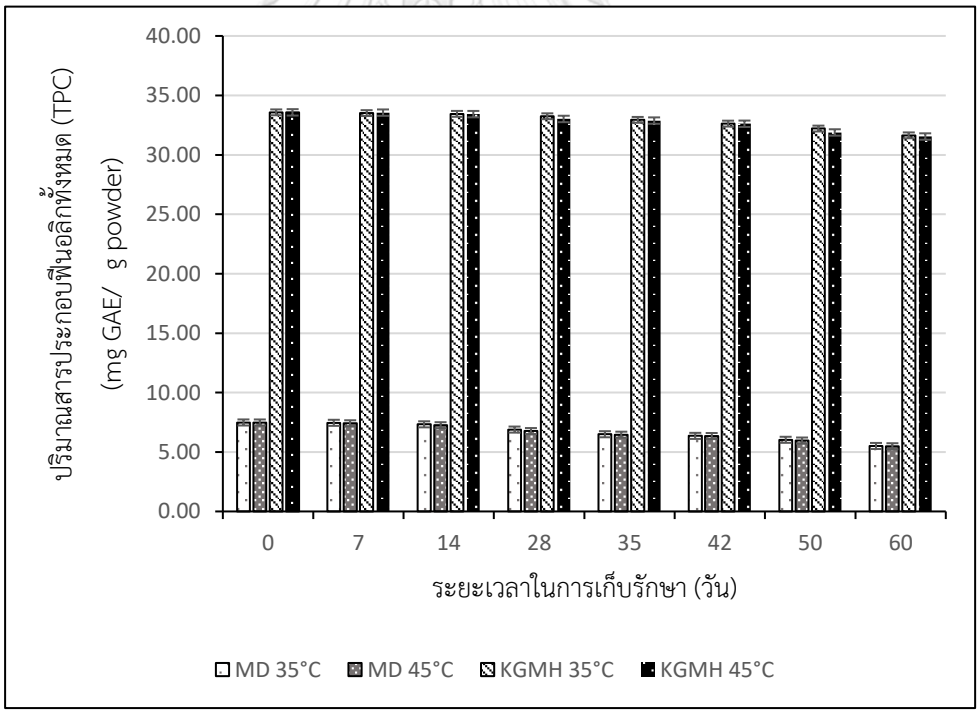
รูปที่ 4. 14 ค่า *b** value ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 4. 13 ค่า ΔE^* ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา

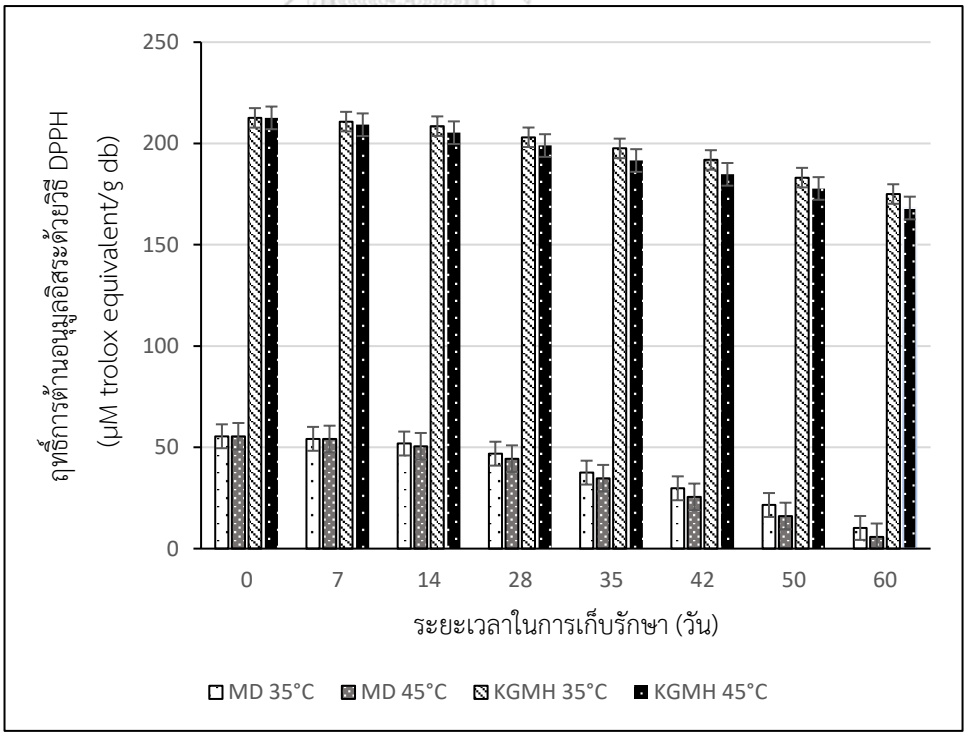
เกณฑ์ที่สำคัญที่สุดประการหนึ่งในการประเมินคุณภาพของสารประกอบฟีนอลิกในไมโครแคปซูล คือระยะเวลาที่ผลิตภัณฑ์ผงยังคงรักษาฤทธิ์ทางชีวภาพ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตลอดจนฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ จากการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน ภายใต้สภาวะในการเก็บรักษาที่ต่างกัน (อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส) และเปรียบเทียบชนิดสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน และกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษานานขึ้น และอุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.0.5) โดยพบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 7.48±0.05 mg GAE/ g db และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยที่อายุการเก็บรักษา 60 วัน ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เท่ากับ 6.03±0.20 และ 5.96±0.25 mg GAE/ g db ตามลำดับ ส่วนไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเริ่มต้น เท่ากับ 33.57±2.56 mg GAE/ g db เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเท่ากับ 60 วัน พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส เท่ากับ 31.64± 0.32 และ 31.54±0.43 mg GAE/ g

db ดังแสดงในรูปที่ 4.16 Tolun และคณะ (2020) รายงานว่าการสูญเสียปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในระหว่างการเก็บรักษาไมโครแคปซูลสารสกัดจากกากองุ่น พบในตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม (22.3%) มากกว่าตัวอย่างที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินร่วมกับกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม (18.9%) แสดงว่าการรวมกันของมอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกในการห่อหุ้มสารสกัดจากกากองุ่นให้การป้องกันสารสำคัญที่ดีกว่าการใช้มอลโตเดกซ์ทรินเพียงชนิดเดียวเป็นสารห่อหุ้ม การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษา เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน การสลายตัว อีพิเมอร์ไรเซชัน และพอลิเมอร์ไรเซชัน (Norkaew และคณะ 2019) และการลดลงของสารประกอบฟีนอลิกที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ การสัมผัสกับออกซิเจน และแสง ระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นของตัวอย่างในระหว่างการเก็บรักษา สามารถเร่งการสลายตัว (degradation) ของสารประกอบฟีนอลิกได้ (Sablani, 2006)



รูปที่ 4. 14 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) (mg GAE/ g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา

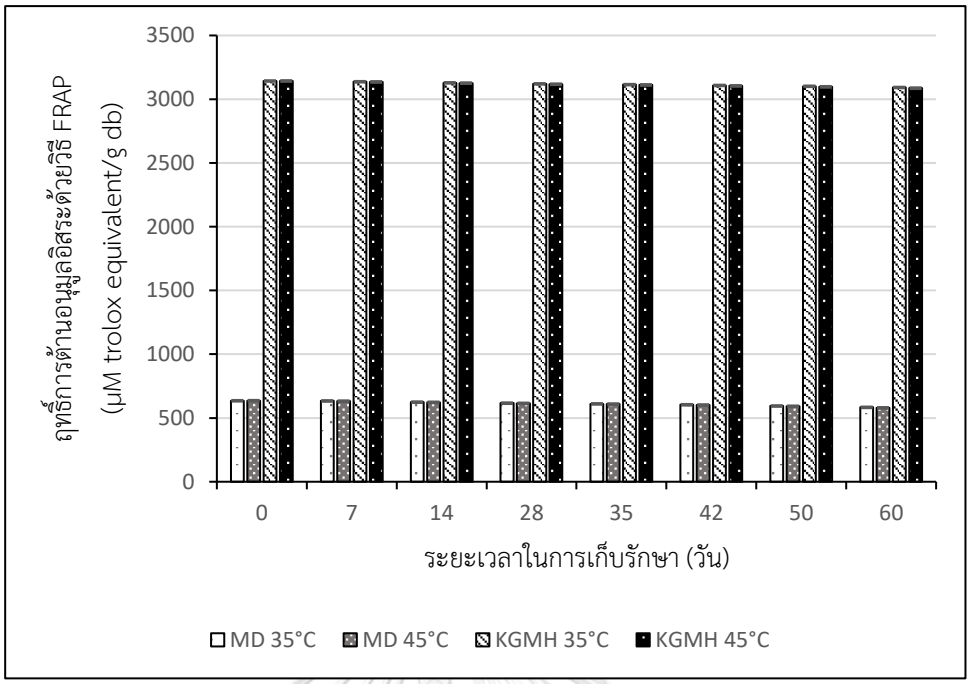
การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน ที่ใช้สารห่อหุ้มแตกต่างกันได้แก่ มอลโตเดกซ์ทริน และกลูโคแมนแนนไฮโดรไลซ์เสท ภายใต้สภาวะในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเริ่มต้นเท่ากับ 55.46±1.59 μM trolox equivalent/g db และเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นส่งผลให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH มีแนวโน้มลดลง โดยเมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 35.652±4.215 และ 31.873±3.742 μM trolox equivalent/g db ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (รูปที่ 4.17) ส่วนไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ลดลงน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม *($p \leq 0.05$)* โดยเมื่อเวลาผ่านไป 60 วัน มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH เท่ากับ 175.04±2.49 และ 168.14±3.88 μM trolox equivalent/g db ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิในการเก็บรักษาจึงมีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH



รูปที่ 4. 15 ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (μM trolox equivalent/g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา

เมื่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันระหว่างการเก็บรักษา โดยไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม และไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เริ่มต้น เท่ากับ 635.19± 2.62 และ 3142.59± 61.98 μM trolox equivalent/g db ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาการเก็บรักษาเป็นเวลา 60 วัน ที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส โดยไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 583.33±2.62 และ 579.01±6.98 μM trolox equivalent/g db ตามลำดับ (รูปที่ 4.18) จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิในการเก็บรักษามีผลต่อฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP อย่างไม่มีนัยสำคัญ (p<0.05) โดยที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสมีการลดลงของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP มากกว่า เช่นเดียวกับไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม พบว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาผ่านไป 60 วัน ตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงของฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ 45 องศาเซลเซียส มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP เท่ากับ 3091.98± และ 3086.42±8.73 μM trolox equivalent/g db ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ด้วยวิธี DPPH พบว่า ให้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบด้วยวิธี FRAP มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่น้อยกว่าวิธี DPPH ซึ่งอาจจะเกิดจากสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบในสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีหลายชนิด ทำให้ส่งผลต่อการต้านอนุมูลอิสระที่แตกต่างกัน

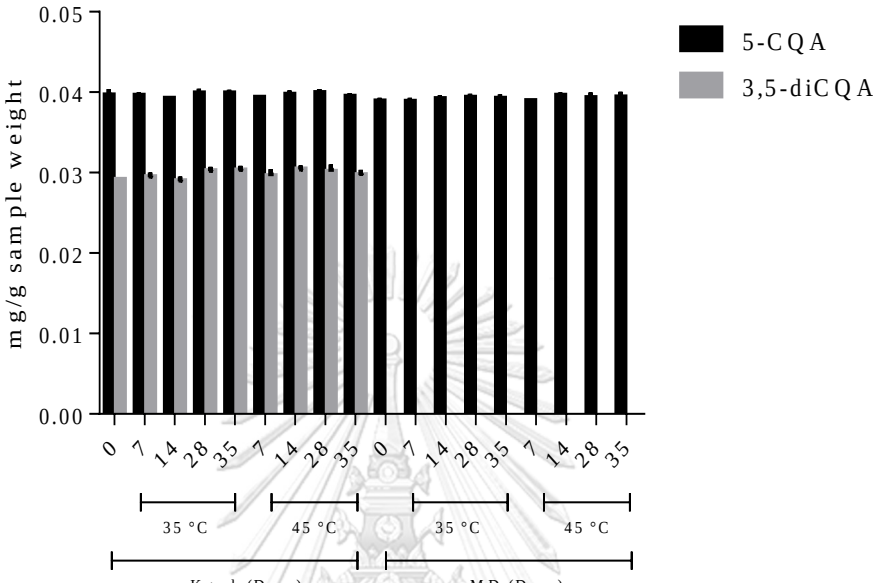
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4. 16 ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (μM trolox equivalent/g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา

การศึกษาปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิกที่พบในไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษาด้วยเทคนิค HPLC เพื่อเป็นการยืนยันปริมาณกรดกรดคาฟิโออิลควินิกและไดคาฟิโออิลควินิกในไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา จากรูปที่ 4.19 พบว่า เมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันเท่ากับ 35 วัน ปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิก และไดคาฟิโออิลควินิกมีการเปลี่ยนแปลงในระดับที่น้อยมากในทุกตัวอย่าง โดยชนิดของสารห่อหุ้ม ไม่ส่งผลต่อปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.0.5) เมื่อพิจารณาปริมาณกรดไดคาฟิโออิลควินิก พบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม ไม่พบปริมาณกรดไดคาฟิโออิลควินิกในตัวอย่าง ในขณะที่ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มยังคงพบปริมาณกรดไดคาฟิโออิลควินิกในตัวอย่าง แสดงว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มมีประสิทธิภาพในการกักเก็บกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิกได้ดี โดยมีปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิกเริ่มต้น เท่ากับ 0.0396±0.00 และ 0.0291±0.00 mg/g DW ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาผ่านไป 35 วัน ยังคงมีปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิก และกรดไดคาฟิโออิลควินิกเหลืออยู่เท่ากับ 0.030±0.00 และ 0.0297±0.00 mg/g DW ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 และ 45 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิก และกรดไดคาฟิโออิลควินิกที่เหลืออยู่จึงเป็นการ

ยืนยันว่ากรดคาฟิโออิลควินิกและกรดไดคาฟิโออิลควินิกมีความคงตัวต่อความร้อนสูงในระหว่างการเก็บรักษาไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันภายใต้สภาวะที่ต่างกัน

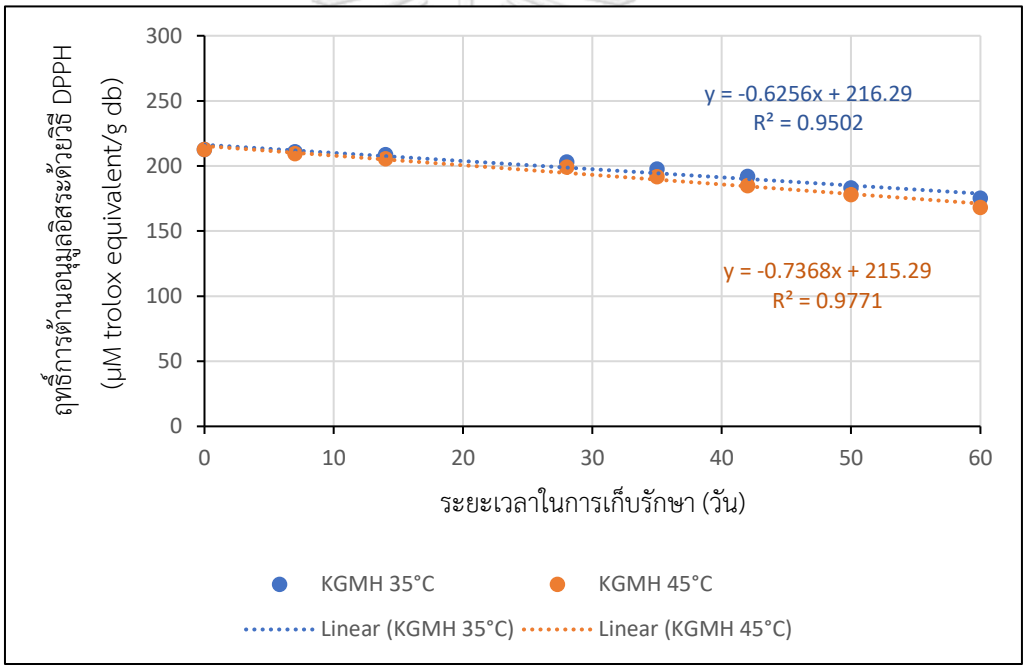


รูปที่ 4. 17 ปริมาณกรดคลอโรจีนิกและสารอนุพันธ์กรดคาฟิโออิลควินิก (mg/g DW) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษา

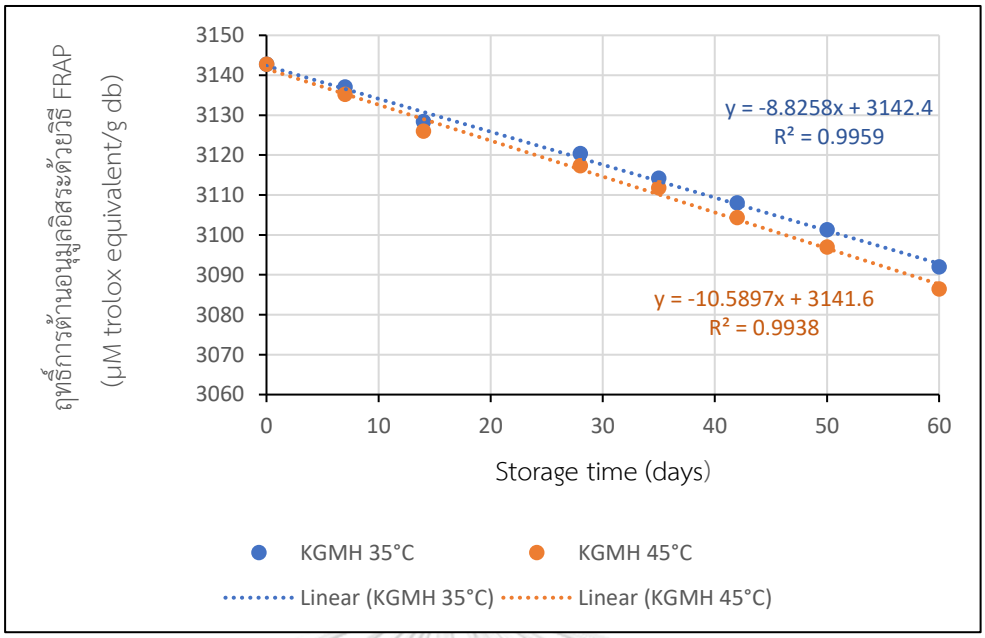
การทำนายอายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน โดยพิจารณาเลือกไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มมาคำนวณอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพได้ดี นำค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและระยะเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 และ 45 องศาเซลเซียส โดยพิจารณาจากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ลดลง 50% ของค่าเริ่มต้นเป็นเกณฑ์ในการตัดสิน ซึ่งกราฟที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.20 และ 4.21 จากผลการศึกษาพบว่าอัตราเปลี่ยนแปลงค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ซึ่งค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH ลดลงด้วยอัตราคงที่ ซึ่งจะใช้ในการหาอายุการเก็บรักษา โดยใช้เทคนิค Q_{10} เป็นวิธีการเร่งอุณหภูมิในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสียเร็วกว่าปกติ ทำให้สามารถประมาณผลของสภาพการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ได้โดยใช้สภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 และ

45 องศาเซลเซียส เพื่อหาระยะเวลาที่ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง 50% เป็นเกณฑ์ในการเสื่อมคุณภาพของไมโครแคปซูล

จากการทำนายอายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันพบว่า ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันสามารถเก็บรักษาได้นานประมาณ 176 วัน (5 เดือน) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35องศา และเก็บได้นาน148 วัน (4 เดือน) เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 45 องศา และเมื่อคำนวณอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศา ด้วยวิธี Q_{10} พบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันสามารถเก็บรักษาได้นาน 207 วัน (6 เดือน) เมื่อคำนวณตามสมการที่ 4.1 อายุการเก็บรักษาของไมโครแคปซูลที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงในตารางที่



รูปที่ 4. 18 ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (µM trolox equivalent/g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ในระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 4. 19 ค่าฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (µM trolox equivalent/g db) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน ปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ในระหว่างการเก็บรักษา

$$Q_{10} = \frac{\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ } \mathbf{T+10\ (^{\circ}C)}}{\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ } \mathbf{T\ (^{\circ}C)}} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } \mathbf{T}\ (\text{วัน})}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } \mathbf{T+10}\ (\text{วัน})} \quad \textbf{(4.1)}$$

$$Q_{10} = \frac{\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ } \mathbf{45^{\circ}C}}{\text{อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ } \mathbf{35^{\circ}C}}$$

$$Q_{10} = (0.7368/0.6256)$$

$$Q_{10} = 1.18$$

$$Q_{10} = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } \mathbf{25\ ^{\circ}C}\ (\text{วัน})}{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } \mathbf{35\ ^{\circ}C}\ (\text{วัน})}$$

$$1.18 = \frac{\text{อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ } \mathbf{25\ ^{\circ}C}\ (\text{วัน})}{\mathbf{176}}$$

อายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เท่ากับ 207 วัน หรือประมาณ 6 เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4. 11 ค่าครึ่งชีวิตของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

อุณหภูมิในการเก็บรักษา (°C)	ค่าครึ่งชีวิตของไมโครแคปซูล ที่ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (วัน)	ค่าครึ่งชีวิตของไมโครแคปซูล ที่ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP (วัน)
25	207 (~6 เดือน)	214 (~6 เดือน)
35	176 (~5 เดือน)	178 (~5 เดือน)
45	148 (~4 เดือน)	148 (~4 เดือน)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากต้นอ่อนทานตะวันด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยการใช้มอลโตเดกซ์ทริน กัมอารบิก และกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มที่อัตราส่วนแตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน พบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารห่อหุ้มชนิดอื่น ($p \leq 0.05$) แสดงว่าการใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเพียงชนิดเดียวเป็นสารห่อหุ้มมีความเหมาะสมในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิก รวมถึงส่งผลให้ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ทดสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP สูงอีกด้วย นอกจากนี้ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 1.54 ถึง 2.86% (w.b.) และปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.152-0.213 และค่าที่ได้มีความเหมาะสมต่อผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาหารประเภทอบแห้งควรมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 และควรมีค่าความชื้นไม่เกิน 12 เปอร์เซ็นต์ (Thai Community Product Standard, 2016) ส่วนความสามารถในการละลายของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในทุกตัวอย่าง มีค่ามากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในทุกตัวอย่างมีความสามารถในการละลายอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และจากการศึกษาลักษณะพื้นผิวภายนอกของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้ชนิดและอัตราส่วนของสารห่อหุ้มแตกต่างกันส่งผลต่อรูปร่างและลักษณะพื้นผิวภายนอกของไมโครแคปซูลอย่างชัดเจน โดยไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม มีรูปรูปร่างเป็นทรงกลม และพื้นผิวเรียบมากกว่าการใช้สารห่อหุ้มชนิดอื่น ในขณะที่การใช้มอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้มมีพื้นผิวที่ไม่เรียบและมีรอยบุบโดยรอบ สภาวะในการทำแห้งของการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของไมโครแคปซูล โดยอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บ ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และการฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าจาก 150-170 องศาเซลเซียส ในขณะที่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าถึง 180 องศาเซลเซียส ค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลง ยกเว้นปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและร้อยละผลผลิตที่ได้ที่มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อนำไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมาศึกษาการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิในการเก็บรักษา 35 และ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 60 วัน โดยเปรียบชนิดของสารห่อหุ้ม (มอลโตเดกซ์ทริน และกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท) พบว่า ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และค่าความแตกต่างของสี (ΔE^*) ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการละลาย ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิก และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ FRAP มีแนวโน้มลดลง โดยอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ต่างกันไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของไมโครแคปซูล และสามารถเก็บรักษาไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ได้นาน 6 เดือน

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาชนิดของสารห่อหุ้ม 3 ชนิด ประกอบด้วย มอลโตเดกซ์ทริน กัมอารบิก และกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทในการเอนแคปซูเลชันสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าการใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้มในการผลิตไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันมีประสิทธิภาพในการกักเก็บสารประกอบฟีนอลิก และคงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่สูงกว่าสารห่อหุ้มชนิดอื่น แต่มีร้อยละของผลผลิตที่ได้ต่ำ ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการปรับอัตราส่วนของกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสท และสภาวะในการทำแห้งให้มีความเหมาะสม เพื่อให้มีร้อยละของผลผลิตที่ได้สูงขึ้น นอกจากอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าแล้ว ยังมีพารามิเตอร์อื่นๆที่สำคัญในการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ควรได้รับการศึกษาเพิ่มเติม เช่น อัตราการไหล และอุณหภูมิลมร้อนขาออก เป็นต้น และในงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันในปริมาณที่น้อย อาจจะส่งผลให้ได้ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และการฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ไม่สูงมากนัก ดังนั้นการศึกษาเพิ่มเติมในการปรับอัตราส่วนปริมาณสารสกัดต่อสารห่อหุ้ม อาจจะส่งผลให้ได้ไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่มีประสิทธิภาพและมีปริมาณสำคัญที่ต้องการเพิ่มขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จิราภรณ์ สอนจิตร์. (2537). วารสาร สกว สถาบันค้นคว้าและพัฒนาระบบเกษตรในเขตวิกฤต, 1(4), 7-9

จุไรรัตน์ เกิดดอนแฝก. ทานตะวัน. หนังสือสมุนไพรลดไขมันในเลือด 140ชนิด, 107-108

นิจศิริ เรืองรังษี และ ธวัชชัย มังคละคุปต์. ทานตะวัน. หนังสือสมุนไพรไทย, 1, 114

นุชเนตร ตาเย๊ะ. 2555. ผลของสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยและวัตถุเจือปนในอาหารต่อคุณภาพของนมแพะผง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นันทนิตย์ สุรพันธุ์. 2556. ผลของการใช้ผงบุกร่วมกับมอลโตเดกซ์ทรินต่อคุณภาพของสารสกัดจากใบหม่อนโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เนตรนภา เมยกลาง และ เฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2557. การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มน้ำผลไม้. วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา), 14(4), 69-79.

ประศาสตร์ ฟูตระกูล วรรณี มาวิมล และ วิลาวัลย์ บุณย์ศุภา. 2554. การพัฒนากรรมวิธีการผลิตมะนาวผงและการทดสอบคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. กรุงเทพฯ, 459, 218-229

ปิยศิริ สุนทรนนท์. 2551. สารต้านอนุมูลอิสระในดอกดาหลา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาชีวเคมี, คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พรศักดิ์ มนัสศิริเพ็ญ และสมยศ จรรยาวิลาส. 2534. การทำแห้งแบบพ่นฝอย. วารสารอาหาร, 20, 246-252.

มยุรี ภาคลำเจียก. 2536 ฟิล์มพลาสติกที่ใช้ในการบรรจุหีบห่ออาหารว่าง. วารสารพลาสติก, 10(3), 72-5.

เมดไทย. 2017. ฐานข้อมูลสมุนไพร [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 15 สิงหาคม 2564 Available from: https://medthai.com/ทานตะวัน/

ไมตรี สุทธจิตต. 2555 ความรูพื้นฐานของออกซิเดชัน. อนุมูลอิสระและสารตานอนุมูลอิสระ. คณะวิทยาศาสตรการแพทย์, มหาวิทยาลัยพะเยา รวมกับ สมาคมเพื่อการวิจัยอนุมูลอิสระไทย, สำนักพิมพนวัตกรรมสุขภาพ, เชียงใหม, 1-14

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2548. การประเมิณอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารในสภาวะเร่ง. Paper presented at the Safety Priorities and Food Technology, กรุงเทพฯ.

รุ่งนภา วิสิฐอุดรการ. 2540. การประเมินอายุการเก็บรักษาของอาหาร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วรัญญา ปานเกตุ. 2554. การทำไมโครเอนแคปซูเลชันของสารสกัดจากมะกรูดโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย สำหรับต้านจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์ปลาสดบด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร, คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วันชัย จันทร์ประเสริฐ. 2538. สรีรวิทยาเมล็ดพันธุ์. คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, 213

วิทยา บุญวรพัฒน์ 2554. ทานตะวัน. หนังสือสารานุกรมสมุนไพรไทย-จีน ที่ใช้บ่อยในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : สมาคมศาสตร์การแพทย์แผนจีนในประเทศไทย, 262

สมบัติ ขอทวีวัฒนา. 2529. การอบแห้งแบบพ่นเป็นผง. กรรมวิธีการอบแห้ง. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 287, 109-141

โสภิตา คำหาญ. 2546. การงอกของเมล็ดพันธุ์พืช. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. อุบลราชธานี.

Ahmed, M., Akter, M. S., Lee, J. C., & 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.

AOAC. 2005. Official method of Analysis. 18th Edition, Association of Officiating Analytical Chemists

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Ayelign, A., & Sabally, K. (2013). Determination of chlorogenic acids (CGA) in coffee beans using HPLC. *American Journal of Research Communication*, 1(2), 78-91.

Ballesteros, L. F., Ramirez, M. J., Orrego, C. E., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2017). Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and spray-drying using different coating materials. *Food chemistry*, 237, 623-631.

Benzie, I. F., & 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.

Bhandari, B., & Howes, T. (2005). Relating the stickiness property of foods undergoing and dried products to their surface energetics. *Drying Technology*, 23(4), 781-797.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.

Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4), 420-428.

Cevallos-Casals, B. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2010). Impact of germination on phenolic content and antioxidant activity of 13 edible seed species. *Food Chemistry*, 119(4), 1485-1490.

Cheevarungnapakul, K., Khaksar, G., Panpetch, P., Boonjing, P., & Sirikantaramas, S. (2019). Identification and functional characterization of genes involved in the biosynthesis of caffeoylquinic acids in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Frontiers in plant science*, 10, 968.

Chen, H. H., Huang, T. C., Tsai, C. H., & Mujumdar, A. S. (2008). Development and performance analysis of a new solar energy-assisted photocatalytic dryer. *Drying Technology*, 26(4), 503-507

Chen, X. D., & Mujumdar, A. S. (Eds.). (2009). *Drying technologies in food processing*. John Wiley & Sons.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Copeland, L. O., & McDonald, M. F. (2012). *Principles of seed science and technology*. Springer Science & Business Media.

Desai, K. G. H., & Park, H. J. (2005). Encapsulation of vitamin C in tripolyphosphate cross-linked chitosan microspheres by spray drying. *Journal of microencapsulation*, 22(2), 179-192.

de Souza, T. A. J., Souza, L. R. R., & Franchi, L. P. (2019). Silver nanoparticles: An integrated view of green synthesis methods, transformation in the environment, and toxicity. Ecotoxicology and environmental safety, 171, 691-700.

Dueñas, M., Hernández, T., Estrella, I., & Fernández, D. (2009). Germination as a process to increase the polyphenol content and antioxidant activity of lupin seeds (*Lupinus angustifolius* L.). *Food chemistry*, 117(4), 599-607.

F. Gibbs, Selim Kermasha, Inteaz Alli, Catherine N. Mulligan, B. (1999). Encapsulation in the food industry: a review. *International journal of food sciences and nutrition*, 50(3), 213-224.

Faria, W. C. S., da Conceicao, E. C., de Melo Moura, W., de Barros, W. M., Converti, A., & Bragagnolo, N. (2020). Design and evaluation of microencapsulated systems containing extract of whole green coffee fruit rich in phenolic acids. *Food Hydrocolloids*, 100, 105437.

Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. K., & Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and bioproducts processing*, 90(4), 667-675.

Ferrari, C. C., Marconi Germer, S. P., Alvim, I. D., & de Aguirre, J. M. (2013). Storage stability of spray-dried blackberry powder produced with maltodextrin or gum arabic. *Drying Technology*, 31(4), 470-478.

Ferreira, I., Rocha, S., & Coelho, M. (2007). Encapsulation of antioxidants by spray-drying. *Chemical Engineering Transactions*, 11(9), 713-717.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Ferreira, C. D., da Conceição, E. J. L., Machado, B. A. S., Hermes, V. S., de Oliveira Rios, A., Druzian, J. I., & Nunes, I. L. (2016). Physicochemical characterization and oxidative stability of microencapsulated crude palm oil by spray drying. Food *and Bioprocess Technology*, 9(1), 124-136.

Fowler, M. W. (2006). Plants, medicines and man. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 86, 1797-1804.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food research international*, 40(9), 1107-1121.

Guo, S., Ge, Y., & Jom, K. N. (2017). A review of phytochemistry, metabolite changes, and medicinal uses of the common sunflower seed and sprouts (*Helianthus annuus* L.). *Chemistry Central Journal*, 11(1), 1-10.

Hamad, A., Suriyarak, S., Borompichaichartkul, C. (2019). DEVELOPMENT OF SPRAY DRIED ENCAPSULATED CURCUMIN POWDER AS FUNCTIONAL FOOD INGREDIENT. Doctoral dissertation. Chulalongkorn University.

Ista, L. K., Pérez-Luna, V. H., & López, G. P. (1999). Surface-grafted, environmentally sensitive polymers for biofilm release. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(4), 1603-1609.

Itthisoponkul, T., & Chaovanalikit, A. (2012). A. Stability of mangosteen anthocyanin microencapsulated with lipids and its antioxidant activity. *Proceeding of the 14th Food Innovation Asia Conference 2012.* Bangkok. (14-15 June 2012)

Jiraungkoorskul, W. (2016). Review of nutraceutical uses of an antioxidant sunflower sprout, Helianthus annuus. Asian *Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 9(6), 21-23.

Kato, K., & Matsuda, K. (1969). Studies on the chemical structure of konjac mannan part I. Isolation and characterization of oligosaccharides from the patial acid

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

hydrolyzate of the mannan. *Agricultural and Biological Chemistry*. 33, 1446-1453.

Kestwal, R. M., Bagal-Kestwal, D., & Chiang, B. H. (2012). Analysis and enhancement of nutritional and antioxidant properties of Vigna aconitifolia sprouts. *Plant foods for human nutrition*, 67(2), 136-141.

Khasaei, K. M., Jafari, S. M., Ghorbani, M., & Kakhki, A. H. (2014). Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate Polymers*. 105, 57–62.

Kim, K. H., Tsao, R., Yang, R., & Cui, S. W. (2006). Phenolic acid profiles and antioxidant activities of wheat bran extracts and the effect of hydrolysis conditions. *Food Chemistry*, 95(3), 466-473.

Kris-Etherton, P. M., Hecker, K. D., Bonanome, A., Coval, S. M., Binkoski, A. E., Hilpert, K. F., ... & Etherton, T. D. (2002). Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *The American journal of medicine*, 113(9), 71-88.

Kuck, L. S., & ZapataNoreña, C. P. (2016). Microencapsulation of grape (Vitis labrusca var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chemistry*. 194, 569-576.

Lewicki, P. P., & Jakubczyk, E. (2004). Effect of hot air temperature on mechanical properties of dried apples. *Journal of Food Engineering*, 64(3), 307-314.

Maekaji, K., & Kawamura, D. (1984). Relationship between stress relaxation and syneresis of konjac mannan gel. *Agricultural and Biological Chemistry*, 48(1), 227-228.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Mara Righetto, A., & Maria Netto, F. (2005). Effect of encapsulating materials on water sorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. *International Journal of Food Properties*, 8(2), 337-346.

Martins, R. C., Lopes, V. V., Vicente, A. A., & Teixeira, J. A. (2008). Computational shelf-life dating: complex systems approaches to food quality and safety. *Food and Bioprocess Technology*, 1(3), 207-222.

McNamee, B. F., O'Riorda, E. D., & O'Sullivan, M. (2001). Effect of partial replacement of gum arabic with carbohydrates on its microencapsulation properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(7), 3385-3388.

Moser, P., Telis, V. R. N., de Andrade Neves, N., García-Romero, E., Gómez-Alonso, S., & Hermosín-Gutiérrez, I. (2017). Storage stability of phenolic compounds in powdered BRS Violeta grape juice microencapsulated with protein and maltodextrin blends. *Food Chemistry*, 214, 308-318

Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., and Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*. 1, 1806-1815.

Norkaew, O., Thitisut, P., Mahatheeranont, S., Pawin, B., Sookwong, P., Yodpitak, S., & Lungkaphin, A. (2019). Effect of wall materials on some physicochemical properties and release characteristics of encapsulated black rice anthocyanin microcapsules. *Food chemistry*, 294, 493-502.

Obón, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M., & Fernández-López, J. A. (2009). Production of a red–purple food colorant from Opuntia stricta fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of food engineering*, 90(4), 471-479.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Osawa, T., Katsuzaki, H., Hagiwara, Y., Hagiwara, H., & Shibamoto, T. (1992). A novel antioxidant isolated from young green barley leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(7), 1135-1138.

Osório, W. R., Peixoto, L. C., Canté, M. V., & Garcia, A. (2010). Microstructure features affecting mechanical properties and corrosion behavior of a hypoeutectic Al–Ni alloy. *Materials & Design*, 31(9), 4485-4489.

Oswald, J., & Oswald, T. (2002). Sprouting for survival. *Plant Based Nutrition*, 5(2).

Paini, M., Aliakbarian, B., Casazza, A. A., Lagazzo, A., Botter, R., & Perego, P. (2015). Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: A study of operative parameters. *LWT-Food Science and Technology*, 62(1), 177-186.

Patel, A. S., Kar, A., & Mohapatra, D. (2020). Development of microencapsulated anthocyanin-rich powder using soy protein isolate, jackfruit seed starch and an emulsifier (NBRE-15) as encapsulating materials. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.

Pedrosa, M. M., Muzquiz, M., García-Vallejo, C., Burbano, C., Cuadrado, C., Ayet, G., & Robredo, L. M. (2000). Determination of caffeic and chlorogenic acids and their derivatives in different sunflower seeds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(4), 459-464.

Punchard, N. A., & Kelly, F. J. (1996). *A practical approach. Free radicals*. Oxford University Press, New York, 1-8.

Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392.

Ramakrishnan, Y., Adzahan, N. M., Yusof, Y. A., & Muhammad, K. (2018). Effect of wall materials on the spray drying efficiency, powder properties and stability of bioactive compounds in tamarillo juice microencapsulation. *Powder technology*, 328, 406-414.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Randhir, R., Lin, Y. T., Shetty, K., & Lin, Y. T. (2004). Phenolics, their antioxidant and antimicrobial activity in dark germinated fenugreek sprouts in response to peptide and phytochemical elicitors. *Asia Pacific journal of clinical nutrition*, 13(3), 295-307.

Ray, S., Raychaudhuri, U., & Chakraborty, R. (2016). An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. *Food Bioscience*, *13*, 76-83.

Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (2005). Biology of Plants, WH Freeman and Company Publishers. *New York*, 944.

Risch, S. J., & Reineccius, G. A. (1988). Spray-dried orange oil: Effect of emulsion size on flavor retention and shelf stability, ACS Publications

Robards, K., Prenzler, P. D., Tucker, G., Swatsitang, P., & Glover, W. (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food chemistry*, 66(4), 401-436.

Robin, A. L., & Sankhla, D. (2013). European legislative framework controlling the use of food additives. *Essential guide to food additives*, 44.

Roos, Y., & Karel, M. (1991). Plasticizing effect of water on thermal behavior and crystallization of amorphous food models. *Journal of food science*, 56(1), 38-43.

Saénz, C., Tapia, S., Chávez, J., & Robert, P. (2009). Microencapsulation by spray drying of bioactive compounds from cactus pear (Opuntia ficus-indica). *Food chemistry*, 114(2), 616-622.

Saikia, S., Mahnot, N. K., & Mahanta, C. L. (2015). Optimisation of phenolic extraction from Averrhoa carambola pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. *Food chemistry*, 171, 144-152.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Sakawulan, D., Borompichaicartkul, C., & Archer, R. (2017). Microencapsulation instant coffee by spray drying using hydrolysed konjac glucomannan. Master's thesis, Chulalongkorn University.

Schrooyen, P., Meer, R., & de Kruif, C. G. (2001). Microencapsulation: its application in nutrition. *The Proceedings of the Nutrition Society*. 604-759.

Shahidi, F., & Han, X. Q. (1993). Encapsulation of food ingredients. Critical Reviews in *Food Science & Nutrition*, 33(6), 501-547.

Shi, J., Mazza, G., & Le Maguer, M. (2016). Functional *Foods: Biochemical and Processing Aspects*, Volume 2. CRC Press.

Shishir, M. R. I., Taip, F. S., Saifullah, M., Aziz, N. A., & Talib, R. A. (2017). Effect of packaging materials and storage temperature on the retention of physicochemical properties of vacuum packed pink guava powder. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 83-90.

Silva, P. I., Stringheta, P. C., Teófilo, R. F., & de Oliveira, I. R. N. (2013). Parameter optimization for spray-drying microencapsulation of jaboticaba (Myrciaria jaboticaba) peel extracts using simultaneous analysis of responses. Journal of *Food Engineering*. 7, 538-544.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Swain, T., & Hillis, W. E. (1959). The phenolic constituents of Prunus domestica. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(1), 63-68.

Teerakun, M., Reungsang, A., & Virojanakud, W. (2004). Phytoremediation of carbofuran residues in soil. Songklanakarin *J. Sci. Technol*, 26(Suppl 1), 171-176.

Thai Community Product Standard. (2016). *Dried Fruits and Vegetables*. Thai industrial standards institute, 136, 1-6.

Thomas, W. R. (1997). Konjac gum. In *Thickening and gelling agents for food* (pp. 169-179). Springer, Boston, MA.

Tolun, A., Altintas, Z., & Artik, N. (2016). Microencapsulation of grape polyphenols using maltodextrin and gum arabic as two alternative coating materials: Development and characterization. *Journal of biotechnology*, 239, 23-33.

Tolun, A., Artik, N., & Altintas, Z. (2020). Effect of different microencapsulating materials and relative humidities on storage stability of microencapsulated grape pomace extract. *Food chemistry*, 302, 125347.

Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (Euterpe oleraceae Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of food engineering*, 88(3), 411-418.

Truong, V., Bhandari, B. R., Howes, T., & Adhikari, B. (2004). Glass transition behaviour of fructose. *International journal of food science & technology*, 39(5), 569-578.

Truong, V., Bhandari, B. R., & Howes, T. (2005). Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I—Moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering*, 71(1), 55-65.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Velasco, J., Dobarganes, M. C., & Márquez-Ruiz, G. (2000). Oxidation of free and encapsulated oil fractions in dried microencapsulated fish oils. Grasas y aceites, 51(6), 439-446.

Wattanaprasert, N., Borompichaicartkul, C., Vaithanomsat, P., & Srzednicki, G. (2017). Konjac glucomannan hydrolysate: A potential natural coating material for bioactive compounds in spray drying encapsulation. *Engineering in Life Sciences*. 17, 145-152.

Williams, B. W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. *LWT-Food Science and Technology*. 28, 25-30.

Williams, M. A., Foster, T. J., Martin, D. R., Norton, I. T., Yoshimura, M., & Nishinari, K. (2000). A molecular description of the gelation mechanism of konjac mannan. *Biomacromolecules*, 1(3), 440-450.

Yang, J., Vittori, N., Wang, W., Shi, Y. C., Hoeflinger, J. L., Miller, M. J., & Pan, Y. (2017). Molecular weight distribution and fermentation of mechanically pre-treated konjac enzymatic hydrolysates. *Carbohydrate polymers*, 159, 58-65.

Yinbin, L., Wu, L., Weng, M., Tang, B., Lai, P., & Chen, J. (2018). Effect of different encapsulating agent combinations on physicochemical properties and stability of microcapsules loaded with phenolics of plum (*Prunus salicina* Lindl.). *Powder technology*, 340, 459-464.

Zimmerman, D. C., & Zimmer, D. E. (1978). Influence of Harvest Date and Freezing on Sunflower Seed Ge rmination 1. *Crop Science*, 18(3), 479-481

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก.
วิธีวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

ก.1 วิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry

(ตามวิธีของ Swain และ Hillis, 1959)

การเตรียมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate, NA_2CO_3)

1.เตรียมโดยการชั่งสารโซเดียมคาร์บอเนต 200 กรัม

2.จากนั้นเติมน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน gallic acid และการสร้างกราฟมาตรฐาน

1.ชั่งสารละลายมาตรฐานแกลลิก (gallic acid) 0.5 กรัม ละลายในเอทานอล 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายของ gallic acid ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร

2.ปิเปตสารละลาย gallic acid ในปริมาตรต่าง ๆ (1, 2, 5, 7.5, 10 และ 15 มิลลิลิตร) แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานเข้มข้น 50, 100, 250, 375, 500 และ 750 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสได้นาน 2 สัปดาห์

วิธีวิเคราะห์

1.ปิเปตสารตัวอย่าง หรือสารละลายมาตรฐานแกลลิก หรือน้ำกลั่น ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร

2.เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 7.9 มิลลิลิตร

3.เติมสาร Folin-Ciocalleu reagent 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและทิ้งไว้ 5 นาที

4.เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 1.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ในที่มืด เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

5.วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร

6.คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐาน แล้วรายงานค่าในหน่วย mg GAE/g db

ก.2 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity (DPPH)

(ดัดแปลงตามวิธีของ Brand-Williams, Cuvelier, and Berset, 1995)

<u>สารเคมี</u>

1. เตรียมสารละลาย 0.1 mM DPPH โดยละลาย DPPH 0.004 กรัม ใน 95% ethanol 100 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารมาตรฐาน Trolox ความเข้มข้น 0-140 μM โดยเตรียม Trolox ความเข้มข้น 500 μM โดยชั่ง Trolox 0.0031 กรัม ละลายใน methanol 100% 25 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 140 μM โดยปิเปต Trolox 500 μM 0.14 ml ผสมน้ำกลั่น 0.36 ml

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- 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 80μM โดยปิเปต Trolox 100 μM 0.4 ml ผสมน้ำกลั่น 0.1 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 60 μM โดยปิเปต Trolox 100μM 0.3 ml ผสมน้ำกลั่น 0.2 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 40μM โดยปิเปต Trolox 100μM 0.2 ml ผสมน้ำกลั่น 0.3 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 20 μM โดยปิเปต Trolox 100μM 0.1 ml ผสมน้ำกลั่น 0.4 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 0 μM โดยใช้น้ำกลั่น 0.5 ml

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ละลายไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน 1 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer นาน 3 นาที

2. นำตัวอย่างที่ได้ใส่ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

3. ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

4. ปิเปตส่วนใสมา 0.5 มิลลิลิตร

5. ผสมสาร DPPH reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

6. ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที

7. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ที่ความยาวคลื่น 515 นาโนเมตร

8. คำนวณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานของสาร trolox คำนวณค่า DPPH radical scavenging (%) รายงานค่าเป็น μM Trolox equivalent/g

$$\text{DPPH radical scavenging (\%)} = \frac{blank\ absorbance - sample\ absorbance}{blank\ absorbance} \times 100$$

ก.3 การวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี Ferric ion reducing antioxidant power (FRAP)

(ดัดแปลงตามวิธีของ Benzie และ Strain, 1996)

<u>สารเคมี</u>

1. เตรียม acetate buffer pH 3.6 โดยผสม sodium acetate 0.31 กรัม กับ acetic acid 1.6 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร

2. เตรียมสารละลาย 40 mM HCl โดยปิเปตสารไฮโดรคลอริก (HCl) 37% มา 0.15 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

3. เตรียมสารละลาย 10 mM TPTZ โดยผสม TPTZ 0.031กรัม กับ 40 mM HCl 10 มิลลิลิตร ละลายที่อุณหภูมิ 50องศาเซลเซียส

4. เตรียมสารละลาย 20 mM $FeCl_3$ โดยผสม $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ 0.054กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

5. เตรียมสารละลาย FRAP reagent โดยผสม acetate buffer pH 3.6 ปริมาตร 100 มิลลิลิตรกับ 10 mM TPTZ 10 มิลลิลิตรและ 20 mM $FeCl_3$ 10 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 10 : 1 : 1)

6. เตรียมสารมาตรฐาน Trolox ความเข้มข้น 0-140 μM โดยเตรียม Trolox ความเข้มข้น 500 μM โดยชั่งTrolox 0.0031 กรัม ละลายใน methanol 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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 80 μM โดยปิเปต Trolox 100 μM 0.4 ml ผสมน้ำกลั่น 0.1 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 60 μM โดยปิเปต Trolox 100 μM 0.3 ml ผสมน้ำกลั่น 0.2 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 40μM โดยปิเปต Trolox 100 μM 0.2 ml ผสมน้ำกลั่น 0.3 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 20 μM โดยปิเปต Trolox 100 μM 0.1 ml ผสมน้ำกลั่น 0.4 ml

- เตรียม Trolox ความเข้มข้น 0 μM โดยใช้น้ำกลั่น 0.5 ml

<u>วิธีวิเคราะห์</u>

1. ละลายไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน 1 กรัม ในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex mixer นาน 3 นาที

2. นำตัวอย่างที่ได้ใส่ในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

3. ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที

4. ปิเปตส่วนใสมา 0.5 มิลลิลิตร

5. ผสมสาร FRAP reagent ปริมาตร 7.5 มิลลิลิตร

6. ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

7. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ที่ความยาวคลื่น 593 นาโนเมตร

8. คำนวณฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวอย่างเทียบกับกราฟมาตรฐานของสาร trolox รายงานค่าเป็น μM Trolox equivalent/g

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ก.4 ปริมาณกรดคลอโรจีนิกและสารอนุพันธ์กรดคาฟิโออิลควินิก ด้วยเทคนิค HPLC

(ดัดแปลงตามวิธีของ Cheevarungnapakul และคณะ, 2019)

ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร ปริมาณ 5-CQA คำนวณโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานในช่วง 0.5–0.0078125 มก./มล.

<u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

1. ละลายไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร

2. ผสมสารละลายให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่า ความเร็วรอบ 1,500 RPM ที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที

3. ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างที่ความเร็วรอบ 12,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

4. ปิเปตส่วนใสมากรองด้วยกระดาษกรอง ขนาด 0.2 μm

<u>การวิเคราะห์</u>

คอลัมน์: Kinetex® C18 (250 mm × 4.6 mm, 5 μm; Phenomenex®, USA)

ปริมาณสาร: 10 μl

อัตราตราเร็ว: 1ml/min

อุณหภูมิคอลัมน์: 45 ℃

Spectra range: 190-800 nm

เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase):

0.1% (v/v) TFA in water (solvent A)

0.1% (v/v) TFA in acetonitrile (solvent B)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข.
วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ข.1 การวิเคราะห์ค่าความชื้น (% moisture content)

วิเคราะห์ค่าความชื้นของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันด้วยเครื่อง Moisture Analyzer (Mettler-Toledo, รุ่น HB43-S, Switzerland) นำตัวอย่างผงไมโครแคปซูลใส่ลงไปในเครื่องวัดความชื้น ปิดฝาและรอให้เครื่องอ่านค่าที่ได้

ข.2 การวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity, aw)

ตามวิธีของ AOAC (2000) วิเคราะห์ค่ากิจกรรมของน้ำของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันด้วยเครื่อง water activity analyzer (AquaLab, รุ่น series3 TE, U.S.A) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ข.3 การวิเคราะห์ค่าสี ระบบ CIE LAB

วัดค่าสีของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่อุณหภูมิห้อง โดยเครื่องวัดสี Konica Minolta รุ่น CR-400 ซึ่งใช้ illuminant D65 โดยแสดงค่าสีในระบบ CIE (*L* a* b**)

โดยค่า *L** คือ ค่าแกนความสว่าง (lightness) มีค่าตั้งแต่ 0-100 (โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว)

*a** คือ ค่าแกนสีเขียว (-a*) จนถึงสีแดง (+a*)

*b** คือ ค่าแกนสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข.4 การวิเคราะห์ความสามารถในการละลาย (water solubility index, WSI)

ดัดแปลงจากวิธีของ Ahmed และคณะ (2010)

1. ชั่งไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน 1 กรัม และละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิตร แล้วเขย่าด้วยเครื่อง vortex mixer เป็นเวลา 3 นาที

2. ให้ความร้อนตัวอย่าง โดยวางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

3. ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างที่ความเร็วรอบ 8,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ปิเปตส่วนใส (supernatant) ลงในถ้วยอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ โดยทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นก่อนชั่งน้ำหนักทุกครั้ง

4. จดบันทึกค่าน้ำหนักของแข็งแห้งที่ได้ เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความสามารถในการละลาย ดังสมการนี้

$$\text{ความสามารถในการละลาย} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งส่วนใส}}{\text{ปริมาณของแข็งเริ่มต้นทั้งหมด}} \times 100$$

ข.5 การวิเคราะห์ร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% encapsulation yield)

ตามวิธีของ Ramakrishnan และคณะ (2018)

ชั่งน้ำหนักของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย เปรียบเทียบกับปริมาณของแข็งทั้งหมดในตัวอย่างเริ่มต้น ซึ่งประกอบด้วยของแข็งในสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน และปริมาณของสารห่อหุ้มก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อใช้ในการคำนวณค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ ดังสมการนี้

$$\text{ร้อยละของผลผลิตที่ได้} = \frac{\text{น้ำหนักของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ได้}}{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดของตัวอย่างก่อนการทำแห้ง}} \times 100$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข.6 การวิเคราะห์ร้อยละประสิทธิภาพการกักเก็บ (% encapsulation efficiency)

ดัดแปลงตามวิธีของ Saikia และคณะ (2015)

<u>การหาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งหมด (total bioactive compounds)</u>

1. ชั่งน้ำหนักของสารไมโครแคปซูลสกัดต้นอ่อนทานตะวัน 1 กรัม ละลายในสารละลายผสม (เอทานอล: กรดอะซิตริก: น้ำ ที่อัตราส่วน 50:8:42) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วย vortex mixer เป็นเวลา 3 นาที

2. ปั่นเหวี่ยง ด้วยความเร็วรอบ 9,000 rpm เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นปิเปตส่วนใสมากรองด้วยแผ่นกรองเบอร์ 1 แล้ววิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry (ตามวิธีของ Swain และ Hillis, 1959)

การหาปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพบริเวณพื้นผิว (surface bioactive compounds)

1. ชั่งน้ำหนักของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน 1 กรัม ละลายในสารละลายผสมระหว่างเอทานอลและเมทานอล (อัตราส่วน 1:1) เขย่าด้วย vortex mixer เป็นเวลา 1 นาที

2. กรองตัวอย่างด้วยแผ่นกรองเบอร์ 1 แล้ววิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดด้วยด้วยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetry (ตามวิธีของ Swain และ Hillis, 1959) คำนวณค่าร้อยละประสิทธิภาพการกักเก็บ ดังสมการนี้

ร้อยละประสิทธิภาพการกักเก็บ =

$$\frac{\text{ปริมาณสารออกฤทธิ์มางชีวภาพทั้งหมด} - \text{ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พื้นผิวของไมโครแคปซูล}}{\text{ปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งหมด}} \times 100$$

ข.7 การวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM)

วิเคราะห์ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูลด้วยเครื่อง scanning electron microscope and energy dispersive X-ray spectrometer (JEOL, JSM-IT300 and Oxford, X-Max N 20)

1. โรยตัวอย่างลงบนสตับทองเหลืองที่ติดด้วยแผ่นเทปกาวสองหน้า หลังจากนั้นนำไปเคลือบทองด้วยเครื่องเคลือบทองก่อนนำเข้าเครื่อง

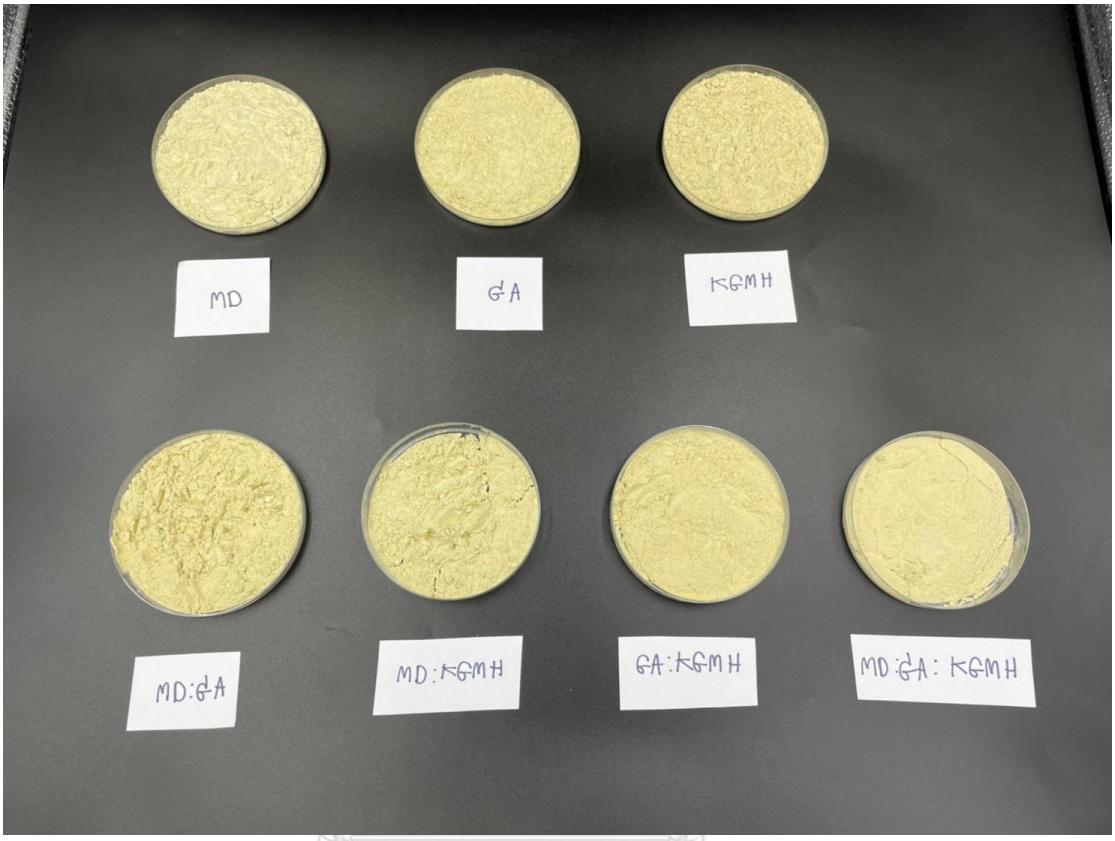
2. วิเคราะห์ลักษณะรูปร่างภายนอกของไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) ที่ 15 kV กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า

ข.8 การวิเคราะห์อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) (ดัดแปลงตามวิธีของ Ramakrishnan และคณะ, 2018)

1.ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.01 g ลงในถ้วยอลูมิเนียม (40 μL) และวิเคราะห์ด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter (204 F1 Phoenix)

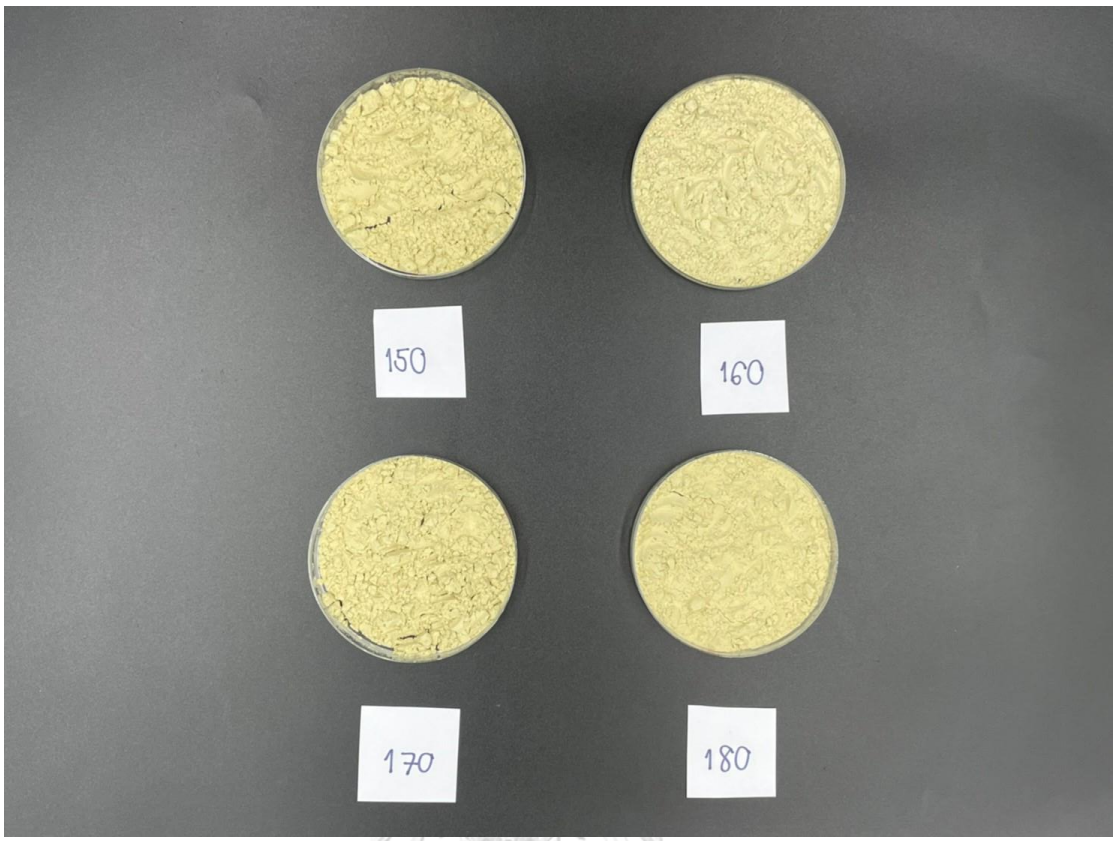
2. ตั้งค่าโปรแกรมของอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 20 องศาเซลเซียส และเพิ่มอุณหภูมิถึง 200 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน (purge flow) ที่ 20 มิลลิลิตรต่อนาที

ภาคผนวก ค.
ข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม



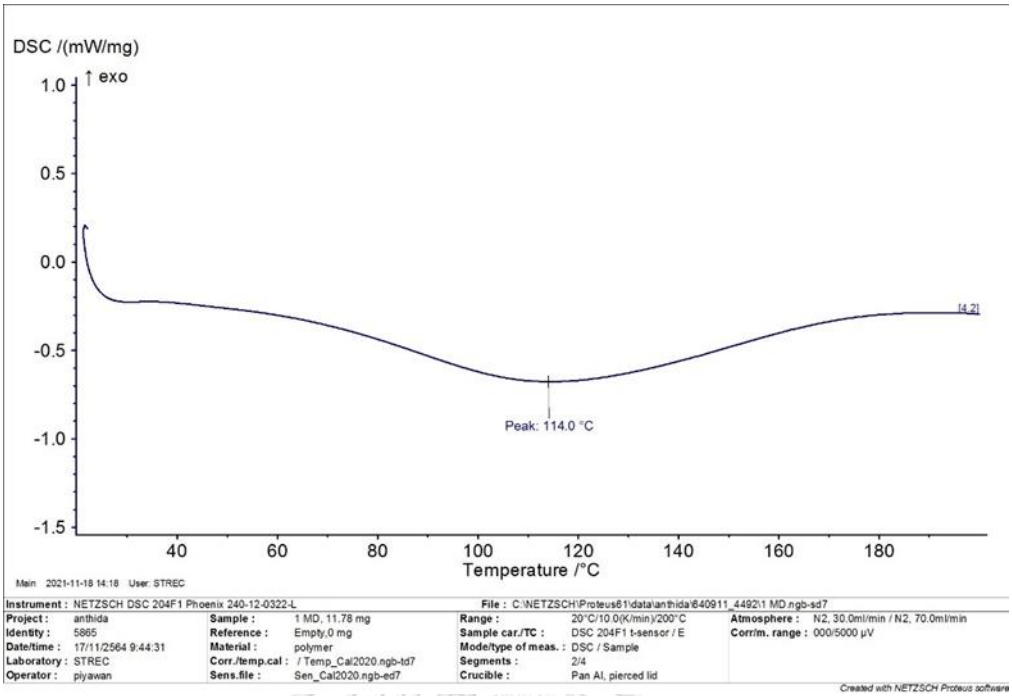
รูปที่ ค. 1 ตัวอย่างไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ชนิดสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน

Chulalongkorn University

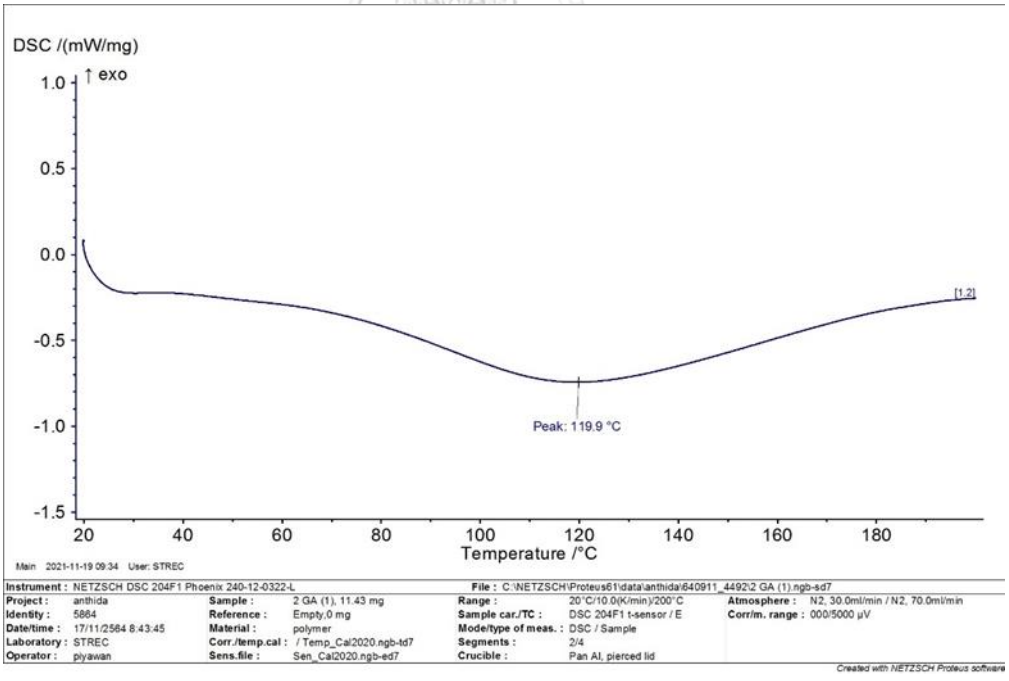


รูปที่ ค. 2 ตัวอย่างไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างกัน

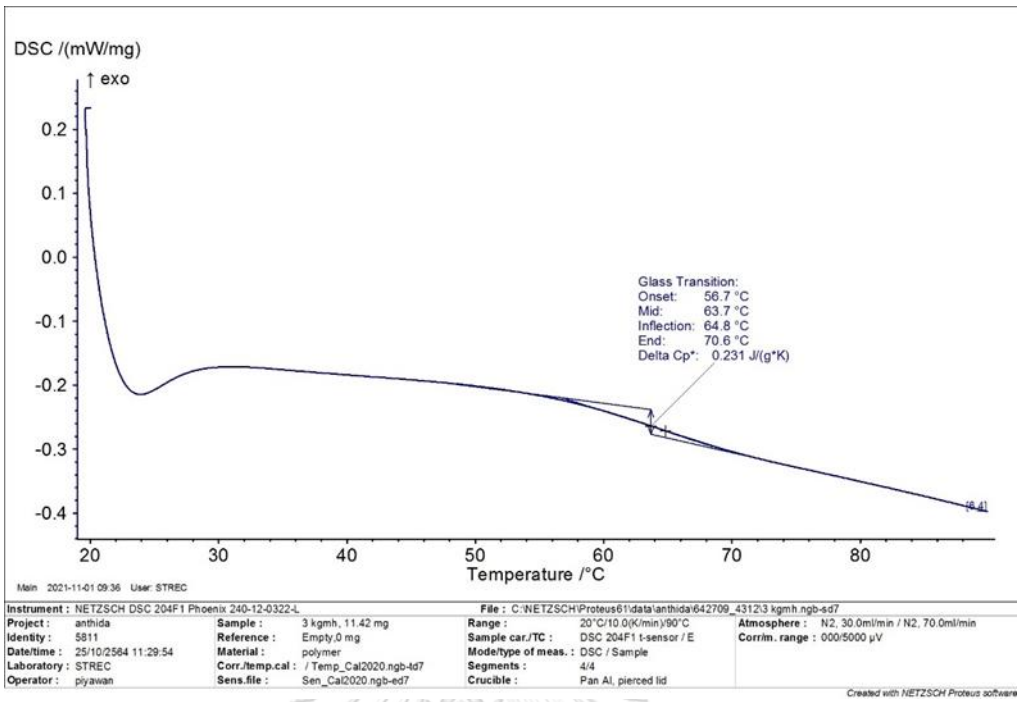
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



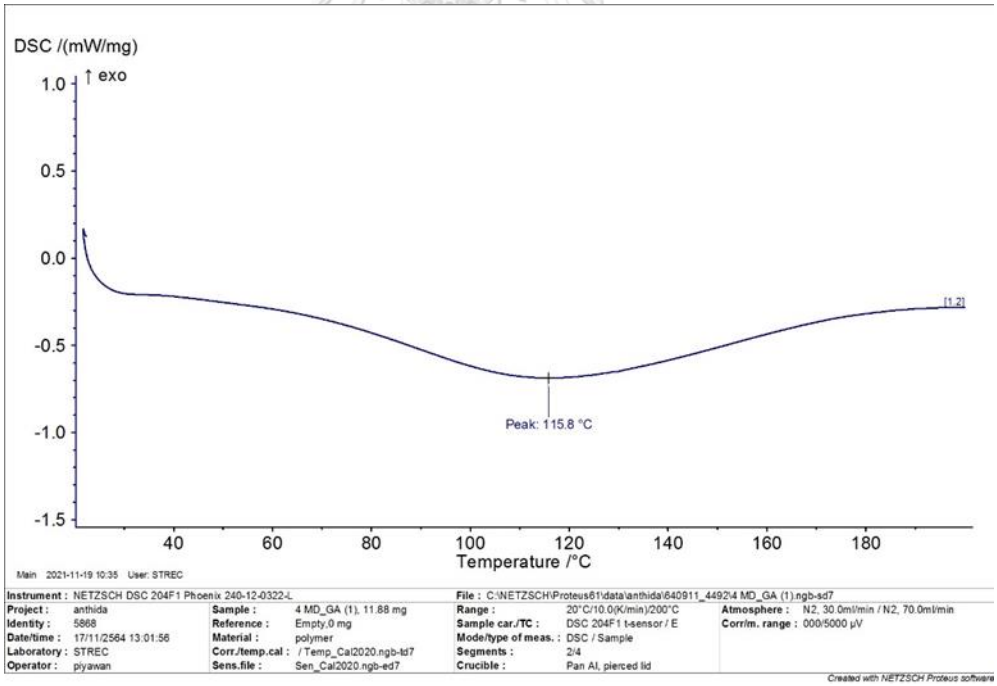
รูปที่ ค. 3 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้ม



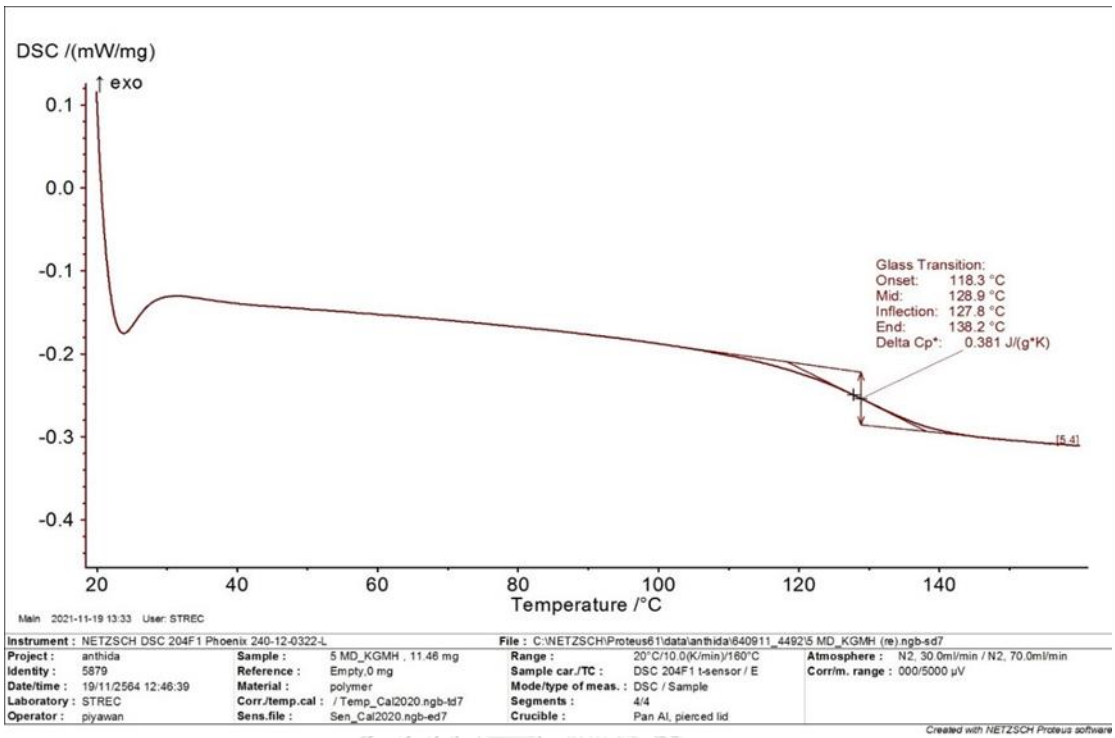
รูปที่ ค. 4 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม



รูปที่ ค. 5 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้กลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม

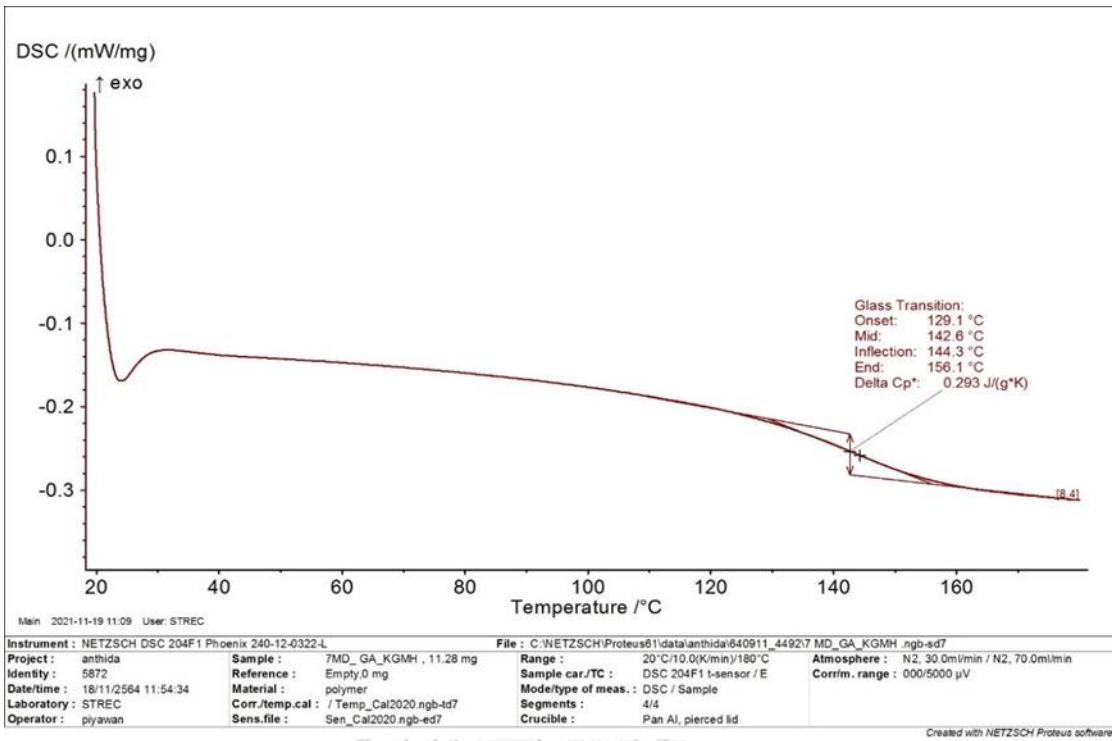


รูปที่ ค. 6 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินและกัมอารบิกเป็นสารห่อหุ้ม



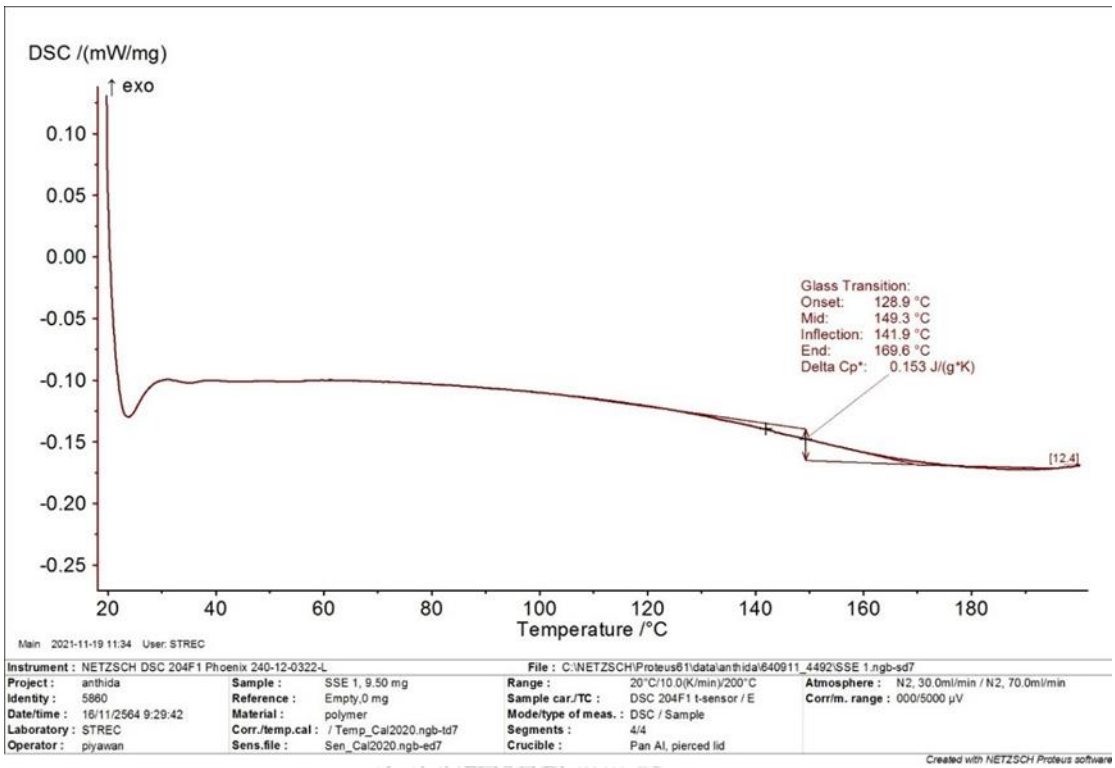
รูปที่ ค. 7 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทรินและกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



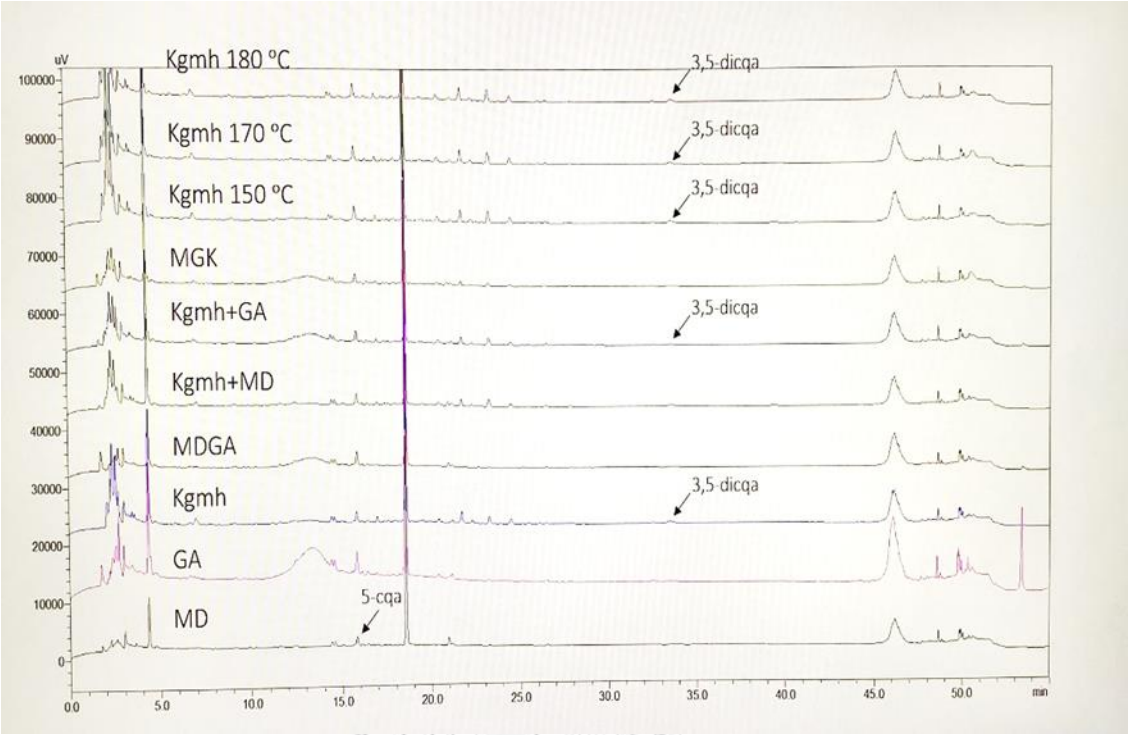
รูปที่ ค. 8 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, Tg) ของไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ใช้มอลโตเดกซ์ทริน กัมอารบิกและกลูโคแมนแนนไฮโดรไลเสทเป็นสารห่อหุ้ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ ค. 9 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, Tg) ของสารสกัดต้นอ่อนทานตะวัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ ค. 10 โครมาโทแกรมของปริมาณกรดคาฟิโออิลควินิกและอนุพันธ์ที่พบในไมโครแคปซูลสารสกัดต้นอ่อนทานตะวันที่ผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยแปรชนิดของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	น.ส.อัญธิดา จันทร์ตรี
วัน เดือน ปี เกิด	21 Sep 1993
สถานที่เกิด	Bangkok
วุฒิการศึกษา	Chulalongkorn University
ที่อยู่ปัจจุบัน	23/1 ซอยบ้านหล่อ ถนนประชาธิปไตย แขวงบ้านพานถม เขตพระนคร กทม. 10200
ผลงานตีพิมพ์	Chantri, A. and Borompichaichartkul, C. (2021). Effect of different wall materials on the physicochemical properties of Sunflower sprout extracts microencapsulated by spray drying. In Proceedings of the 23nd Food Innovation Asia Conference; 17-18 June 2021; Bangkok, Thailand. p. 183-192.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University