การพัฒนาเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

DEVELOPMENT OF ENCAPSULATED EXTRACTED MACE (*MYRISTICA FRAGRANS* HOUTT.) OIL BY SPRAY DRYING

รัฐภูมิ จันทะผล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การพัฒนาเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ ด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

รัฐภูมิ จันทะผล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย Development of Encapsulated Extracted Mace (*Myristica Fragrans* Houtt.) Oil by Spray Drying
ชื่อ-นามสกุล	นายรัฐภูมิ จันทะผล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรินญา สังขสัญญา ปร.ด.
ปีการศึกษา	2565

คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ลลิตา ศิริวัฒนานนท์, Ph.D.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปาลิดา ตั้งอนุรัตน์, ปร.ด.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิสุทธิ หนักแน่น, ปร.ด.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรินญา สังขสัญญา, ปร.ด.)

คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะเทคโนโลยีการเกษตร
(อาจารย์ลลิตา ศิริวัฒนานนท์, Ph.D.)
วันที่ 30 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2565

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย
ชื่อ-นามสกุล	นายรัฐภูมิ จันทะผล
สาขาวิชา	เทคโนโลยีอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรินญา สังขสัญญา, ปร.ด.
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ 2) ศึกษาผลกระทบอุณหภูมิลมร้อนขาข้าวของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อร้อยละผลผลิต และคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ 3) ศึกษาชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ และ 4) ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเอนแคปซูลเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

สภาวะการเตรียมอิมัลชันด้วยกัมอราบิก (20%) ทำให้ได้อิมัลชันที่มีความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียว มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 17 °Brix การเตรียมเอนแคปซูเลต น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ระดับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างกัน มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ และร้อยละผลผลิต ($p<.05$) โดยอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 180 °C ทำให้ได้เอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่เป็นผงแห้งกระจายตัวได้ดี มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ผลผลิตที่ผลิตได้เท่ากับ 0.14 และ 18.45% ตามลำดับ การเตรียมเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำหน้าที่เป็นสารห่อหุ้มต่างชนิดกันมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าสี ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ($p<.05$) การใช้กัมอราบิก (20%) เป็นสารห่อหุ้ม เป็นสภาวะที่เหมาะสมทำให้ได้เอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศผงแห้งสีขาวอมเหลือง มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 84.48, 6.51 และ 26.18 ตามลำดับ ค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.39 g/cm^3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีค่าเท่ากับ 0.53 g GAE/g และ 155.32 µg AAE/g ตามลำดับ ตรวจพบสารระเหยสำคัญประเภทเทอร์ปีน และอนุพันธ์ 7 ชนิด ได้แก่ Terpinolene, 4-Terpineol acetate, **α**-pinene, Isoeugenol, Myristicin, Elemicin และ Methoxy eugenol

ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อการลดลงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ ($p<.05$) โดยในวันที่ 28 ของการเก็บ

รักษา พบปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีค่าเท่ากับ 0.30 g GAE/g และ 96.34 µg AAE/g ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในแต่ละช่วงวันของการเก็บรักษาการทำเอนแคปซูเลตสามารถรักษาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ($p<.05$)

คำสำคัญ: จันทน์เทศ เอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ กัมอราบิก มอลโทเดกซ์ทริน

Thesis Title	Development of Encapsulated Extracted Mace (*Myristica Fragrans* Houtt.) Oil by Spray Drying
Name-Surname	Mr. Ratthaphum Jantapon
Program	Food Technology
Thesis Advisor	Assistant Professor Sarinya Sangkasanya, Ph.D.
Academic Year	2022

ABSTRACT

The aims of this research were to: 1) study the optimal conditions for the preparation of mace oil emulsion, 2) examine the effect of inlet temperatures of spray drying on the production yield and the quality of encapsulated extracted-mace oil, 3) identify the types of hydrocolloids affecting the quality of encapsulated extracted-mace oil, and 4) investigate the change of the quality of encapsulated extracted-mace oil during storage.

The emulsion prepared by gum Arabic (20%) showed a homogeneous texture with total soluble solids of 17 °Brix. The different inlet temperatures had a statistically significant effect on water activity (a_w) and production yield ($p<.05$). The temperature at 180 °C resulted in optimal dispersion of the encapsulated extracted-mace oil powder with water activity and production yield at 0.14 and 18.45, respectively. The color, total phenolic content and antioxidant activity of the encapsulated extracted-mace oil were affected by the different types of hydrocolloids (coating material) ($p<.05$). The optimal condition of preparing the mace oil emulsion by gum Arabic (20%) resulted in yellowish white powder. The lightness (L*), redness (a*) and yellowness (b*) were 84.48, 6.51 and 26.18, respectively. The bulk density was at 0.39 g/cm^3. The total phenolic content and antioxidant activity were 0.53 g GAE/g and 155.32 µg AAE/g, respectively. Seven volatiles and their derivatives were identified They were Terpinolene, 4-Terpineol acetate, **α**-pinene, Isoeugenol, Myristicin, Elemicin and Methoxy eugenol.

The storage times revealed a statistically significant effect on the reduction of the total phenolic content and the antioxidant activity of the encapsulated extracted-mace oil ($p<.05$). On the 28th day, the total phenolic content and the antioxidant activity were at 0.30 g GAE/g, 96.34 µg AAE/g, respectively. The different amounts of the total phenolic content and the antioxidant activity on different days of storage showed that encapsulation was effective in maintaining total phenolic content and antioxidant activity ($p<.05$).

Keywords: *Myristica fragrans* Houtt, mace oil encapsulation, gum Arabic, maltodextrin

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ศรินญา สังขสัญญา อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างสูง ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำทั้งในส่วนของการเรียน และงานวิจัย

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ให้การศึกษาต่อระดับมหาบัณฑิตศึกษา พร้อมทั้งให้การสนับสนุนการวิจัย และอำนวยความสะดวกในเรื่องของการใช้สถานที่ อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ระหว่างปฏิบัติงานทดลอง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่อบรม สั่งสอนมาจนถึงบัดนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร เจ้าหน้าที่คณะเทคโนโลยีการเกษตร เจ้าหน้าที่ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร เจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ห้องสมุดกลางที่ให้ความรู้ คำแนะนำและสนับสนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

รัฐภูมิ จันทะผล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... (3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... (5)
กิตติกรรมประกาศ..... (7)
สารบัญ..... (8)
สารบัญตาราง..... (11)
สารบัญภาพ..... (14)
บทที่ 1 บทนำ..... (16)
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... (16)
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย..... (17)
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... (17)
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... (19)
2.1 จันทร์เทศ..... (19)
2.2 สาระสำคัญในจันทน์เทศ..... (20)
2.3 เอนแคปซูเลชัน (Encapsulation)..... (21)
2.4 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying)..... (23)
2.5 การเตรียมเอนแคปซูเลตด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying)..... (25)
2.6 สารห่อหุ้มกับคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ..... (26)
2.7 หลักการเลือกสารห่อหุ้ม..... (26)
2.8 ชนิดของสารห่อหุ้ม..... (27)
2.8.1 กัมอราบิก (Gum Arabic)..... (27)
2.8.2 มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin)..... (29)
2.9 ผลของกระบวนการพ่นแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ
ของเอนแคปซูเลต..... (31)

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9.1 อัตราการป้อน..... (31)

2.9.2 ความดัน และอัตราการไหลของอากาศ..... (32)

2.9.3 อุณหภูมิร้อนขาเข้า และขาออก..... (32)

2.10 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph - Mass Spectrometer, GC-MS)..... (35)

2.10.1 หลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี..... (35)

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง..... (37)

3.1 วัตถุดิบ..... (37)

3.2 อุปกรณ์..... (37)

3.3 เครื่องมือ..... (37)

3.4 สารเคมี..... (38)

3.5 วิธีการทดลอง..... (38)

3.5.1 วัตถุดิบ และการเตรียมวัตถุดิบ..... (38)

3.5.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (39)

3.5.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ต่อร้อยละผลผลิต และคุณภาพของเอนแคปซูเลต น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (40)

3.5.4 การศึกษาผลชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ต่อคุณภาพเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (41)

3.5.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา เอนแคปซูลเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (42)

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์..... (44)

4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (44)

4.2 การศึกษาผลกระทบอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อร้อยละผลผลิต และคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (45)

4.3 การศึกษาผลชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ที่มีกระทบต่อคุณภาพเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (47)

4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเอนแคปซูลเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (52)

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ..... (59)

5.1 สรุปผลการทดลอง..... (59)

5.2 ข้อเสนอแนะ..... (60)

บรรณานุกรม..... (61)

ภาคผนวก..... (67)

ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางกายภาพ..... (68)

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี..... (71)

ภาคผนวก ค ภาพประกอบการทำการทดลอง..... (80)

ภาคผนวก ง ผลทางสถิติของการทดลอง..... (88)

ประวัติผู้เขียน..... (99)

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ผลของร้อยละผลผลิต และค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ของเอนแคปซูเลต
น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่เตรียมได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย
ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างกัน..... (46)
ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพ และเคมีของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ผ่าน
การเตรียมด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า
180 องศาเซลเซียส..... (48)
ตารางที่ 4.3 ชนิด สารระเหยที่ตรวจพบในเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ
โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)..... (51)
ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมี
ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศระหว่างการเก็บรักษา..... (53)
ตารางที่ 4.5 การเก็บรักษาเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ
โดยใช้กัมอราบิกเป็นสารห่อหุ้ม..... (55)
ตารางที่ ข.1 สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์
Gas Chromatograph - Mass Spectrometer, (GC-MS)..... (76)
ตารางที่ ข.2 ข้อมูลของสารมาตรฐานอัลเคน C9-C20..... (77)
ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของร้อยละผลผลิต
และค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ
ที่เตรียมได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย..... (89)

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติสมบัติทางกายภาพ และเคมี
ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (90)
ตารางที่ ง.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติการเก็บรักษาทางกายภาพ
และทางเคมีของผงเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (92)
ตารางที่ ง.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลง
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวันที่ 0 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ
เปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (93)
ตารางที่ ง.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลง
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวันที่ 7 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ
เปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (94)
ตารางที่ ง.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลง
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวันที่ 14 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ
เปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (94)
ตารางที่ ง.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลง
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวันที่ 21 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ
เปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (95)
ตารางที่ ง.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลง
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวันที่ 28 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ
เปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (95)

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลง
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวันที่ 0 ของเอนแคปซูเลต
น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (96)
ตารางที่ ง.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลง
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวันที่ 7 ของเอนแคปซูเลต
น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (96)
ตารางที่ ง.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลง
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวันที่ 14 ของเอนแคปซูเลต
น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (97)
ตารางที่ ง.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลง
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวันที่ 21 ของเอนแคปซูเลต
น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (97)
ตารางที่ ง.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลง
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวันที่ 28 ของเอนแคปซูเลต
น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (98)

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ผลจันทน์เทศ (A) รกจันทน์เทศ หรือดอกจันทน์เทศ (B)..... (19)
ภาพที่ 2.2 เอนแคปซูเลตแบ่งตามลักษณะของสารแกนกลาง
ก. เอนแคปซูเลตแบบแกนกลางเดียวเอนแคปซูเลตแบบหลายแกนกลาง
(หมายเลข 1 คือแกนกลางและหมายเลข 2 คือผนังห่อหุ้ม)..... (22)
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของเอนแคปซูเลต..... (23)
ภาพที่ 2.4 การไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย..... (24)
ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการเตรียมเอนแคปซูเลตน้ำมันด้วยวิธีพ่นแห้ง..... (25)
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของกัมอราบิก..... (27)
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของมอลโทเดกซ์ทริน..... (29)
ภาพที่ 2.8 กราฟแสดงความสำพันธุ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมด
และอุณหภูมิร้อนขาเข้าซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการเก็บเก็บน้ำมันเมล็ดกาแฟ
ของเอนแคปซูเลตโดยวิธีพ่นแห้ง..... (33)
ภาพที่ 2.9 กราฟแสดงความสำพันธุ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมด
และอุณหภูมิร้อนขาเข้าซึ่งมีผลต่อน้ำมันเมล็ดกาแฟทั้งหมด..... (33)
ภาพที่ 2.10 กราฟแสดงความสำพันธุ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมด
และอุณหภูมิร้อนขาเข้าซึ่งมีผลต่อความชื้นของเอนแคปซูเลต..... (34)
ภาพที่ 2.11 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี..... (36)
ภาพที่ 3.1 แผนผังการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (40)

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.1 แผนผังการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (44)
ภาพที่ 4.2 อิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่เตรียมจากไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด
มอลโทเดกซ์ทริน (A) และกัมอราบิก (B)..... (45)
ภาพที่ 4.3 กระบวนการเตรียมเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ
ด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย..... (46)
ภาพที่ 4.4 เอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศโดยใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน
มอลโทเดกซ์ทริน (A) และกัมอราบิก (B)..... (50)
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษา
ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (56)
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระระหว่างการเก็บรักษา
ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (57)
ภาพที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย Gallic acid
ในการหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด..... (73)
ภาพที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของสารละลาย Ascorbic acid
ในการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay..... (75)
ภาพที่ ข.3 โครมาโทแกรมของสารระเหยสำคัญที่พบในผงเอนแคปซูเลต
น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ..... (76)
ภาพที่ ค.1 ขั้นตอนการการเตรียมผงรกจันทน์เทศแห้ง..... (81)
ภาพที่ ค.2 การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากรกจันทน์เทศด้วยน้ำมันบริโภค..... (84)
ภาพที่ ค.3 เตรียมสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินความเข้มข้นร้อยละ 30..... (85)
ภาพที่ ค.4 เตรียมสารละลายกัมอราบิกความเข้มข้นร้อยละ 20..... (86)
ภาพที่ ค.5 ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศให้อยู่ในรูปเอนแคปซูเลต
โดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย..... (87)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจัยในเรื่องสุขภาพเป็นส่วนสำคัญอย่างมากต่อการตัดสินใจของผู้บริโภคเลือกซื้ออาหารในยุคปัจจุบัน ส่งผลให้อุตสาหกรรมการผลิตหันมาผลิตอาหาร และเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพกันมากขึ้น สารสกัดจากวัตถุดิบธรรมชาติจึงนิยมถูกเลือก และหยิบมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร อย่างไรก็ตามมักพบว่าสารสกัดจากธรรมชาติมีความคงตัวต่ำ ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เนื่องจากปัจจัยภายนอก เช่น ความชื้น แสง และอากาศ เป็นต้น ดังนั้นรูปแบบการเก็บรักษาสารสกัดข้างต้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยคงคุณภาพสารสกัดจากธรรมชาติเอาไว้ให้มีคุณภาพที่ดี รอการนำไปใช้เพื่อผสมเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

กระบวนการเอนแคปซูเลชัน (encapsulation) เป็นกระบวนการห่อหุ้มอนุภาคของของแข็ง หรือหยดของเหลวด้วยสารอีกชนิดหนึ่ง เพื่อป้องกันสารที่ไวต่อการเสื่อมสลายจากอันตรกิริยาต่างๆ สามารถป้องกันสารจากปัจจัยสภาวะแวดล้อมภายนอกได้ [1] สิ่งที่ได้จากกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า เอนแคปซูเลต เป็นแคปซูลขนาดอนุภาค 1-800 μm โดยสารที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มจะเรียกว่า สารห่อหุ้ม (wall material) และสารที่ถูกห่อหุ้มจะเป็นสารสำคัญ (Core Material) ที่ต้องการเก็บรักษาคุณภาพไว้ [2] ในปัจจุบันมีวิธีการเอนแคปซูเลชันหลายวิธี เช่น วิธีพ่นฝอย (Spray Drying), สเปรย์ชิลลิง และคูลลิง (Spray Cooling /Chilling), เอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion), การเคลือบแบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized Bed Coating), Coacervation, Liposome Entrapment เป็นต้น แต่เทคนิคที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมอาหาร คือ วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำ เป็นเทคนิคที่ไม่ซับซ้อน และมีประสิทธิภาพของการกักเก็บสูง [3] สารห่อหุ้มที่นิยมใช้มักเป็นโพลีแซคคาไรด์ หรือ โปรตีน [4]

จากการพัฒนากระบวนการสกัดรกจันทน์เทศด้วยน้ำมันบริโภคของ รุ่งอรุณ (2562) [5] ทำให้ได้น้ำมันบริโภคที่มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ α-Pinene, β-Pinene, Terpene-4-ol, Myristicin, Elemicin, Safrole และ Eugenol เป็นต้น ซึ่งมีรายงานว่า สารเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ ต้านการอักเสบ การเสื่อมเสียของน้ำมัน อาจเป็นผลได้จากอากาศ ความชื้น และแสง

เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นการนำเอากระบวนการเอนแคปซูเลชันด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยมาใช้ในการเปลี่ยนรูปน้ำมันที่เป็นของเหลว ให้กลายเป็นน้ำมันในรูปของเอนแคปซูเลต โดยจะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ ศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อร้อยละผลผลิต และคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ ศึกษาชนิดของไอโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ต่อคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ และติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเอนแคปซูลเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

1.2.2 ศึกษาผลกระทบอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อร้อยละผลผลิตและคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

1.2.3 ศึกษาชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

1.2.4 ติดตามการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเอนแคปซูลเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ ศึกษาชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ที่จะนำมาห่อหุ้ม สัดส่วนของไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ที่มีสารสกัดจากรกจันทน์เทศด้วยกระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยเทคนิคทำแห้งแบบพ่นฝอย เพื่อให้ได้มาซึ่งเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ละเอียด ละลายได้ดี ประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ดี มีกล่นรสใกล้เคียงกับน้ำมันจำหน่ายทางการค้าซึ่งผสมสารสำคัญจากรกจันทน์เทศ โดยมีหน่วยงานสาขาเทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เป็นควบคุมหลักในการปฏิบัติงานวิจัยรวมถึงการแปรรูป โครงงานนี้จัดทำให้เสร็จสิ้นในระยะเวลา 1 ปี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษาค้นคว้าในเรื่องดังกล่าวจะทำให้ทราบถึงสภาวะของการเตรียมอิมัลชัน และชนิดไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ที่เหมาะสมในการเตรียมเอนแคปซูเลตของน้ำมันบริโภคที่มีสารสกัดออกฤทธิ์ทางชีวภาพสารจากรกจันทน์เทศ ทำให้ได้มาซึ่งแคปซูลน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่มีคุณภาพดี มีความคงตัวต่อการเสื่อมเสียจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมภายนอก ดังนั้นองค์ความรู้ที่เกิดจากการศึกษาในครั้งนี้ยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการเพิ่มมูลค่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์แปรรูปโดยพืช สมุนไพร และมุ่งหวังที่จะต่อยอดให้กับผู้ประกอบการแปรรูปผลิตภัณฑ์น้ำมันสกัดพืชสมุนไพร

1.5 คำจำกัดความในงานวิจัย

เทคนิคเอนแคปซูเลชัน คือการห่อหุ้มสารสำคัญที่มีลักษณะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซให้อยู่ภายในแคปซูล การทำแห้งแบบพ่นฝอย หรือสเปรย์ดาย เป็นวิธีการทำแห้งที่นิยมใช้กับอาหารประเภทนม สารละลายอินทรีย์ สารประเภทอิมัลชัน และของเหลวชนิดต่างๆ ลักษณะเป็นผงแห้ง นิยมประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้แก่ นมผง อาหารเด็ก ยา และสีย้อม การทำแห้งด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่รวดเร็ว ช่วยลดขนาด ง่าย และต้นทุนการผลิตต่ำ

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 จันทน์เทศ (*Myristica fragrans* Houtt.)

จันทน์เทศ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Myristica fragrans* Houtt. โดยมีชื่อสามัญว่า Nutmeg ลักษณะสำคัญ เป็นพืชไม้ ยืนต้นขนาดกลางไปถึงขนาดใหญ่ ใบหนา ข่อนข้างทึบ ใบสีเขียว เนื้อไม้คล้ายสีนวล กลิ่นหอม เนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหย มีต้นตัวผู้ และตัวเมีย เวลาปลูกจึงต้องให้มีต้นตัวผู้แซมต้นตัวเมีย เพื่อให้เกิดการผสมเกสรกัน ทั้งดอกตัวผู้ และตัวเมียมีสีเหลือง ดอกตัวผู้จะออกเป็นหมู่ ส่วนดอกตัวเมียจะออกเป็นดอกเดี่ยว ดังภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 ผลจันทน์เทศ (A) รกจันทน์เทศ หรือดอกจันทน์เทศ (B)
ที่มา : นิดดา (2554) [6]

ผลจันทน์เทศ (ภาพที่ 2.1) ลักษณะสัณฐาน ทรงกลม และยาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผล 6 ถึง 7 เซนติเมตร เปลือกหนาสีเหลืองส้ม เนื้อสีครีม รสเปรี้ยวฝาด มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว เมล็ดจันทน์เทศ หรือเรียกว่า ลูกจันทน์ มีสีน้ำตาลอมดำ เปลือกแข็ง มีเนื้อในเมล็ดสีเหลืองครีม กลิ่นหอม รสเผ็ด ด้านนอกเมล็ดมีรก (Mace) หรือดอกจันทน์เทศ มีลักษณะเป็นริ้วสีแดงจัด รูปร่างคล้ายร่างแห มีกลิ่นหอม รสชาติขมฝาด

และเผ็ดร้อน โดยเมื่อผลจันทน์เทศระยะแก่จัด เนื้อผลจะแตกออกเป็น 2 ซีก ทำให้เห็นรกสีแดงด้านในที่คลุมเมล็ด

Champasuri และคณะ (2016) [7] ได้ทำการวิเคราะห์การออกฤทธิ์ทางชีวภาพภายในสารสกัดด้วยเอทานอลที่ได้จากรก เมล็ดจันทน์เทศ และเปลือกต้นจันทน์เทศจากประเทศไทย ผลการวิเคราะห์พบว่าร้อยละผลผลิตของสารสกัดจากจันทน์เทศสามส่วน ผลการศึกษาทำให้ทราบถึงส่วนของรกจันทน์เทศนั้นมีร้อยละผลผลิตปริมาณมากที่สุด แต่จันทน์เทศ (เปลือก) ให้ร้อยละผลผลิตของสารสกัดจากจันทน์เทศต่ำ อย่างไรก็ตามฤทธิ์ต้านการอักเสบของสารสกัดที่ได้จากส่วนต่างๆ สามส่วนของจันทน์เทศ พบว่ามีค่าต่ำกว่าตัวยามาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$)

2.2 สารสำคัญในจันทน์เทศ

สารสำคัญที่พบในลูกจันทน์เทศพบในรูปของน้ำมันหอมระเหยประมาณร้อยละ 5-15 พบว่าส่วนใหญ่เป็นสารกลุ่มเทอร์ปีน และอนุพันธ์ต่างๆ ได้แก่ β-pinene, α-pinene, terpene-4-ol, myristicin, elemicin, eugenol และ safrole [8] เป็นต้น มีรายงานว่า Terpene-4-ol มีคุณสมบัติทางเภสัชวิทยาหลากหลาย เช่น ต้านการอักเสบ ต้านจุลชีพ ต้านอาการท้องร่วง และต้านมะเร็งที่มีศักยภาพ [9] ในขณะที่ Elemicin และ Myristicin มีฤทธิ์ในการต้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ ต้านเชื้อจุลินทรีย์ และเป็นสารกำหนดกลิ่นรสของจันทน์เทศ [10] อีกทั้งยังพบรายงานของ Tan และคณะ (2013) [11] ได้รายงานการพบสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในรกจันทน์เทศสูงถึง 0.374 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม ตามลำดับ

ศรินญา และคณะ (2560) [12] ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณแทนนิน ปริมาณสารฟีนอลิก และปริมาณสารฟลาโวนอยด์ทั้งหมด อีกทั้งยังวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในของผลจันทน์เทศ (เนื้อและเปลือก) โดยใช้จันทน์เทศ (เปลือก) เพื่อเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการผลิตน้ำจันทน์เทศพร้อมดื่ม จากผลการศึกษาพบว่าจันทน์เทศ (เปลือก) มีปริมาณแทนนินทั้งหมด 349.07 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลแทนนินต่อกรัม ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 481.77 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม TAE ฟลาโวนอยด์ทั้งหมด 120.07 mg RE /g และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ 0.28 มิลลิกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิคต่อกรัม สูงกว่า (เนื้อผล) ($p<.05$) ทำให้น้ำจันทน์เทศพร้อมดื่มที่มีการเพิ่ม (เปลือก) ได้ปริมาณสารออกออกฤทธิ์

ทางชีวภาพ และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่า น้ำจันทน์เทศพร้อมดื่มที่ไม่มีการใส่ (เปลือก) อีกทั้งยังมีคะแนนการยอมรับผลิตภัณฑ์ความชอบโดยรวม (8.80) และด้านสี (8.53) ที่สูงกว่า ($p<.05$)

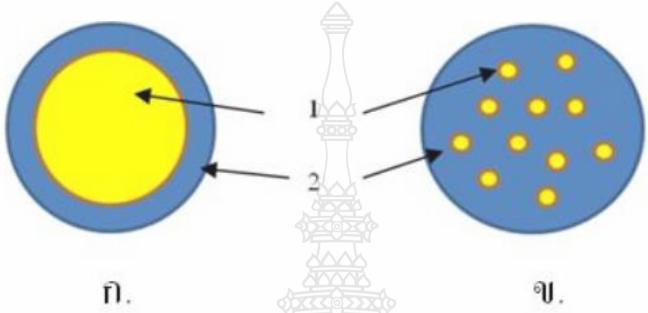
วรรณทิพย์ และคณะ (2553) [13] ได้ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ จากสารสกัดเมทานอลของเนื้อลูกจันทน์เทศ และดอกลูกจันทน์เทศ โดยการเก็บตัวอย่างจากบ้านนำร่อนนา ต.ร่อนพิบูลย์ จ.นครศรีธรรมราช ในช่วงเดือนกรกฎาคม - เดือนสิงหาคม 2553 โดยวิธีการ DPPH assay แล้วนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 515 nm เพื่อหาค่า IC50 โดยใช้กรดแอสคอร์บิก (L-ascorbic acid) เป็นสารมาตรฐานเปรียบเทียบ จากผลการศึกษาวิจัยพบว่าในดอกของจันทน์เทศ (IC50=0.58 มิลลิกรัมต่อกรัม) มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเนื้อของลูกจันทน์เทศ (IC50=0.98 มิลลิกรัมต่อกรัม) และมีฤทธิ์ใกล้เคียงกับกรด แอสคอร์บิก การหาปริมาณฟินอลิกทั้งหมดโดยใช้ Folin Ciocalteu reagent และค่าวัดการดูดกลืนแสง ที่มีความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร พบว่ามีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในดอกลูกจันทน์เทศสูงกว่าเนื้อลูกจันทน์เทศเมื่อเทียบกับกรดแกลลิก โดยพบปริมาณฟีนอลิกในดอกจันทน์เทศ 8.65 มิลลิกรัมต่อกรัม และพบปริมาณฟินอลิกในเนื้อลูกจันทน์เทศ 5.67 มิลลิกรัมต่อกรัม

2.3 เอนแคปซูเลชัน (Encapsulation)

เอนแคปซูเลชัน (Encapsulation) เป็นกระบวนการห่อหุ้มสารที่มีสถานะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส ด้วยพอลิเมอร์โดยทำให้อยู่ในรูปของแคปซูลขนาดเล็ก เรียกว่า เอนแคปซูเลต หรือหากมีขนาดตั้งแต่ 1 จนถึง 800 ไมโครเมตร อาจเรียกได้ว่า ไมโครเอนแคปซูเลต เป็นกรรมวิธีการห่อหุ้มสารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการระเหย การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการถูกทำลายโดยความร้อน แสง ความชื้น และอากาศ จึงช่วยยืดระยะเวลาในการเก็บรักษา อีกทั้งยังช่วยเปลี่ยนสถานะสารจากของเหลวเป็นของแข็ง จึงช่วยเพิ่มความสะดวกในกระบวนการขนส่ง และเก็บรักษา นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังมีคุณสมบัติในการควบคุมการปลดปล่อย สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ และความปลอดภัยในการนำส่งยาได้ ด้วยเหตุนี้ทำให้เอนแคปซูเลชันเป็นเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา และอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง เป็นต้น [14]

2.3.1 ส่วนประกอบของเอนแคปซูเลชัน

เอนแคปซูเลชัน หรือเอนแคปซูเลต ลักษณะโครงสร้างประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนถูกห่อหุ้ม คือของเหลว หรืออาจจะเป็นของแข็งเรียกว่าสารแกนกลาง (Core หรือ Internal phase) และส่วนที่นำมาห่อหุ้ม เรียกว่าส่วนห่อหุ้ม (wall หรือ coating material) ดังภาพที่ 2.2



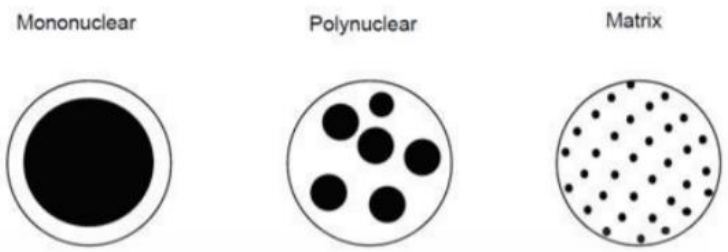
ภาพที่ 2.2 เอนแคปซูเลต (Encapsulate) แบ่งได้ 2 ลักษณะตามแกนกลางสารแกนกลาง ก. เอนแคปซูเลตแกนกลางเดียว ข. เอนแคปซูเลตหลายแกนกลาง

หมายเหตุ : หมายเลข 1 คือส่วนแกนกลาง และหมายเลข 2 คือส่วนห่อหุ้ม

ที่มา : บัณฑิต (2557) [15]

สามารถแยกประเภทของเอนแคปซูเลต (Encapsulate) ตามโครงสร้างได้ 3 โครงสร้าง คือ

- อนุภาคเดี่ยว (Mononuclear),
- โครงสร้างอนุภาครวม (Polynuclear)
- โครงสร้างอนุภาคหลายชั้น (Matrix) [15] ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของเอนแคปซูเลต
ที่มา : Ghosh (2006) [16]

2.4 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying)

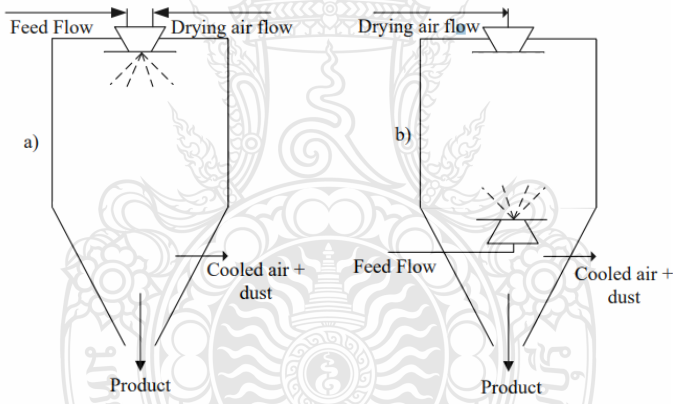
กระบวนทำแห้งแบบพ่นฝอย หรือสเปรย์ดาย (Spray Drying) เป็นเทคนิคการทำแห้งที่นิยมใช้กับอาหารประเภทนม สารละลายอินทรีย์ สารประเภทอิมัลชัน และของเหลวชนิดต่างๆ ผลิตภัณฑ์เป็นผงแห้ง คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ อาหารเด็ก นมผง สีย้อม และยา การทำแห้งด้วยวิธีนี้เป็นวิธีลดขนาด ที่เร็ว และเปลี่ยนปริมาตรของของเหลว กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วยสามขั้นตอนดังนี้ 1) การทำให้ของเหลวกลายเป็นละอองขนาดเล็ก 2) การทำให้ละอองขนาดเล็กแห้งเปลี่ยนเป็นผง และ 3) การแยกผงผลิตที่เป็นของแข็งกับอากาศออกจากกัน [17]

การทำให้วัตถุดิบซึ่งเป็นของเหลวกลายเป็นละอองขนาดเล็ก ที่เรียกว่า หยดขนาดเล็ก (Droplet) ทำได้ด้วยการใช้ความดัน หรือแรงเหวี่ยงหัวฉีด (Atomizer) เพื่อสร้างพื้นที่ผิว ในการแลกเปลี่ยนความร้อนให้สูงที่สุดระหว่างลมร้อนที่แห้งกับของเหลว เพื่อให้เกิดอัตราการแลกเปลี่ยนมวล และความร้อนที่เหมาะสม หัวฉีดที่นิยมใช้มีหลายประเภทได้แก่ หัวฉีดแบบใช้แรงลม (Pneumatic Atomizer) หัวฉีดความดัน (Pressured Atomizer) หัวฉีดแบบจานหมุนเหวี่ยง (Spinning Disk Configuration) รวมถึงหัวฉีดแบบคู่ (Two Fluid Nozzle) และหัวฉีดแบบใช้คลื่นเสียง (Sonic Nozzle) ซึ่งการเลือกหัวฉีดขึ้นกับลักษณะ และความข้นหนืดของวัตถุดิบ รวมถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ โดยหากมีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นก็จะได้ลักษณะผงที่ละเอียดมากขึ้น ในกรณีที่ใช้พลังงานเท่ากันขนาดของผงจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนสูงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม พบว่าขนาดของผงจะใหญ่ขึ้นเมื่อความข้นหนืด และความตึงผิวของของเหลวนั้นสูงขึ้น [18]

การสัมผัสกันระหว่างหยดของของเหลว (droplet) กับลมร้อนระหว่างการฉีดให้เป็นละอองฝอยในช่วงแรกของการทำแห้งเมื่อพิจารณาการติดตั้งหัวฉีด และจุดปล่อยลมร้อนสามารถแบ่งลักษณะการทำแห้งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่

(1) แบบทิศทางเดียวกัน (Co - Current – Flow) ในกระบวนการแบบทิศทางเดียวกัน ของเหลวจะถูกฉีดให้เป็นละอองฝอยลงมาในทิศทางเดียวกันกับกระแสของลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 – 220 องศาเซลเซียส โดยการระเหยแห้งจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง และผงที่ได้มีอุณหภูมิอยู่ระดับปานกลางประมาณ 50 – 80 องศาเซลเซียส ซึ่งจำกัดการเสื่อมเสียอันเนื่องมาจากความร้อนได้

(2) แบบสวนทิศทาง (Counter Current Flow) การทำแห้งแบบสวนทิศทางของเหลวจะถูกฉีดให้เป็นละอองฝอยในทิศทางตรงกันข้ามกับกระแสของลมร้อน และผงที่ได้จะสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูง จึงเป็นข้อจำกัดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน อย่างไรก็ตามมีข้อดีเรื่องประหยัด และคุ้มค่ามากกว่าในแง่ของการใช้พลังงาน [19] ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (a) co-current, (b) counter-current conditions

ที่มา : มาลิณี (2552) [19]

2.4.1 ข้อดีของการทำแห้งแบบพ่นฝอย [20]

- เป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง
- ต้นทุนการผลิตต่ำ
- ผงอนุภาคที่ได้มีขนาดเล็ก

- ผงอนุภาคที่ได้มีความคงตัวสูง

2.4.2 ข้อเสียของการทำแห้งแบบพ่นฝอย [20]

- ผงอนุภาคที่ได้ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน
- ข้อจำกัดในการเลือกใช้สารห่อหุ้ม (ความหนืดที่ต่ำ ปริมาณความเข้มข้นสูง)
- ไม่เหมาะกับสารที่ไวต่อความร้อน

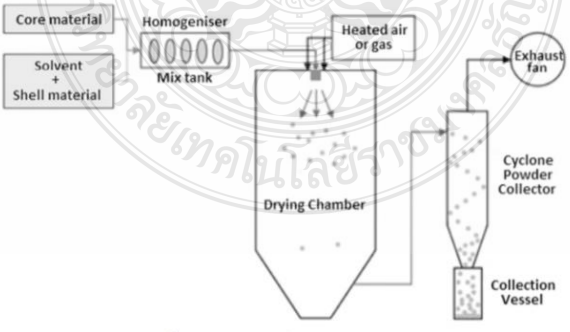
2.5 การเตรียมเอนแคปซูเลตด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying)

ปัจจุบันมีการศึกษาเทคนิคการเอนแคปซูเลชันหลายวิธี เช่น วิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying), สเปรย์ชิลลิง และคูลลิง (Spray Cooling /Chilling), เอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion), การเคลื่อบแบบฟลูอิไดซ์เบด (Fluidized Bed Coating) เป็นต้น แต่เทคนิคที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมอาหาร และยา คือวิธีพ่นแห้งเนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำวิธีการไม่ยุ่งยาก มีประสิทธิภาพในการกักเก็บสูง [3]

2.5.1 ขั้นตอนการเตรียมเอนแคปซูเลตด้วยวิธีพ่นแห้งมี 2 ลำดับ คือ

ลำดับแรก คือ การเตรียมอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Oil in Water, O/W) ให้ได้อิมัลชันที่มีสามารถกักเก็บองค์ประกอบของน้ำมันได้ดี มีความคงตัว สามารถฉีดเข้าเครื่องพ่นแห้ง

ลำดับที่สอง คือ กระบวนการพ่นแห้งเป็นการพ่นอิมัลชันผ่านความร้อนสูงอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำซึ่งละลายสารก่ออิมัลชันในวัฏภาคภายนอกระเหยออก ทำให้เกิดแผ่นฟิล์มห่อหุ้มน้ำมันซึ่งเป็นวัฏภาคภายในผลของกระบวนการดังกล่าวทำให้น้ำมันซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ของแข็งที่เป็นผงแห้ง และตกลงสู่ไซโคลนสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ [21] ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการเตรียมเอนแคปซูเลตน้ำมันด้วยวิธีพ่นแห้ง

ที่มา : Casanova (2012) [22]

2.6 สารห่อหุ้มกับคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

สารห่อหุ้มเป็นสารมีคุณสมบัติในการก่ออิมัลชัน และสามารถเกิดฟิล์มเพื่อห่อหุ้มสารแกนกลางได้ ทั้งนี้คุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของสารซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมัน และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเอนแคปซูเลตที่เตรียมได้ สำหรับสารที่นิยมใช้ในการห่อหุ้มน้ำมัน และสารแต่งกลิ่นคือกัมอราบิก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการในการกักเก็บน้ำมัน และสารแต่งกลิ่นแต่การที่กัมอราบิกเป็นสารสกัดจากธรรมชาติทำให้มีข้อจำกัดด้านปริมาณการผลิตที่สามารถผลิตได้ปริมาณค่อนข้างน้อยจึงมีราคาแพง และไม่สามารถผลิตได้ในประเทศไทยจึงมีความพยายามคัดเลือกสารชนิดอื่นเพื่อใช้แทน หรือใช้ร่วมกับกัมอราบิก เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว เช่น แป้งดัดแปลงโครงสร้าง (Modified Starch) เป็นต้น นอกจากนี้พบว่าแป้งหลายชนิดซึ่งผลิตได้เองในประเทศไทยเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งมีศักยภาพในการก่อฟิล์มในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน และมีราคาถูกจึงนำมาใช้ทดแทน หรือใช้ร่วมกันกับกัมอราบิกในการเตรียมเอนแคปซูเลต เช่นแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวชนิดต่างๆ เป็นต้น [23], [24]

2.7 หลักการเลือกสารห่อหุ้ม

การเลือกส่วนที่ห่อหุ้มนั้นมีความสำคัญมาก เนื่องจากส่งผลถึงความคงตัวของวัฏภาคอิมัลชันสายป้อน ความหนืด และความคงตัวของผงแห้งที่เตรียมได้ ประเภทของสารห่อหุ้มที่ใช้กันมาก [25] ได้แก่

- พอลิแซคคาไรด์ และน้ำตาล (Gum, Starches, Cellulose, Cyclodextrin, Dextrose)
- โปรตีน (Soy protein, Gelatin)
- ลิปิด (Oil, Fat)

สมบัติของสารห่อหุ้มที่สำคัญ ได้แก่

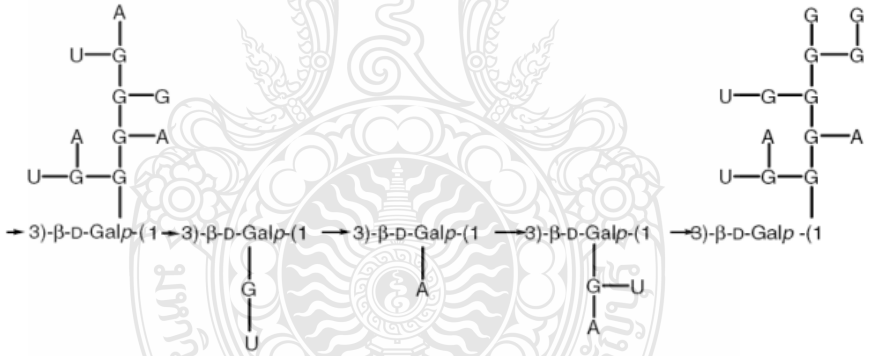
- ความสามารถในการละลายสูง
- สมบัติทำให้สารคงตัว (Emulsifier)
- ช่วยทำให้เกิดการสร้างฟิล์ม
- ความหนืดต่ำ
- ป้องกันสารระเหยต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันได้
- ประสิทธิภาพในการทนความร้อน
- ราคาถูก

2.8 ชนิดของสารห่อหุ้ม

งานวิจัยนี้ประสอบสารห่อหุ้ม 2 ชนิด ได้แก่

2.8.1 กัมอราบิก (Gum Arabic) (ภาพที่ 2.6) คือ กัมที่ได้จากยางพืช (Exudate gum) ในกลุ่มสารไฮโดรคอลลอยด์ที่หลั่งออกมาจากกิ่งก้านของพืชในกลุ่มอคาเซีย เช่น Acacia senegal, Acacia seyal ซึ่งพบในแถบทวีปแอฟริกาจากคุณสมบัติของกัมอราบิกที่มีความหนืดน้อย เมื่อใช้ในความเข้มข้นมาก ทำให้สามารถใช้ได้ในความเข้มข้นสูง จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพของการห่อหุ้ม และให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันมีสูง จากคุณสมบัติข้างต้นจึงมีการนำกัมอราบิกมาใช้เป็นสารห่อหุ้มในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันจำนวนมาก เช่น การเอนแคปซูเลชันน้ำมันโรสแมรี [26] การเอนแคปซูเลชันน้ำมันออริกาโน [27]

นอกจากนี้การใช้กัมอราบิกเป็นสารห่อหุ้มจะทำให้ผงแห้งที่ได้ไม่จับตัวเป็นก้อนได้ง่ายเหมาะสำหรับใช้กักเก็บสารระเหยที่ชื้นง่าย และยังให้การคงอยู่ของกลิ่นระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยสูงอีกด้วย แต่ข้อเสียของการใช้กัมอราบิกเป็นสารห่อหุ้มคือต้นทุนสูง เนื่องจากเป็นสารที่มีราคาแพง ดังนั้นจึงนิยมใช้ผสมกับสารห่อหุ้มชนิดอื่น

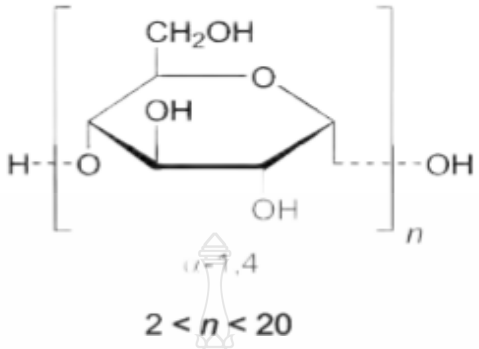


ภาพที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของกัมอราบิก
ที่มา : ปิยนุสร์ (2555) [28]

Aliah และคณะ (2022) [29] ได้ศึกษาการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้กัมอราบิกเป็นสารห่อหุ้มต่อคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ และต้านแบคทีเรียของคอมบูชา ผลการทดลองพบว่าคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของคอมบูชาโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 16.33 องศาบริกซ์ ปริมาณความชื้น ร้อยละ 3.48 วอเทอร์แอคทิวิตี้ 0.25

ค่า pH 3.28 ค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.42 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร สภาวะเปียกเท่ากับ ร้อยละ 47.27 ฤทธิ์การต้านแบคทีเรียเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) หลังจากผ่านกระบวนการหมักด้วยคอมบูชา ในขณะที่ไม่มีผลต่อค่าสังเกตุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq.05$) ต่อกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงเมแทบอไรต์ที่สำคัญ พบว่าซูโครสลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq.05$) กระบวนการพ่นแห้งโดยใช้กัมอราบิกร้อยละ 10 สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของคอมบูชา รักษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และต้านแบคทีเรียของคอมบูชา นอกจากนี้กระบวนการพ่นแห้งแบบพ่นฝอยยังทำให้ปริมาณเอทานอลลดลง ส่งผลให้คอมบูชาปลอดภัยสำหรับผู้แพ้แอลกอฮอล์ และผู้บริโภคที่เกี่ยวข้องกับฮาลาล

Liangqing และคณะ (2019) [30] ได้ทำการศึกษาปรับปรุงคุณภาพของพรีไบโอติกไซลูลิโกแซกคาไรด์ (XOS) ด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้กัมอราบิก (GA) เป็นสารห่อหุ้ม ศึกษาคุณสมบัติทางรีโอโลยี ลักษณะทางกายภาพเคมี และลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกัมอารบิก (GA) กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2′-Azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid ammonium salt) (ABTS+), กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระรีดิวซ์ (FRAP) และความสามารถในการดูดกลืนอนุมูลอิสระของออกซิเจน (ORAC) ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มปริมาณของแข็งในระบบของกัมอราบิกทำให้ค่าความหนืดมากขึ้น วิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี ABTS+, DPPH มีค่าเท่ากับ 651.69 และ 1126.00 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร อีกทั้งฤทธิ์ในการต้านออกซิเดชันโดยเทคนิค FRAP และ ORAC ให้ผลที่สูงมีค่าเท่ากับ 49.68 และ 64.95 ไมโครโมลกรดแทนนิลต่อกรัม ผลการแปลงสเปกตรัมอินฟราเรดฟูริเยร์ แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพของพรีไบโอติกไซลูลิโกแซกคาไรด์ (XOS) ด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้กัมอราบิก (GA) เป็นสารห่อหุ้ม สามารถรักษาความสมบูรณ์ของโครงสร้างไว้ในระหว่างกระบวนการได้



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของมอลโทเดกซ์ทริน
ที่มา : มาลิณี (2552) [19]

2.8.2 มอลโทเดกซ์ทริน (Maltodextrin) (ภาพที่ 2.7) เกิดจากดัดแปลงโครงสร้างของแป้งบางส่วนออกด้วยวิธีการไฮโดรไลซิสทำให้ได้สารที่มีความหนืดต่ำ สามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น จึงช่วยลดข้อจำกัดที่พบในแป้งตามธรรมชาติ มอลโทเดกซ์ทรินมีลักษณะผงสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรสหวาน ดูดความชื้นน้อย เพราะมีปริมาณโมโนแซคคาไรด์น้อยมีการรายงานองค์ประกอบของมอลโทเดกซ์ทรินที่สมมูลเดกซ์โตรส (DE) 5–19 มนุษย์สามารถรับประทานมอลโทเดกซ์ทรินได้อย่างปลอดภัยเพราะเอนไซม์ในลำไส้ย่อยมอลโทเดกซ์ทรินให้เป็นกลูโคสเช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรตทั่วไป มอลโทเดกซ์ทรินละลายน้ำได้ง่ายสามารถเตรียมเป็นสารละลายในน้ำที่อุณหภูมิห้องได้ความเข้มข้นสูงร้อยละ 15–60 สารละลายที่ได้มีลักษณะเจลใส ความข้นหนืดตั้งแต่ระดับกลางไปจนถึงต่ำ เกิด Browning reaction น้อย มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า (DE) สูงจะมีความสามารถในการดูดความชื้นความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลความใสของการละลาย และความหวานสูงกว่ามอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า (DE) น้อย แต่จะมีความหนืดต่ำกว่า [31] มอลโทเดกซ์ทรินมีราคาสูงกว่าเมื่อเทียบกับแป้งตามธรรมชาติ แต่ยังมีราคาค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับกัมอราบิก ซึ่งนิยมนำมาใช้มากในการทำเอนแคปซูเลชัน ถึงแม้มอลโท-เดกซ์ทรินมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพในการห่อหุ้มน้ำมันต้องใช้ร่วมกับกัมอราบิกในการห่อหุ้มน้ำมันแต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวก็สามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้ [25]

ศรัณย์ และคณะ (2556) [32] ได้ศึกษาการเอนแคปซูเลชันน้ำมะม่วงหิมพานต์คั้นสดที่เข้มข้นด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโทเดกซ์ทริน และแป้งข้าวเจ้าเป็นสารเคลือบ โดยแปรอุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้า 140, 150, 160, 170 และ 180 องศาเซลเซียส อัตราป้อน 5 มิลลิลิตรต่อนาที ผลการทดลองพบว่าการใช้มอลโทเดกซ์ทรินเอนแคปซูเลชันน้ำมะม่วงหิมพานต์คั้นสดที่เข้มข้น และอุณหภูมิ

อากาศร้อนขาเข้า 160 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งมีความชื้นต่ำ แต่มีสมบัติการละลาย ปริมาณวิตามินซี สารประกอบฟีนอลิก และสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (DPPH and ABTS + scavenging activity) สูงกว่าการใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นสารเคลือบ และใช้อุณหภูมิอากาศร้อนขาเข้าที่ระดับอื่น

สรศักดิ์ และคณะ (2558) [33] ได้ศึกษาการทำสารแต่งกลิ่นรสของกล้วยหอมผงด้วยเทคนิคอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying Technique) กำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 4 ระดับ ได้แก่ 100, 120, 140 และ160 องศาเซลเซียส โดยใช้สารห่อหุ้มชนิด (มอลโทเดกซ์ทริน กัมอารบิก กัมอารบิกผสมมอลโทเดกซ์ทริน อัตราส่วน 1:5 และกัมอารบิกผสมมอลโทเดกซ์ทรินอัตราส่วน 1:10) ซึ่งกัมอราบิกเป็นสารห่อหุ้มที่มีสมบัติอิมัลซิไฟเออร์ และเกิดเป็นฟิล์มดีมากแต่มีราคาแพง ส่วนมอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มที่มีสมบัติการเกิดเป็นฟิล์มต่ำแต่ราคาถูก ดังนั้นจึงมีการนำสารห่อหุ้มทั้งสองชนิดมาผสมกัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสารแต่งกลิ่นรสกล้วยหอมผงที่ใช้สารห่อหุ้มชนิด (กัมอารบิก ผสมมอลโทเดกซ์ทรินอัตราส่วน 1:10) เป็นสารช่วยทำแห้ง ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100 องศาเซลเซียส รูปร่างกลม พื้นผิวเรียบ และความหนาแน่นปรากฏ (กรัมต่อมิลลิลิตร) ดีที่สุด โดยมีค่าเท่ากับร้อยละ 3.41, 93.80, 96.06 และ 0.38 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ อีกทั้งยังตรวจพบสารหอมระเหยที่สำคัญของสารให้กลิ่นรสกล้วยหอมหลักๆ ได้แก่ Butyl butyrate, Isoamyl acetate, Isopentyl 2-methylpropanoate, และ Isoamyl butyrate เป็นต้น

Jianyu Zhu และคณะ (2022) [34] ได้ศึกษาปริมาณของเดกซ์โตรส (DE) ของมอลโทเดกซ์ทริน ต่อคุณสมบัติทางกายภาพเคมี และปฏิกิริยาออกซิเดชันไมโครแคปซูลที่ทำให้เกิดความชื้นในน้ำมันถั่วเหลืองระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ผลการศึกษาพบว่าการใช้มอลโทเดกซ์ทริน (DE 10) ลงในไมโครแคปซูลของน้ำมันถั่วเหลืองช่วยลดปริมาณน้ำมันบนพื้นผิวทำผงให้แห้ง ให้ปริมาณร้อยละผลผลิตสูงสุดเท่ากับ 88.84 กรัมต่อ 100 กรัม และเพิ่มประสิทธิภาพการห่อหุ้ม อีกทั้งยังช่วยลดขนาด และลดการกระจายขนาดของไมโครแคปซูล ซึ่งจะช่วยป้องกันความร้อน และการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันถั่วเหลือง

นริสา และคณะ 2555 [35] ได้ศึกษาการเกิด Nano-emulsion ของน้ำมันหอมระเหยกานพลูโดยวิธี aqueous titration โดยการใช้สารลดแรงตึงผิวผสม (Co-Surfactant) ให้ค่า Hydrophile-Lipophile Balance (HLB) แบบต่ำ แบบกลาง และแบบสูง ผสานรวมกับ Tween 20 ดังนั้น Acacia, Transcutol P, Span 20 และ PEG 400 จึงถูกใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวร่วม เนื่องจากมีค่า HLB อยู่ในช่วง 3-6, 4, 8.6 และ 13 ตามลำดับ โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Continuous phase จากนั้นนำมาผามกับน้ำมัน และไทเทรตด้วยน้ำกลั่นและทำการเขย่า ของเหลวที่ไม่เกิดการแยกชั้นจะถูกนำมาทดสอบความคงตัวต่อด้วยวิธี Centrifugal test, Cooling – Heating cycle และ Freezing – Thawing cycle ตามลำดับ นำอิมัลชันที่ผ่านการทดสอบ

ความคงตัวมาวัดขนาด (size) ด้วยเทคนิค Dynamic light scattering (DLS) พบว่าการใช้ Tween 20:PEG 400 ทำให้เกิดนาโนอิมัลชันมีถึง 11 อัตราส่วนด้วยกัน โดยเฉพาะที่อัตราส่วน 4:1, 3:1 และ 2:1 ที่อัตราส่วน Oil:S_{mix} 1:9, 1:8, 1:7 และ 1:6 ขนาดของนุภาคที่วัดได้อยู่ในช่วง 13.92±0.23 นาโนเมตร ถึง 20.88±0.33 นาโนเมตร ตามลำดับ

2.9 ผลของกระบวนการพ่นแห้งต่อคุณสมบัติทางเคมี กายภาพของเอนแคปซูเลต

คณุสมบัติทางเคมีกายภาพ เช่นปริมาณผลิตภัณฑ์ และประสิทธิภาพการกักเก็บน้ำมัน รูปร่าง และขนาดอนุภาค Bulk density และ Tap density ตลอดจนถึงความชื้นของผงเอนแคปซูเลตล้วนมีผลต่อความคงตัวความสะดวกในการขนส่งตลอดไปถึงความคุ้มทุนในการผลิตปัจจัยเหล่านี้ จึงเป็นปัจจัยที่ใช้ในการประเมินเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ทั้งนี้กระบวนการพ่นแห้งประกอบด้วยหลายกระบวนการย่อย คือการป้อนฉีดอิมัลชันเข้าเครื่อง พ่นแห้งผ่านหัวฉีด (Atomizer) เกิดเป็นละอองฝอยขนาดเล็ก การอบแห้งด้วยอุณหภูมิร้อนขาเข้าซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการระเหยน้ำออกจากละอองฝอยทำให้เกิดผงเอนแคปซูเลต โดยความดันและอัตราการไหลของอากาศจะทำหน้าที่ในการผลักดันให้ละอองฝอยเคลื่อนที่ไปสัมผัสความร้อน และนำผงแห้งตกลงสู่ไซโล ซึ่งก่อนเข้าสู่ไซโลผงเอนแคปซูเลตจะถูกลดความชื้นลงด้วยอุณหภูมิลมร้อนขาออก ซึ่งทุกกระบวนการข้างต้นล้วนแล้วแต่มีผลต่อคุณสมบัติของผงเอนแคปซูเลตดังนี้

2.9.1 อัตราการป้อน

อัตราการป้อนที่นิยมใช้เอนแคปซูเลชันอยู่ระหว่าง 1.0-2.0 กิโลกรัมต่อชั่วโมง [36] หากเพิ่มอัตราการป้อนจะทำให้ปริมาณละอองฝอยในเครื่องพ่นแห้งมีปริมาณสูง อุณหภูมิภายในจึงลดต่ำลง ทำให้เกิดฟิล์มห่อหุ้มสารแกนกลางน้อยส่งผลให้ปริมาณผลิตผลที่ได้มีปริมาณน้อยอีกทั้งมีปริมาณความชื้นในผงแห้งสูง ซึ่งความชื้นดังกล่าวมีผลต่อความคงตัวของน้ำมัน ซึ่งเป็นสารแกนกลางโดยทั่วไปปริมาณความชื้นในอาหารประเภทผงแห้งไม่ควรเกินร้อยละ 4 [37] อีกทั้งการเพิ่มอัตราเร็วในการป้อนตัวอย่างทำให้อนุภาคมีขนาดไม่สม่ำเสมอ รูปร่างอสมมาตร มีรูพรุนสูงทำให้ Bulk density และ Tap density ของผงยาที่ได้สูงทั้งนี้ Bulk density ซึ่งเป็นความหนาแน่น และ Tap density ซึ่งเป็นความหนาแน่นหลังเคาะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อขนาด และปริมาณในการบรรจุ หรือขนส่งซึ่งจะส่งผลกระทบต่อศักยภาพในการขนส่ง และต้นทุนในการขนส่ง

2.9.2 ความดัน และอัตราการไหลของอากาศ

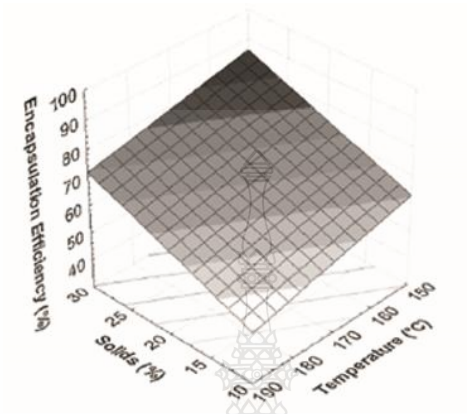
ตามทั่วไปนิยมใช้ความดัดอากาศในการเอนแคปซูเลชันอยู่ระหว่าง 90-120 กิโลปาสกาล การเพิ่มความดันทำให้อัตราการเร็วในการพ่นแห้งเพิ่มขึ้นมุมในการพ่นละอองฝอยทำให้ลดลงการสะสมของผงแห้งบริเวณผนังของถังเครื่องพ่นแห้งจึงได้ปริมาณผลิตผลจากการผลิตเพิ่มขึ้นต่างจากการลดความดันซึ่งทำให้ปริมาณผลิตลดลงขนาดอนุภาคลดลง จึงทำให้ความสามารถในการไหลของผงเอนแคปซูเลตลดลงซึ่งจะมีผลต่อความสม่ำเสมอในแต่ละหน่วยบรรจุยาสำหรับอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อระยะเวลาที่ละอองฝอย และอนุภาคผงแห้งอยู่ในถังอบแห้งโดยทั่วไปนิยมเอนแคปซูเลชันโดยใช้อัตราการไหลของอากาศประมาณ 60-90 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที หากอัตราการไหลของอากาศต่ำจะทำให้ระยะเวลาอยู่ในถังอบเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นในผงเอนแคปซูเลตจึงลดลง [38], [39]

2.9.3 อุณหภูมิร้อนขาเข้า และขาออก

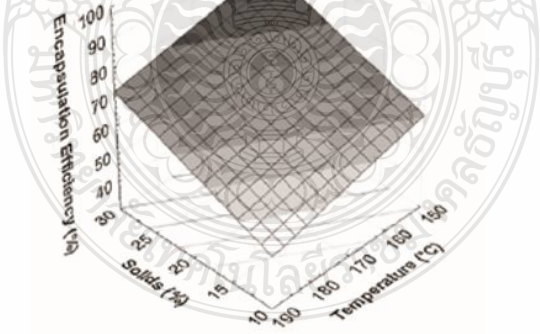
อุณหภูมิร้อนขาเข้าเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณสมบัติโดยรวมของผงเอนแคปซูเลตที่เตรียมได้ และการที่สามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิร้อนขาเข้าทำได้ง่ายจึงมีรายงานวิจัยหลายงานวิจัยที่มีการศึกษาผลของอุณหภูมิร้อนขาเข้าที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันชนิดต่างๆ ซึ่งอุณหภูมิที่ประสบความสำเร็จในการเอนแคปซูเลชันมักอยู่ในช่วง 150-200 องศาเซลเซียส [34]

Frascareli และคณะ (2012) [40] ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันกาแฟโดยใช้กัมอราบิกเป็นสารห่อหุ้ม พบว่าอุณหภูมิขาเข้าที่สูงขึ้นมีผลทำประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมัน และปริมาณน้ำมันทั้งหมดในผงเอนแคปซูเลตเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิ ความร้อนมีผลต่ออัตราเร็วการระเหยของน้ำออก และการเกิดฟิล์ม (Film Formation) ความร้อนที่สูงขึ้นจะทำให้ผิวนอกสุดของสารห่อหุ้มแห้ง และเกิดฟิล์มอย่างรวดเร็วจึงกักเก็บน้ำมันไว้ได้ในปริมาณสูง (ภาพที่ 2.8 และภาพที่ 2.9) อย่างไรก็ตามการระเหยของน้ำที่ผิวละอองฝอยอย่างรวดเร็วอาจทำให้น้ำที่อยู่ภายในยังไม่ระเหยออกมาได้ทันอาจทำให้เกิดอากาศ หรือรูพรุนแทรกอยู่ในผนังของสารเอนแคปซูเลตทำให้ปริมาณ Bulk density และ Tap density สูงขึ้นนอกจากนี้ความดันที่เกิดจากความพยายามระเหยน้ำออกภายในอาจทำให้เกิดการแตกของเปลือกสารห่อหุ้มเกิดการสูญเสียน้ำมัน และทำให้ประสิทธิภาพการป้องกันสารแกนกลางจากสภาพแวดล้อมภายนอกลดลงสำหรับความชื้นของผงเอนแคปซูเลต พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้า ในช่วงแรกทำให้ปริมาณของความชื้นในผงเอนแคปซูเลตลดลง เนื่องจากมีอัตราการระเหยของน้ำเพิ่ม แต่อย่างไรก็ตามหากเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนขาเข้าสูงเกินไปจะทำให้ Moisture content สูงขึ้น เนื่องจากการเกิดฟิล์มอย่างรวดเร็วทำให้น้ำที่อยู่ภายในอนุภาคระเหยออกมาได้ยากจึงมีปริมาณน้ำสะสมในอนุภาค (ภาพที่ 2.10)

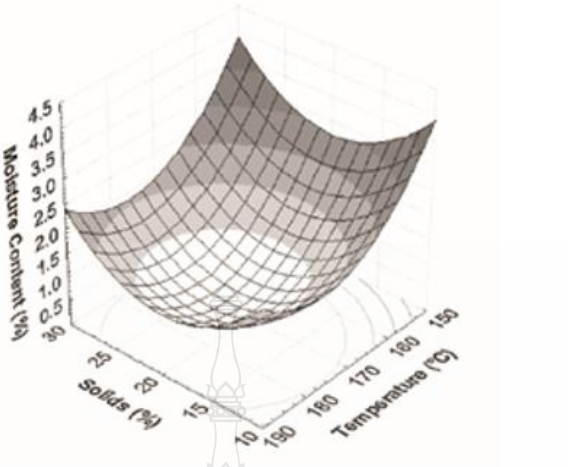
จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิขาเข้าเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการควบคุมคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของผงเ อนแคปซูเลต อีกทั้งสามารถปรับเปลี่ยนอุณหภูมิได้ง่ายจึงสะดวกในการพัฒนากว่าปัจจัยอื่น



ภาพที่ 2.8 กราฟแสดงความสำพันธุ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมด และอุณหภูมิร้อนขาเข้า ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพการเก็บเก็บน้ำมันเมล็ดกาแฟของเอนแคปซูเลตโดยวิธีพ่นแห้ง
ที่มา : ธีระวัตน์ (2561) [40]



ภาพที่ 2.9 กราฟแสดงความสำพันธุ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมด และอุณหภูมิร้อนขาเข้า ซึ่งมีผลต่อน้ำมันเมล็ดกาแฟทั้งหมด
ที่มา : ธีระวัตน์ (2561) [41]



ภาพที่ 2.10 กราฟแสดงความสำพันธุ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมด และอุณหภูมิร้อนขาเข้า ซึ่งมีผลต่อความชื้นของเอนแคปซูเลต

ที่มา : ธีระวัตน์ (2561) [41]

สำหรับอุณหภูมิขาออกมีผลต่อประมาณความชื้น และความคงตัวของผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปนิยมใช้อุณหภูมิขาออกอยู่ระหว่าง 70-90 องศาเซลเซียส [42] หากมีการลดปริมาณอุณหภูมิขาออกจะทำให้ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์หลังการเกิดฟิล์มได้ลดลง ซึ่งเพิ่มโอกาสในการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคผงยา (Agglomeration) รวมทั้งอาจมีผลต่อการเพิ่มปฏิกิริยาออกซิเดชัน และไฮโดรไลซิสของน้ำมันที่ถูกกักเก็บ [43] ผลกระทบอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และอุณหภูมิลมร้อนขาออกของอากาศของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของอากาศ และการลดอุณหภูมิลมร้อนของอากาศ จะส่งผลให้การทำแห้งแบบพ่นฝอยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทั่วไปสภาวะเหมาะสมกับอุณหภูมิขาเข้าของอากาศโดยทั่วไปพิจารณาจากความทนทานของอาหาร หรือความไวของอาหารต่อความร้อนอาหารส่วนมากมักทำแห้งด้วยอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของอากาศไม่เกิน 200 องศาเซลเซียส แต่อาหารบางชนิดสามารถทนได้ถึงอุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยรุ่นใหม่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของอากาศมีค่าระหว่าง 140–300 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารการทำแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนขาออกของอากาศต่ำจะเพิ่มประสิทธิภาพในการทำแห้ง แต่หากใช้อุณหภูมิลมร้อนขาออกต่ำเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงมากขึ้น สังเกตุได้จากอุณหภูมิลมร้อนขาออกของอากาศอยู่ในช่วง 70–115 องศาเซลเซียส [44] โดยจะได้ผลิตผลที่มีความชื้นอยู่ร้อยละ 2.0–4.5 ซึ่งสอดคล้องกับสุนทรี และคณะ (2546) [45] ได้ศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทริน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อปัจจัยด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำใบเตยผงที่ทำ

แห้งแบบฉีดพ่นฝอย สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำแห้งน้ำใบเตยโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือการเติมมอลโทเดกซ์ทรินที่ระดับร้อยละ 10 และใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 150 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์น้ำใบเตยผงที่มีค่าวอเทอร์แอคติวิตี และยังคงกลิ่นรสที่ดีของใบเตย

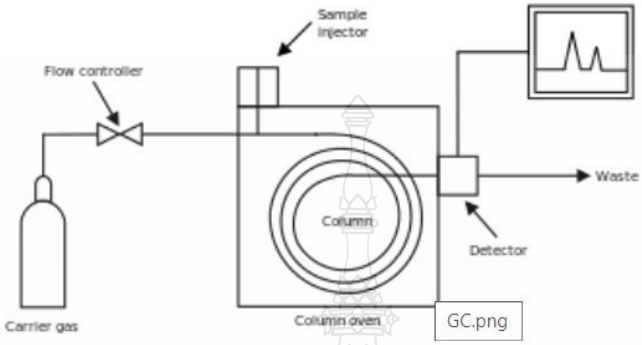
มาลิณี และคณะ (2552) [19] ได้ศึกษาการกักเก็บน้ำมันตะไคร้ให้อยู่ในรูปของผงอนุภาคโดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำมันตะไคร้สามารถกักเก็บให้อยู่ในรูปของผงอนุภาคได้ด้วยกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้แป้งดัดแปร และกัมอราบิคผสมมอลโทเดกซ์ทริน (1 : 3) เป็นสารห่อหุ้มลักษณะของผงอนุภาคที่ได้จะเป็นทรงกลม กลวง พื้นผิวเป็นหลุมโดยรอบขนาดประมาณ 10-40 ไมโครเมตร การใช้ปริมาณน้ำมันตะไคร้ต่ำร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของแข็งทั้งหมด จะทำให้การคงอยู่ของซิทราล (Citral) หลังผ่านกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยยังคงมีค่าใกล้เคียงร้อยละ 100 เมื่อใช้แป้งดัดแปรเป็นสารห่อหุ้ม แต่สารห้อหุ้มชนิดกัมอราบิคผสมมอลโทเดกซ์ทรินจะทำให้ความคงตัวของผงอนุภาคสูงกว่าแป้งดัดแปร และในส่วนผลของอุณหภูมิอากาศขาเข้านั้น พบว่าไม่มีผลต่อค่าการคงอยู่ของซิทราล (Citral) นอกจากนี้ผลของขนาดอิมัลชันในสายป้อนก็ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าการคงอยู่ของซิทราล (Citral) โดยอิมัลชันขนาดเล็กจะให้ค่าการคงอยู่ของซิทราล (Citral) สูงกว่าอิมัลชันขนาดใหญ่

2.10 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ (Gas Chromatograph - Mass Spectrometer, GC-MS)

2.10.1 หลักการทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

การทำงานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ในระบบของแก๊สโครมาโทกราฟีจะมี Carrier Gas เคลื่อนที่อยู่ในระบบตลอดเวลา ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจะถูกนำเข้าสู่ระบบแก๊สโครมาโทกราฟีใน Injection port โดยอยู่ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิ เป็นระบบปิด สามารถปิดกันการรั่วของแก๊ส ไม่ให้ออกภายนอก ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง Injection port ตัวอย่างจะถูกเปลี่ยนแปลงกลายเป็นไอ และเคลื่อนไปยังคอลัมน์ร่วมกับ Carrier gas ภายใน Colum โดยเฟสคงที่ (Stationary phase) จะเคลือบอยู่บนของแข็งรองรับ (Solid support) หรือเคลือบอยู่บนท่อ สารอินทรีย์ในตัวอย่างจะเกิดแรงกระทำกับเฟสคงที่ ด้วยคุณสมบัติของสารไม่เหมือนกัน ทำให้สารอินทรีย์ในแต่ละชนิด มีแรงกระทำที่ต่างกัน ส่งผลให้เฟสคงที่เหนี่ยวรั้งสารอินทรีย์แต่ละชนิดได้ไม่เท่ากัน สารอินทรีย์จึงเกิดการแบ่งออกจากกันภายในคอลัมน์ และสุดท้ายสารอินทรีย์จะเดินทางออกจากคอลัมน์เข้าสู่ส่วนตรวจวัดสัญญาณ (Detector) ในเวลาที่ต่างกัน สัญญาณที่ตรวจวัดจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ส่งผลการวิเคราะห์ไปที่ส่วนประมวณผล

และบนทึกผล สารอินทรีย์เมื่อเดินผ่านส่วนตรวจวัดสัญญาณก็จะถูกดึกทิ้งออกจากระบบแก๊สโครมาโทกราฟี ไปพร้อมกับ Carrier Gas ปัจจุบันระบบแก๊สโครมาโทกราฟีมีส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องแก๊สโทรมาโทรกราฟี (ภาพที่ 2.11) ดังนี้ [46]



ภาพที่ 2.11 ส่วนประกอบของเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี
ที่มา : Zhao (2019) [8]

Gupta และคณะ (2013) [47] ได้ศึกษาวิเคราะห์ฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ และการยับยั้งจุลินทรีย์ของสารสกัดต่างๆ ในจันทน์เทศ ผลการค้นคว้าวิจัยพบว่าการสกัดสารสำคัญด้วยอะซิโตน มีความสามารถในการยับยั้งจุลินทรีย์ และสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด อีกทั้งทำการวิเคราะห์สาระเหยที่สำคัญในส่วนของจันทน์เทศด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรมิเตอร์ (GC-MS) ได้แก่ β-Pinene, α-Pinene, 1,8-Cineol, Myrcene, Carvacrol, Terpinene-4-ol, Isoeunol และ Eugenol สรุปผลงานวิจัยได้ว่าการยับยั้งจุลินทรีย์ และประสิทธิผลในการต้านอนุมูลอิสระจากจันทน์เทศอาจเป็นประโยชน์ในการชะลอการ และการป้องกันการเกิดโรคที่มาจากภาวะออกซิไดซ์เกินภาวะสมดุล และการติดเชื้อจากจุลินทรีย์ที่อาจทำให้ก่อโรค

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 รกจันทน์เทศอบแห้ง	จากสวนเกษตร จังหวัดนครศรีธรรมราช
3.1.2 น้ำมันมะพร้าว	ยี่ห้อ แมนเนเจอร์
3.1.3 มอลโทเดกซ์ทริน DE 10	จาก บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด
3.1.4 กัมอราบิก	จาก บริษัท เคมีภัณฑ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 ตู้เย็นควบคุมอุณหภูมิ
3.2.2 อุปกรณ์เครื่องครัว
3.2.3 ถุงฟรอยทึบปิดสนิทแบบสุญญากาศ
3.2.4 ตะแกรงร่อนขนาด 60 เมซ
3.2.5 กรวยกรอง
3.2.6 กระดาษกรองเบอร์ 1 (Filter papers)
3.2.7 ขวดรูปชมพู่ (Erlenmayer flask) 50, 100 และ 150 มิลลิลิตร
3.2.8 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) 50, 100 และ 150 มิลลิลิตร
3.2.9 บีเกอร์ (Beaker) ขนาด 50, 100 และ 150 มิลลิลิตร
3.2.10 กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 50 และ 100 มิลลิลิตร

3.3 เครื่องมือ

3.3.1 เครื่องคนสารละลาย (Magnetic Stirrer) ยี่ห้อ VELP รุ่น AREC
3.3.2 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Venz รุ่น CR.1/3
3.3.3 เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Hermle รุ่น Z206A
3.3.4 เครื่องสั่นสารละลาย (Vortex) ยี่ห้อ LMS รุ่น VTX-3000L
3.3.5 เครื่องปั่นผสม ยี่ห้อ Philips รุ่น HR2118

3.3.6 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Digital Scale) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น TE64

3.3.7 เครื่องตรวจวัดค่าสี (Hunter color Lab) ยี่ห้อ CR-10

3.3.8 เครื่อง Water Activity รุ่น AQUA LAB 4TE

3.3.9 เครื่องวัดค่าดูดกลื่นแสง (Spectrophotometer) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Genestys 20

3.3.10 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7890A แมสสเปกโตรมิเตอร์ รุ่น 5975C

3.3.11 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Dryer) ยี่ห้อ Lab Plant Spray Dryer รุ่น SD-Basic

3.4 สารเคมี

3.4.1 Folin-Ciocalteu reagent (FCR)

3.4.2 แอสคอร์บิก (Ascorbic acid)

3.4.3 แกลลิค (Gallic acid)

3.4.4 2.2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

3.4.5 โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate)

3.4.6 ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane, Methylene chloride)

3.4.7 เพนเทน (Pentane)

3.4.8 น้ำกลั่น

3.5 วิธีการทดลอง

3.5.1 วัตถุดิบ และการเตรียมวัตถุดิบ

นำผลจันทน์เทศการเก็บเกี่ยวระยะแก่จัด จากสวนเกษตรของจังหวัดนครศรีธรรมราช จะถูกเก็บเกี่ยวในช่วงเช้าของวัน ทำการขนส่งมายังจังหวัดปทุมธานี อาคารเฉลิมพระเกียรติ์ 70 ปี คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (ศูนย์รังสิต) ใช้เวลาการจัดส่ง 24 ชั่วโมง

3.5.1.1 การเตรียมรกจันทน์เทศแห้ง

ทำแห้งรกจันทน์เทศสดระยะแก่ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน (Hot Air Oven) กำหนดอุณหภูมิอบแห้ง 60 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส จนรกจันทน์เทศมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10

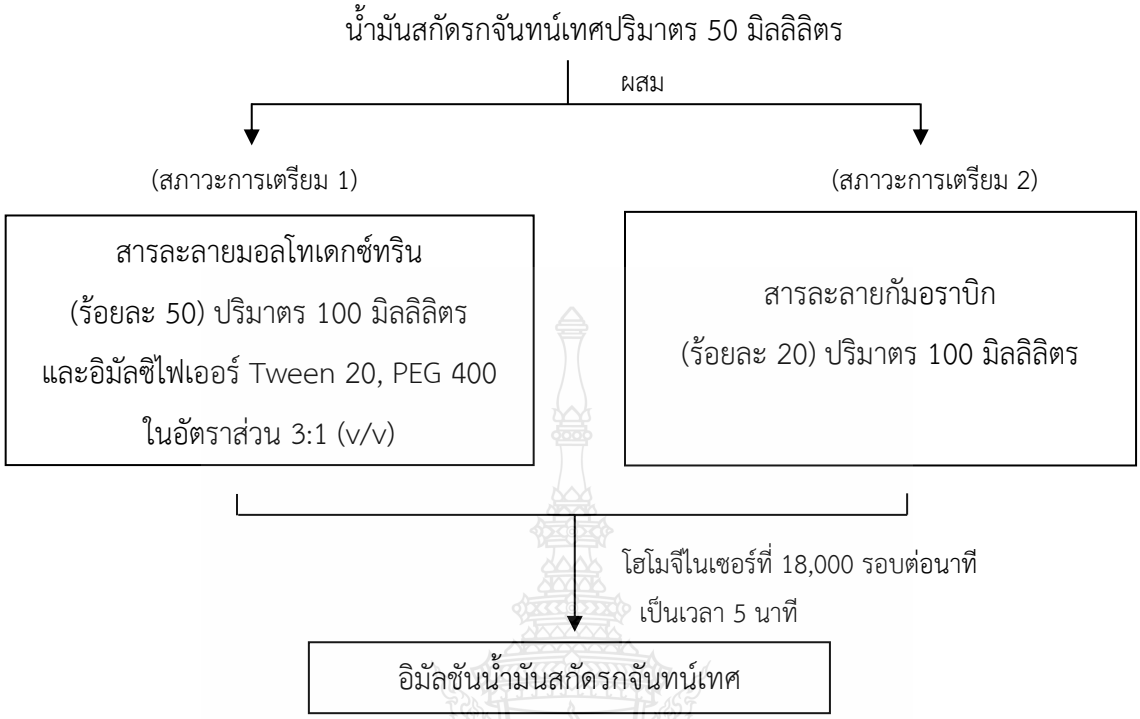
จากนั้นจึงนำมาบดด้วยโถปั่นแห้ง เก็บรักษาในตู้ควบคุมความชื้น อุณหภูมิห้อง โดยบรรจุในถุงฟอยด์ทึบสุญญากาศ เพื่อรอใช้ในการสกัด

3.5.1.2 การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากรกจันทน์เทศด้วยน้ำมันบริโภค

นำผงรกจันทน์เทศแห้งที่เตรียมได้จากข้อ 3.5.1.1 มาสกัดด้วยน้ำมันมะพร้าว โดยใช้อัตราส่วนของผงรกจันทน์เทศแห้งต่อน้ำมันมะพร้าวในการสกัด เท่ากับ 1:4 ทำการสกัดที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง มีการคนผสมตลอดเวลาการสกัด เมื่อครบเวลาการสกัดจะกรองแยกเฉพาะส่วนของน้ำมัน [5] เก็บรักษาน้ำมันที่สกัดได้ในขวดแก้วสีชา ที่อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) เพื่อรอใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

3.5.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

การศึกษาในขั้นตอนนี้จะทำการเตรียมน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ได้จากข้อ 3.5.1.2 ให้อยู่ในรูปของอิมัลชัน ดัดแปลงจากมาลิณี และคณะ (2552) [19] โดยอุ่นน้ำมันที่เตรียมได้จาก 3.5.1.2 จากนั้นผสมสารมอลโทเดกซ์ทริน (DE 10) ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 50 ในอัตราส่วน 1:2 ผสมสารให้ความคงตัว (อิมัลซิไฟเออร์ Teen 20, PEG 400) ในอัตราส่วน 3:1 (v/v) โดยวิธี Aqueous titration โดยส่งผลให้มีค่า Hydrophile-Lipophile Balance (HLB) แบบต่ำ กลาง และสูง ร่วมกับ Tween 20 [35] และกัมอราบิกความเข้มข้น ร้อยละ 20 ในอัตรส่วน 1:2 ลงไปปั่นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) ที่ความเร็ว 18,000 rpm ต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

จากนั้นนำอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

คุณสมบัติทางกายภาพ

- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

พิจารณาคัดเลือกสภาวะการเตรียมอิมัลชันที่ทำให้ได้อิมัลชันที่มีความสม่ำเสมอ เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) เพื่อใช้ศึกษาลำดับต่อไป

3.5.3 การศึกษาผลกระทบอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต่อร้อยละผลผลิต และคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

เตรียมอิมัลชันของน้ำมันโดยอุ่นน้ำมันที่เตรียมได้จาก 3.5.1.2 จากนั้นผสมสารมอลโทเดกซ์ทริน (DE10) และกัมอราบิก (จากสภาวะการเตรียมอิมัลชันในข้อ 3.5.2) ลงไปปั่นผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ที่ความเร็ว 18,000 rpm ต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมได้เข้าทำแห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างกัน 2 ระดับได้แก่ 170 องศาเซลเซียส และ 180 องศาเซลเซียส นำผงเอนแคปซูเลตที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

คุณสมบัติทางกายภาพ

- ค่าวอเทอร์แอคติวิตี (a_W) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
- คำนวณค่าร้อยละผลผลิต ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

พิจารณาคัดเลือกสภาวะการเตรียมเอนแคปซูเลตที่ดี ที่ ให้ผงที่แห้ง มีปริมาณร้อยละผลผลิตที่ดี เพื่อใช้ศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.5.4 การศึกษาผลชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

เตรียมอิมัลชันของน้ำมันโดยใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ มอลโทเดกซ์ทริน (DE10) และ กัมอราบิก ตามสภาวะที่คัดเลือกได้ ในขั้นตอน 3.5.3 จากนั้นนำเข้าทำแห้งเพื่อให้ได้ผงของเอนแคปซูเลต โดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยด้วยสภาวะที่เหมาะสมที่คัดเลือกได้จากขั้นตอน 3.5.3 นำผงเอนแคปซูเลตที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

คุณสมบัติทางกายภาพ

- วัดค่าสีโดยใช้ Hunter lab ระบบ CIE วัดค่าในรูป L*, a*, b* ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
- ความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
- ค่าวอเทอร์แอคติวิตี (a_W) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

คุณสมบัติทางเคมี

นำตัวอย่างเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศมา 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:1) ผสมตัวอย่างในเครื่อง Vortex เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Centrifuge) ที่ 4,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที แยกเก็บเฉพาะส่วนใสเก็บไว้ในหลอดทดลองเพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ดังนี้

- ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteru Reagent (ดัดแปลงจาก Tan *et al*., 2013) [11] ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
- กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radicals scavenging (ดัดแปลงจาก Sarinya *et al*., 2017) [12] ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

- วิเคราะห์ชนิดของสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบดัดแปลงจาก Zhao และคณะ (2019) [10] ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7890A วิธีการสกัดแบบ Direct solvent ใช้สารไดคลอโรมีนเทน : เพนเทน อัตราส่วน 1:2 เป็นสารทดสอบ โดยใช้คอลัมน์ชนิด Mega-5MS ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร ความหนาของฟิล์ม 0.25 ไมโครเมตร (Agilent Techologies, Santa Clara, California, USA) ทำการวิเคราะห์ด้วย split ratio 10:1 ใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 41 องศาเซลเซียส คงที่ 1 นาที จากนั้นปรับเป็น 221 องศาเซลเซียส ในอัตราเพิ่ม 5 องศาเซลเซียส ต่อนาที ค้างไว้ 1 นาที หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 240-270 องศาเซลเซียส ใช้ฮีเลียมเป็นตัวพา ที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที จากนั้นสารระเหยจะผ่านเข้าไปสู่ Agilent 5975C MS detector (Agilent Techologies, Santa Clara, California, USA) การบ่งชี้ชนิดของสารระเหยใช้ส่วนวิเคราะห์มวง (Mass Analyzer) แบบอิเล็กตรอนอิมแพคท์ (Electron Impract Ionization, EI) สแกนมวลในช่วง 40-901 amu วิเคราะห์โดยเทียบ Mass Spectrum ร่วมกับฐานข้อมูล NIST MS Search 11.0 library (Nation Institute of Standard and Technology, Gaithersburg, MD, USA)

พิจารณาคัดเลือกสารห่อหุ้มที่เหมาะสม โดยเป็นชนิดสารห่อหุ้มที่ทำให้ได้เอนแคปซูเลตที่แห้ง ร้อยละผงผลิตภัณฑ์ที่ดี เป็นเอนแคปซูเลตที่มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ดี มีความหลากหลายของสารระเหยที่เป็นองค์ประกอบ เพื่อใช้ศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.5.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศระหว่างการเก็บรักษา

เก็บรักษาเอนแคปซูเลตที่ผลิตได้ในถุงฟอยด์ทึบ สุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 เดือน ทุกๆ 7 วัน เอนแคปซูเลตที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

คุณสมบัติทางกายภาพ

- วัดค่าสีโดยใช้ Hunter lab ระบบ CIE วัดค่าในรูป L*, a*, b* ทำการทดลอง 3 ซ้ำ
- ค่าวอเทอร์แอคติวิตี (a_W) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

คุณสมบัติทางเคมี

นำตัวอย่างเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศมา 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:1) ผสมตัวอย่างให้เข้ากันโดยเครื่อง Vortex เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำตัวอย่างเข้าเครื่องปั่น

เหวี่ยงความเร็วสูง (Centrifuge) กำหนดความเร็วของรอบ 4,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที แยกเฉพาะส่วนใส เก็บไว้ในหลอดทดลองเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ดังนี้

- ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteru Reagent (ดัดแปลงจาก Tan *et al*., 2013) [11]
- กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radicals scavenging (ดัดแปลงจาก Sarinya *et al*., 2017) [12]

3.5.5.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

เก็บรักษาเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ผลิตได้ในถุงฟอยด์ทึบสุญญากาศ และน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศในขวดแก้วสีชา ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 เดือน ทุกๆ 7 วัน เอนแคปซูเลตที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

คุณสมบัติทางเคมี

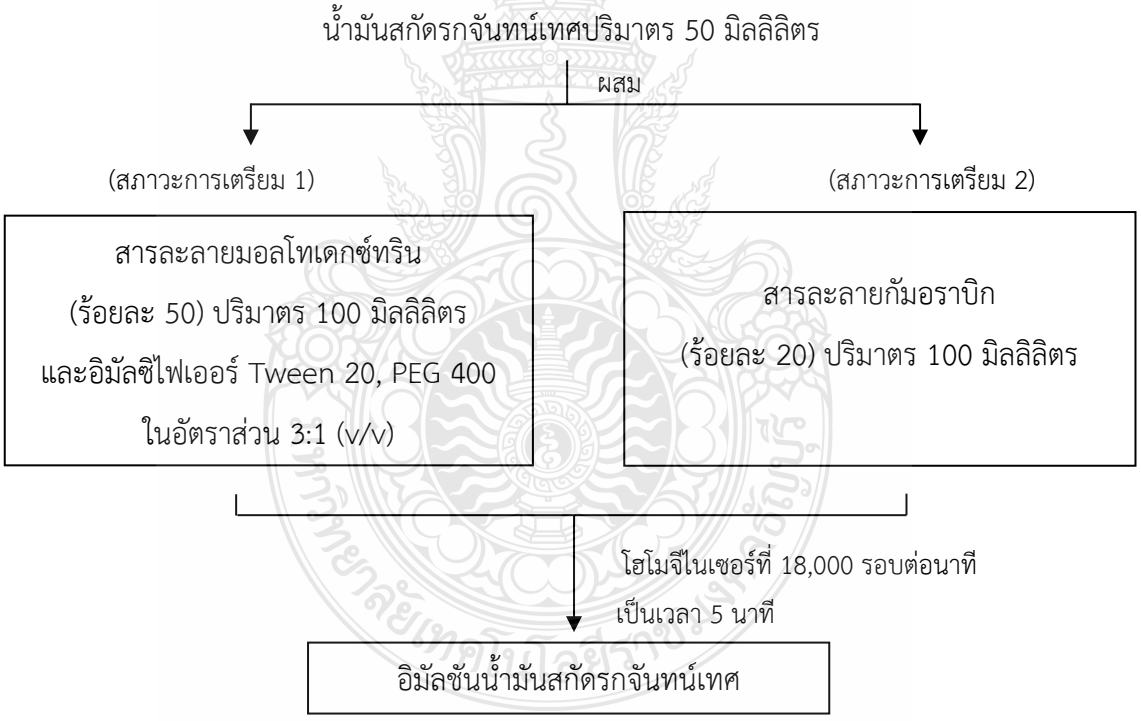
นำตัวอย่างเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศมา 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:1) ผสมตัวอย่างด้วยเครื่อง Vortex เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำตัวอย่างเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (Centrifuge) ที่ 4,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที แยกเฉพาะส่วนใสเก็บไว้ในหลอดทดลองเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ดังนี้

- ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteru Reagent (ดัดแปลงจาก Tan *et al*., 2013) [11]
- กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radicals scavenging (ดัดแปลงจาก Sarinya *et al*., 2017) [12]

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

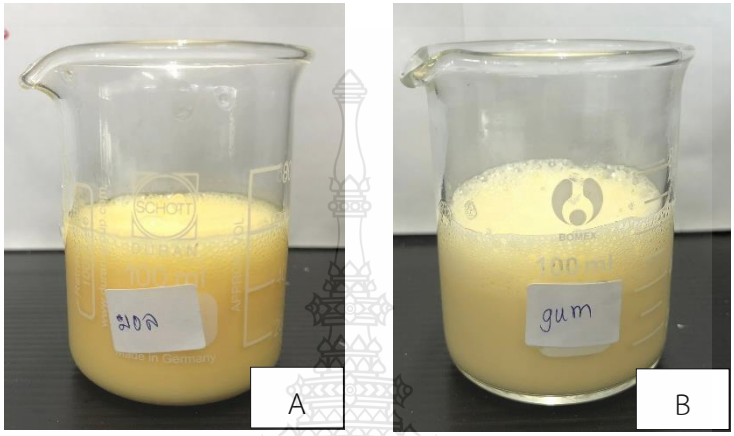
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

ในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศในงานวิจัยครั้งนี้ มีการใช้น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศต่อสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินที่ความเข้มข้นร้อยละ 50 ในอัตราส่วนผสม 1:2 ผสมสารให้ความคงตัว (อิมัลซิไฟเออร์ Teen 20, PEG 400) ในอัตราส่วน 3:1 (v/v) [35] (สภาวะการเตรียม 1) และ น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศต่อสารละลายกัมอราบิกความที่เข้มข้นร้อยละ 20 ในอัตราส่วน 1:2 (สภาวะการเตรียม 2) โดยมีสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันดังแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แผนผังการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

จากสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศดังแสดงในภาพที่ 4.1 ทำให้ได้อิมัลชันที่มีความสม่ำเสมอ เป็นเนื้อเดียว (homogeneous) มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 33 และ 17 องศาบริกซ์ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.2)



ภาพที่ 4.2 อิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่เตรียมจากไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด
หมายเหตุ การเตรียมอิมัลชันโดยใช้ มอลโทเดกซ์ทริน (A) และกัมอราบิก (B)

4.2 การศึกษาผลกระทบอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบต่อร้อยละผลผลิตและคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

เตรียมเอนแคปซูแลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ ด้วยกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างกัน 2 ระดับ ได้แก่ 170 และ 180 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.3) ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณร้อยละผลผลิต และค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_W) ($p<.05$) โดยอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 170 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละผลผลิต และค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_W) เท่ากับ ร้อยละ 7.95, 8.99 และ 0.15, 014 สำหรับสภาวะการเตรียม 1 และ 2 ตามลำดับ และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 180 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละผลผลิตและค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_W) เท่ากับ ร้อยละ 17.50, 14.50 และ 0.14 สำหรับสภาวะการเตรียม 1 และ 2 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1)

ภาพที่ 4.3 กระบวนการเตรียมเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ 4.1 ผลของร้อยละผลผลิต และค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่เตรียมได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่แตกต่างกัน

อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)	**สภาวะการเตรียม**	**ร้อยละของผลผลิต**	**ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้** (a_W)
170	1	7.95 ± 0.11^{d}	0.15 ± 0.00^{a}
	2	8.99 ± 0.03^{c}	0.14 ± 0.00^{c}
180	1	17.50 ± 0.10^{b}	0.14 ± 0.01^{b}
	2	18.45 ± 0.05^{a}	0.14 ± 0.02^{c}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$)
สภาวะการเตรียม 1 คือ อิมัลชันที่เตรียมจากไฮโดรคอลลอยด์ชนิด มอลโทเดกซ์ทริน
สภาวะการเตรียม 2 คือ อิมัลชันที่เตรียมจากไฮโดรคอลลอยด์ชนิด กัมอราบิก

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1 พิจารณาจากร้อยละผลผลิต และค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ที่ได้จะเห็นได้ว่า เมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 180 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้สูงที่สุด อีกทั้งยังส่งผลต่อค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w) มีค่าลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Frascareli และคณะ (2012) [40] ซึ่งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันกาแฟโดยใช้กัมอราบิกเป็นสารห่อหุ้ม พบว่าอุณหภูมิขาเข้าที่สูงขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการกักเก็บน้ำมันและปริมาณน้ำมันทั้งหมดในผงเอนแคปซูเลตเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิ ความร้อน มีผลต่ออัตราเร็ว

การระเหยของน้ำออก และการเกิดฟิล์ม (Film formation) ความร้อนที่สูงขึ้นจะทำให้ผิวนอกสุดของสารห่อหุ้มแห้ง และเกิดฟิล์มอย่างรวดเร็วจึงกักเก็บน้ำมันไว้ได้ในปริมาณสูง

จากผลการทดลอง (ตารางที่ 4.1) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศโดยใช้ระดับอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่ 180 องศาเซลเซียส (สภาวะการเตรียม 1 และ สภาวะการเตรียม 2) ส่งผลให้ได้เอนแคปซูเลตที่มีค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ต่ำ ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ดี จึงเลือกสภาวะการเตรียมข้างต้นนำไปใช้ทดลองขั้นต่อไป

4.3 การศึกษาผลชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

นำเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ได้จากการทดลองที่ 4.2 ในสภาวะการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเท่ากับ 180 องซาเซลเซียส โดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ที่แตกต่างกัน 2 ชนิด ได้แก่ มอลโทเดกซ์ทริน (สภาวะการเตรียม 1) และกัมอราบิก (สภาวะการเตรียม 2) วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) และวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ผลการทดลองพบว่าชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ที่แตกต่างกันมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ($p<.05$) (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางกายภาพ และเคมีของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ผ่านการเตรียมด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 180 องศาเซลเซียส

เอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ	สมบัติทางกายภาพและเคมี						
	ค่าความสว่าง (L*)^{ns}	**ค่าความเป็นสีแดง** (a*)	**ค่าความเป็นสีเหลือง** (b*)	**ค่าวอเทอร์แอคทิวีตี้** (a_W) ^{ns}	**ค่าความหนาแน่นรวม** (bulk density) ^{ns}	**ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด** (g GAE /g)	**กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ** (µg AAE /g)
สภาวะการเตรียม 1	84.17±0.27	9.36±0.20^{a}	38.78±0.62^{a}	0.14±0.01	0.41±0.01	0.44±0.00^{b}	90.22±13.41^{b}
สภาวะการเตรียม 2	84.48±0.07	6.51±0.04^{b}	26.18±0.19^{b}	0.14±0.02	0.39±0.00	0.53±0.00^{a}	155.33±9.44^{a}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$)

^{ns} หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq.05$)

สภาวะการเตรียม 1 คือ เอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่เตรียมจากไฮโดรคอลลอยด์ชนิด มอลโทเดกซ์ทริน

สภาวะการเตรียม 2 คือ เอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่เตรียมจากไฮโดรคอลลอยด์ชนิด กัมอาราบิก

โดยเอนแคปซูเลตที่เตรียมได้จากไฮโดรลอลลอยด์ชนิดกัมอราบิก (สภาวะการเตรียม 2) มีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอสระที่ดีกว่าเอนแคปซูเลตที่เตรียมได้จากไฮโดรลอลลอยด์ชนิดมอลโทเดกซ์ทริน (สภาวะการเตรียม 1) โดยพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 0.53 กรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 155.32 ไมโครกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิคต่อกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าประสิทธิภาพที่ดีของการทำเอนแคปซูเลตด้วยกัมอราบิก เป็นผลเนื่องจากโครงสร้างของกัมอราบิกที่เป็นโซ่กิ่ง (highly branch) ของน้ำตาล ซึ่งสามารถสร้างพันธะโควาเลนท์ได้ดีในระบบที่มีโปรตีนเพียงเล็กน้อยทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นฟิล์ม ช่วยในการห่อหุ้มในระหว่างการทำเอนแคปซูเลต [48] อีกทั้งโครงสร้างยังพบส่วนของกรดอะมิโน ช่วยในการดูดซับจับอยู่บนพื้นผิวของหยดน้ำได้สูง และแข็งแรงช่วยชะลอหรือยับยั้งการเกิด Coalescence in emulsion และในส่วนของโครงสร้างที่เป็น Arabinogalactan จะช่วยเพิ่มความหนืดให้กับส่วนที่เป็นน้ำ [27] ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของกลอยใจ และคณะ (2556) [49] ได้ทำการวิจัยไว้ว่าน้ำสกัดใบเตยผงผสมกัมอราบิก มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระที่ดี โดย IC50 = 45.68 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50 ซึ่งน้ำสกัดใบเตยผงผสมมอลโทเดกซ์ทริน ที่ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้เพียงร้อยละ 38.50 อีกทั้ง รุ่งอรุณ และคณะ (2563) [50] ได้รายงานว่าพบปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และกิจกรรมในการต้านอนุมูลอิสระในรกจันทน์ (*Myristica Fragrans* Houtt.) เท่ากับ 1.702 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม และ 0.433 มิลลิกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิคต่อกรัม กล่าวว่าในรกจันทน์เทศมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดี

อย่างไรก็ตามพบว่าชนิดของไฮโดคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ที่แตกต่างกันไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w) และค่าความหนาแน่นรวม (Bulk density) ($p \geq .05$) ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าด้วยสภาวะการเตรียมอิมัลชัน และสภาวะเตรียมเอนแคปซูเลตด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นสามารถใช้เตรียมเอนแคปซูเลตผงที่มีค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w) เท่ากับ 0.14 ตรงตามมาตรฐานอาหารผงที่กำหนดไว้ว่าอาหารผงควรมีค่าค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w) น้อยกว่า 0.6 [51] ซึ่งส่งผลโดยตรงต่ออายุการเก็บรักษา และการเสื่อมเสียคุณภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพต่างๆ ที่ถูกเก็บกักไว้ในเอนแคปซูเลต

ภาพที่ 4.4 เอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ที่แตกต่างกัน มอลโทเดกซ์ทริน (A) และกัมอราบิก (B)

จากลักษณะจะเห็นได้ว่ากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่สภาวะอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 180 องศาเซลเซียส สามารถเตรียมเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ได้ มีลักษณะเป็นผงแห้ง สีขาวอมเหลือง (ภาพที่ 4.4) สอดคล้องกับมีค่าความสว่าง (*L) ค่าความเป็นสีแดง (*a) และค่าความเป็นสีเหลือง (*b) เท่ากับ 84.17 9.36 และ 38.78 เอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ใช้สารห่อหุ้มกัมอราบิก มีค่าความสว่าง (*L) ค่าความเป็นสีแดง (*a) และค่าความเป็นสีเหลือง (*b) เท่ากับ 84.48 6.51 และ 26.18 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 180 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อค่าความเป็นสีแดง (*a) และค่าความเป็นสีเหลือง (*b) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) สอดคล้องกับรายงานวิจัย คณิตนันท์ (2557) [20] กล่าวว่ากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่สูง ดังนั้นอาจทำให้เอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ โดยใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารห่อหุ้มเกิดการไหม้ หรือปฏิกิริยาสีน้ำตาล เนื่องจากโครงสร้างของมอลโทเดกซ์ทรินมีน้ำตาลรีดิวซ์ซิ่งเยอะกว่ากัมอราบิก จึงเอื้อต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ส่งผลให้มีค่าความเป็นสีแดง (*a) และค่าความเป็นสีเหลือง (*b) มากกว่ากัมอราบิก

จากผลการทดลอง (ตางรางที่ 4.2) แสดงให้เห็นเอนแคปซูเลตที่เตรียมได้จากกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (สารสารห่อหุ้ม) ที่ต่างกัน พบว่าสารห่อหุ้มชนิดกัมอราบิก เป็นสารห่อหุ้มที่ทำให้ได้เอนแคปซูเลตที่แห้ง เป็นเอนแคปซูเลตที่มีปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และมีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระที่ดี จึงเลือกผงเอนแคปซูเลตที่ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) กัมอราบิก เพื่อใช้ศึกษาในขั้นตอนต่อไป โดยนำไปสู่การพิสูจน์ทราบถึง ชนิดของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ระเหยได้ (Volatile active compounds) ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (GC-MS) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ชนิด สารระเหยที่ตรวจพบในเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศโดยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)

ลำดับ	สารประกอบ	Rt[A]	RI[B]	ลักษณะกลิ่น	พื้นที่ใต้พีค (ร้อยละ)
1	alpha-pinene	9.668	940.357	pine, turpentine	4.18
2	Terpinolene	14.102	1043.167	turpentine	1.83
3	4-Terpineol acetate	14.582	1100.797	sweet/herbal/ floral	22.76
4	Isoeugenol	24.169	1423.172	flower	0.94
5	Myristicin	25.975	1510.123	spice, warm, balsamic	30.58
6	Elemicin	26.526	1521.391	spice, flower	37.73
7	Methoxy eugenol	27.725	1545.910	sweet, flower	1.97

หมายเหตุ : Rt = Retention time (min); RI (Retention Index) was calculated using a homologous series of n-alkanes C9-C20; RI (Retention Index) taken from รุ่งอรุณ (2563); ลักษณะของกลิ่น แหล่งอ้างอิง : http://thegoodscentscompany.com/rawmatex.html.

จากผลการวิเคราะห์พบว่าน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลตโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ชนิดกัมอราบิก ยังคงมีประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำมันสกัดจากรกจันทน์เทศได้ดี โดยจะเห็นว่ายังคงตรวจพบสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญสารระเหยได้ 7 ชนิด แสดงดัง (ตางรางที่ 4.3) ประกอบไปด้วยสารระเหยสำคัญกลุ่ม Terpene ประเภท Monoterpene ได้แก่ Terpinolene, 4-Terpineol acetate และ alpha-pinene และกลุ่มสาร Aromatic ethers ได้แก่ Isoeugenol, Myristicin, Elemicin และ Methoxy eugenol สอดคล้องกับรายงานของ รุ่งอรุณ และคณะ (2562) [5] โดยผลการวิเคราะห์สามารถระบุถึงชนิดของลักษณะกลิ่นที่พบได้ตามธรรมชาติ ได้แก่ กลิ่นสดชื่น ดอกไม้ หอมรากไม้ หวาน สมุนไพร เครื่องเทศ เป็นต้น ซึ่ง Methoxy Eugenol เป็นสารระเหยในกลุ่ม phenolic ether เป็นอนุพันธ์ของ Eugenol ไม่ละลายน้ำ พบได้ในส่วนของพืชวงศ์

จันทน์เทศ อบเชย ใบกระวาน พริกไทย และการบูร [52] ลักษณะของกลิ่นหอมหวาน คลายคลึงกลิ่นดอกไม้ มีประสิทธิภาพช่วยการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน [53] โดยมีรายงานการศึกษาวิจัยความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ลิกนิน และสารประกอบฟีนอลิก ได้แก่ Eugenol Isoeugenol โดย Methoxy Eugenol มีรายงานในเรื่องประสิทธิภาพในการสารต้านอนุมูลอิสระ [54] สารระเหยต่อมาได้แก่ Terpinolene เป็นสารกลุ่ม Monoterpene ไม่ละลายน้ำ พบทั่วไปในพืชกระกูลจันทน์เทศ แอบเปิ้ล โรสแมรี่ ต้นชา และยี่หร่า มีลักษณะของกลิ่นสมุนไพร และน้ำมันสน โดยมีรายงานถึงความสามารถในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน และเชื้อรา [55] นอกจากนี้ยังพบ Elemicin และ Myristicin เป็นสารระเหยสำคัญในจันทน์เทศ มีคุณสมบัติยับยั้งอนุมูลอิสระ และยับยั้งการอักเสบ สารระเหยข้างต้นยังเป็นสารแต่งกลิ่นรสที่สำคัญ [56] อีกทั้งยังพบรายงานของ Zhao และคณะ (2019) [12] ได้ทำการศึกษาสารระเหยสำคัญในส่วนต่างๆ ของจันทน์เทศในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน พบสารระเหยหลักได้แก่ Alpha-Pinene, Beta-Pinene, 4-Terpineol acetate, Safrole และ Elemicin อีกทั้งยังสอดคล้องกับงานวิจัยของ ทวีภรณ์ และคณะ (2561) [57] ได้ศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบของสารระเหยทางเคมีของน้ำมันหอมระเหยที่สกัดออกมาจากเมล็ดจันทน์เทศด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี (GC-MS) ผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบสำคัญที่พบมากที่สุดได้แก่ Myristicin, 4-Terpineol, Sabinene, Safraole และ Cis-lsoelemicin เป็นต้น

4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศระหว่างการเก็บรักษา

เก็บรักษาเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่เตรียมจากไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ชนิดกัมอราบิก (สภาวะการเตรียม 2) ที่คัดเลือกได้ จากการทดลองที่ 4.3 ในถุงฟอยด์ทึบสุญญากาศที่ตู้ควบคุมความชื้น อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 เดือน ทุกๆ 7 วัน เอนแคปซูเลตที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมี (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศระหว่างการเก็บรักษา

อายุการเก็บรักษา (วัน)	สมบัติทางกายภาพ และเคมี						
	ค่าความสว่าง (L*)^{ns}	**ค่าความเป็นสีแดง** (a*)^{ns}	**ค่าความเป็นสีเหลือง** (b*)^{ns}	**ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้** (a_W) ^{ns}	**ค่าความหนาแน่นรวม** ^{ns} (bulk density)	**ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด** (g GAE /g)	**กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ** (µg AAE /g)
0	84.67±0.19	6.46±0.15	26.41±0.27	0.14±0.00	0.39±0.02	0.53±0.00^{a}	155.32±9.44^{a}
7	84.73±0.54	6.51±0.04	26.34±0.38	0.14±0.01	0.41±0.01	0.45±0.00^{b}	149.27±22.68^{a}
14	84.66±0.17	6.62±0.01	26.52±0.45	0.14±0.01	0.40±0.00	0.38±0.00^{b}	134.15±41.16^{ab}
21	84.71±0.25	6.76±0.02	26.46±0.20	0.14±0.00	0.40±0.02	0.34±0.00^{b}	111.41±13.93^{ab}
28	84.71±0.26	6.28±0.58	26.24±0.20	0.14±0.00	0.40±0.01	0.30±0.04^{c}	96.34±14.58^{c}

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแนวตั้งที่มีตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กแตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$)

^{ns}หมายถึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq.05$)

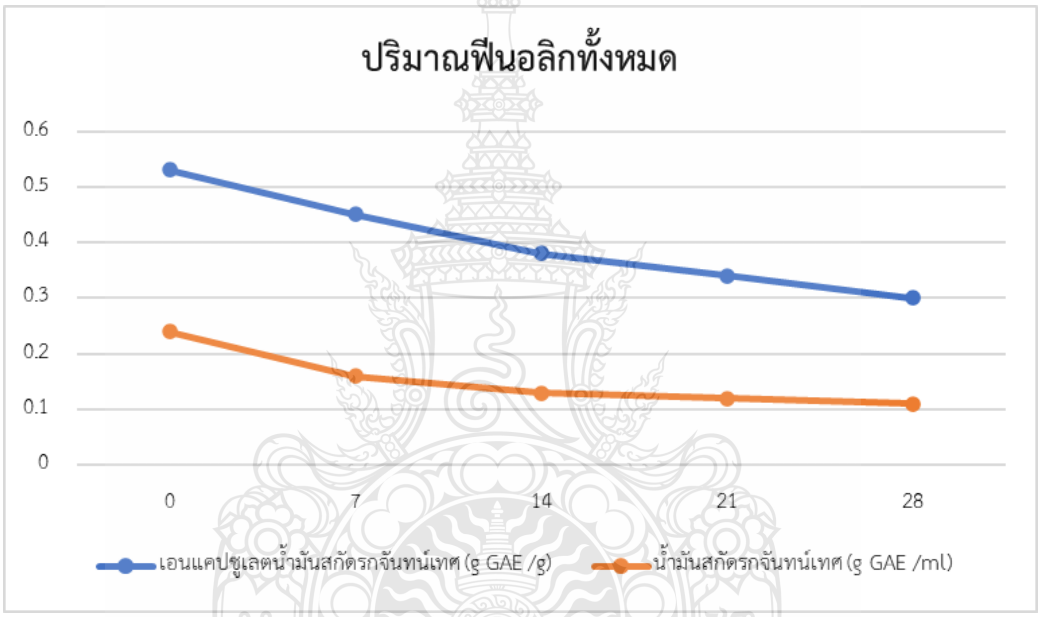
จากผลการประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq .05$) ต่อค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_W) โดยมีค่าเท่ากับ 0.14 โดยเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสมุนไพรรวมผงสำเร็จรูป มผช.1441/2556 ซึ่งค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_W) จะมีความสัมพันธ์กับค่าความชื้น สามารถบ่งบอกถึงอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหารได้ กล่าวโดยน้ำที่มีอยู่ในอาหารมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร ในส่วนของอาหารประเภทอบแห้งควรมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 [51] สามารถป้องกันการเติบโตของจุลินทรีย์ในอาหาร อีกทั้งระยะเวลาการเก็บรักษาไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (*a) ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) และค่าความหนาแน่นรวม (bulk density) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq .05$) แสดงดังตารางที่ 4.5 ในขณะที่ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยพบว่าค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเริ่มต้นของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเท่ากับ 0.53 กรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม และลดลงเหลือ 0.30 กรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา จากงานวิจัยของ Suet และคณะ (2021) [58] รายงานผลลัพธ์ที่คล้ายคลึงกันในผงแคนตาลูปที่เก็บรักษาไว้ที่สภาพแวดล้อมปกติเป็นเวลา 180 วัน ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มลดลง โดยปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเริ่มต้นของผงแคนตาลูป คือ 288.45 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อ 100 กรัม ลดลงเหลือ 279.45 มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อ 100 กรัม และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากอุณหภูมิ ความชื้น ปัจจัยภายนอกของการเก็บรักษาผงเอนแคปซูเลตที่เก็บไว้อาจจะเอื้อให้เกิดการเสื่อมเสีย หรือลดประสิทธิภาพของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

ตารางที่ 4.5 การเก็บรักษาเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศโดยใช้กัมอราบิกเป็นสารห่อหุ้ม

อายุการเก็บรักษา (วัน)	ลักษณะทางกายภาพ	เอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ
0	ลักษณะผงที่ได้ เป็นผงแห้ง สีขาวอมเหลือง	
7	ลักษณะผงที่ได้ เป็นผงแห้ง สีขาวอมเหลือง ผงไม่เกาะตัวเป็นก้อน	
14	ลักษณะผงที่ได้ เป็นผงแห้ง สีขาวอมเหลือง	
21	ลักษณะผงที่ได้ เป็นผงแห้ง สีขาวอมเหลือง ไม่เกาะตัวเป็นก้อน	
28	ผงแห้ง ยังคงแห้ไม่เกาะตัวเป็นก้อน ลักษณะผงสีขาวอมเหลือง	

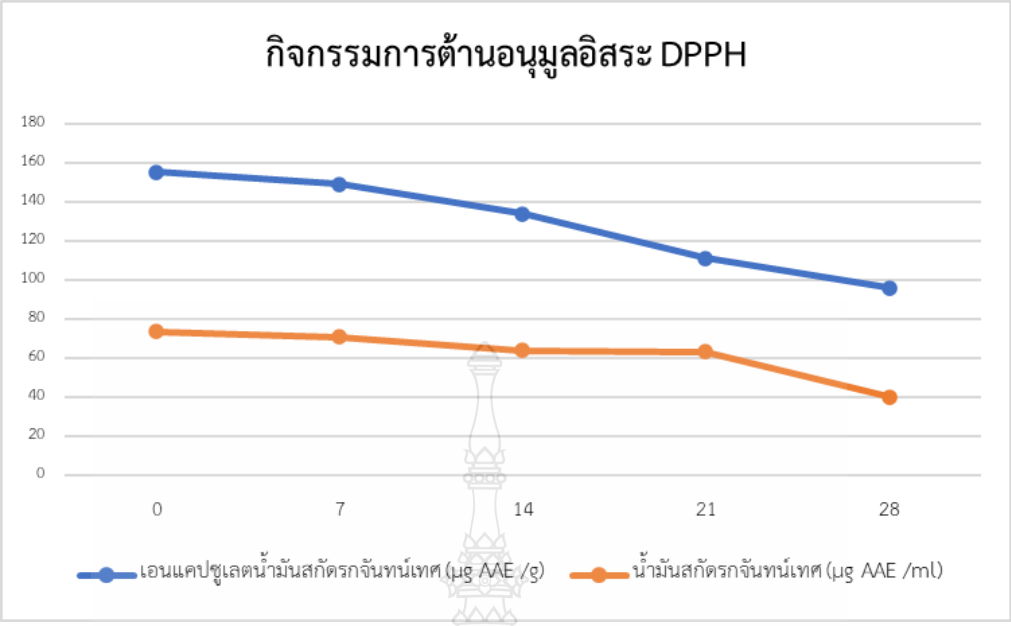
4.4.1 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

ทำการเก็บรักษาเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่เตรียมด้วยไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ชนิดกัมอราบิก (การทดลองที่ 4.4) ในถุงฟอยด์ทึบ สุญญากาศ ในตู้ควบคุมความชื้น (อุณหภูมิห้อง) และเก็บรักษาน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ไม่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลต ในขวดสีชา อุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา 1 เดือน ทุกๆ 7 วัน จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.5 และ ภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดระหว่างการเก็บรักษาของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

หมายเหตุ : 0, 7, 14, 21 และ 28 คือวันที่ทำการเก็บรักษา และตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระระหว่างการเก็บรักษาของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

หมายเหตุ : 0, 7, 14, 21 และ 28 คือวันที่ทำการเก็บรักษา และตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง

จากผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ไม่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลต ในระหว่างวันที่ 0, 7, 14, 21 และ 28 ของการเก็บรักษา มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในแต่ละช่วงเวลาที่มีการสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพนั้น พบว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ มีค่าสูงกว่าน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) โดยพบว่าในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระมีค่าเท่ากับ 0.53 กรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม และ 155.32 ไมโครกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิคต่อกรัม สำหรับเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ 0.24 กรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อมิลลิลิตร และ 73.73 ไมโครกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิคต่อมิลลิลิตร สำหรับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศตามลำดับ และในวันที่ 28 ของการเก็บรักษา ค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ มีค่าเท่ากับ 0.30 กรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม และ 96.34 ไมโครกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิคต่อกรัม สำหรับเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ 0.11 กรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อมิลลิลิตร และ 40.33 ไมโครกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิคต่อมิลลิลิตร สำหรับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระยังคงมีค่าสูงอยู่ เนื่องจากกระบวนการ

เอนแคปซูเลชัน (encapsulation) โดยการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นกระบวนการห่อหุ้มอนุภาคของของแข็ง หรือหยดของเหลวด้วยสารอีกชนิดหนึ่ง เพื่อป้องกันสารที่ไวต่อการเสื่อมสลายจากอันตรกิริยาต่างๆ สามารถป้องกันสารจากปัจจัยสภาวะแวดล้อมภายนอกได้ [1]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศได้แก่ สภาวะการเตรียมเอนแคปซูลเลตโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ชนิดกัมอราบิก (ร้อยละ 20) อัตราส่วน 1:2 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 180 องศาเซลเซียส ส่งผลให้มีปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ดี ผงแห้ง ความชื้นต่ำ ไม่จับตัวเป็นก้อน

5.1.2 อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w) และร้อยละผลผลิต ($p<.05$) เมื่อใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 180 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงแห้งมีความชื้นต่ำ เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงทำให้โมเลกุลของน้ำระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้นความชื้นจึงมีค่าลดลง โดยมีค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ (a_w) ร้อยละผลผิต เท่ากับ 0.14 และ 18.45 ตามลำดับ

5.1.3 ไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ที่แตกต่างกันมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ ($p<.05$) เอนแคปซูเลตที่เตรียมได้จากกัมอราบิกมีปริมาณสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีกว่าเอนแคปซูเลตที่เตรียมได้จากมอลโทเดกซ์ทริน (DE10) โดยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 0.53 กรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเท่ากับ 155.32 ไมโครกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิคต่อกรัม ค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ เท่ากับ (a_w) 0.14 ค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.39 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ลักษณะเอนแคปซูเลตที่เตรียมได้เป็นผงแห้งสีขาวอมเหลือง มีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*) เท่ากับ 84.48, 6.51 และ 26.18 ตามลำดับ

5.1.4 น้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ผ่านกระบวนการเอนแคปซูเลชันโดยการทำแห้งแบบพ่นฝอยยังคงมีประสิทธิภาพในการเก็บกักน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศได้ดี โดยจะเห็นว่ายังคงตรวจพบสารระเหยหลักในรกจันทน์เทศที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญได้ถึง 7 ชนิด ประกอบด้วย Terpinolene, 4-Terpineol acetate และ α-pinene, Isoeugenol, Myristicin, Methoxy eugenol และ Elemicin

5.1.5 ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<.05$) โดยพบว่าค่าปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเริ่มต้นของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเท่ากับ 0.53 กรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม และลดลงเหลือ 0.30 กรัมสมมูลกรดแกลลิคต่อกรัม กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเริ่มต้นของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเท่ากับ 155.32 ไมโครกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิคต่อกรัม และลดลงเหลือ 96.33 ไมโครกรัมสมมูลกรดแอสคอร์บิคต่อกรัม เมื่อสิ้นสุดการเก็บรักษา

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพียงกระบวนการเดียวในการเตรียมเอนแคปซูเลต ซึ่งควรศึกษาเทคนิคอื่นเพิ่มเติมมาใช้ในการเตรียมเอนแคปซูเลต เช่น การอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด ข้อดีช่วยทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้นเนื่องจากใช้ลมร้อนพ่นผ่านไปถึงชั้นวัสดุ (bed) ส่งผลต่อวัสดุลอยตัวเป็นอิสระ เกิดการผสมกัน และสัมผัสกับลมร้อนอย่างคงที่ โดยมีถ่ายเทความร้อน และมวลสูง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ลงได้เร็วขึ้น เหมาะกับใช้ทำแห้งผลิตภัณฑ์ที่เป็นรูปทรงเมล็ด ขนาดเล็กที่มีรูปทรง และขนาดที่สมดุล เช่น เมล็ดธัญพืช (cereal grain) ถั่ว (legume) เป็นต้น และยังใช้ได้กับของเหลวแบบข้นหนืด (paste) เนื้อผลไม้ (pulp) อีกด้วย

5.2.2 ควรศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของเอนแคปซูเลตด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope (SEM) การวิเคราะห์ลักษณะของไมโครแคปซูลจะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งกราฟฟิกได้มาจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) จะเป็นภาพลักษณะของภาพ 3D (สามมิติ) จึงนิยมนำมาปรับใช้ในส่วนของการศึกษาลักษณะสัณฐาน และรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของแอนแคปซูเลต ทำให้ทราบถึงโครงสร้างของเอนแคปซูลถึงสารสำคัญเข้าไปอยู่ภายในโครงสร้างส่วนใดของสารห่อหุ้ม

5.2.3 หากมีการต่อยอดงานวิจัยควรศึกษาการเทคนิคอื่นๆ มาใช้เปรียบเทียบหลายๆ เทคนิค เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีขึ้นในการเตรียมเอนแคปซูเลต และการปรับใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

บรรณานุกรม

[1] C.Thiess, “A Survery of microencapsulation processes,” Microencapsulation and Industrial Applications. (Chapter 1): 1-20, 2005.

[2] ณัชชา นิรันดร์รุ่งเรือง, “ไมโครเอนแคปซูเลชันของเบต้าแคโรทีนโดยคอมเพล็กซ์โคเอเซอร์เวชันระหว่างเจลาติน และโพลีแซคคาไรด์,” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2559.

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

[4] S.H. Kwak, “Nano and microencapsulation for foods,” 1st ed. South Korea: WILEY Blackwell, 2014.

[5] รุ่งอรุณ พรชื่นชูวงศ์, “การศึกษาความเป็นไปได้ในการสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากดอกจันทน์เทศโดยใช้น้ำมันบริโภคและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของน้ำสลัด,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2562.

[6] นิดดา หงส์วิวัฒน์, “จันทน์เทศเป็นทั้งยาเป็นทั้งเครื่องเทศมีปลูกทางภาคใต้ของไทย.ครัว,” ปีที่ 18, ฉบับที่ 210, ธันวาคม, หน้า 12, 2554.

[7] S. Champasur and A. Ithar, “Bioactivities of Ethanolic Extracts of Three Parts (Wood Nutmeg and Mace) from Myristica fragrans Houtt,” Journal of The Medical Association of Thailand, vol. 99, No. 4, pp, 124-130, 2016.

[8] X. Zhao, H. Wu, J. Wei, and M. Yang, “Quantification and characterization of volatile constituents in Myristica fragrans Houtt. by gas chromatography-mas spectrometry and gas chromatography quadrupole-time-of-flight mass spectrometry,” Industrial Crops & Products, 130: 137-145, 2019.

[9] N.R.F. Nascimento, J.H. Leal-Cardoso, L.M.A. Lessa, J.S. Roriz-Filho, K.M.A. Cunha, and M.C. Fonteles, “Terpinen-4-ol: mechanisms of relaxation on rabbit duodenum,” J. Pharm. Pharmacol. 57: 467–474, 2005.

[10] X. Zhao, H. Wu, J. Wei, and M. Yang, “Quantification and characterization of volatile consitituents in *Myristica fragrans* Houtt. By gas chromatography-mass spectrometry and gas chromatography quadrupole-time-of-flight mass spectrometry,” Industrial Crops & Products, vol. 130, pp.137-145, 2019.

[11] K.P. Tan, H.E Khoo,. and A. Azrina, “Comparison of antioxidant components and antioxidant capacity in different parts of nutmeg (*Myristica fragrans*),” Int. Food Res, J, 20: 1049-1052, 2013.

[12] ศรินญา สังขสัญญา, ขวัญหทัย จันทร์แจ่มใส และ เบญจรัตน์ หลวงชนะ, “ความเป็นไปได้ในการใช้เปลือกจันทน์เทศเพื่อเป็นแหล่งของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำจันทน์เทศพร้อมดื่ม,” ว. พืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 4 (1): 45-49, 2560.

[13] วรรณทิพย์ เหล็บโต๊ะเหม๊ะ, “สมับติการต้านอนุมูลอิสระในลูกจันทน์เทศ,” นครศรีธรรมราช มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช, 2553.

[14] S. Kausadikar, A. D. Gadhave, and J. Wanghmare, “Microencapsulation of lemon oil by spray drying and its application in flavor tea,”. Advances in Applied Science Research, 6(4), 69-78, 2015.

[15] บัณฑิต พรหมรักษา, จุรีรัตน์ ดาดวง, เตือนจิต คำพิทักษ์, ประณิธิ หงส์ประภาส และ พัชรี บุญศิริ, “เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันและบทบาททางการแพทย์,” ศรีนครินทร์เวชสาร ปีที่ 29, ฉบับที่ 1, หน้า 90-97, 2557.

[16] S.K. Ghosh, “Functional coatings: By polymer microencapsulation,” Weinheim: Wiley-VCH Verlag, 2006.

[17] G.V. Barbosa-Cánovas, E. Ortega-Rivas, P. Juliano, and H. Yan, “Food powders physical properties, processing and functionality,” New York, Kluwer Academic, 2005.

[18] เอกดนัย วงศ์ธนบัตร, “การแปรรูปน้ำกะทิอบแห้งแบบพ่นฝอย,” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชา จุลชีววิทยา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธรบุรี, 2548.

[19] มาลินี แก้วปัญหา, “การกักเก็บน้ำมันตะไคร้โดยใช้การอบแห้งแบบพ่นฝอย,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

[20] คณิตนันท์ เอซัน, “การศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีคุณภาพและลักษระทางกายภาพของน้ำตาลมะพร้าว,” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2557.

[21] S.J. Risch, and G.A. Reineccius, “Flavor encapsulation,” Washington, D.C., American Chemical Society, 1988.

[22] F. Casanova, and L. Santos, “Encapsulation of cosmetic active ingredients for topical application a review,” Journal of Microencapsulation, 33(1), 1-17, 2012.

[23] R.V. De Barros Fernandes, S. V. Borges, D. A. Botrel, E. K. Silva, J.M.G.D. Costa, and F. Queiroz, “Microencapsulation of rosemary essential oil : Characterization of particles,” Drying Technology, 31(11), 1245-1254, 2013.

[24] V. Surojanametakul, P. Tungtrakul, W. Varannanond, R. Supasri, S. Boonbumroung, and K. Themtakul, “Properties of spray-dried rice starch microcapsule,” Kasetsart Journal: Natural Science, 39(4), 730-738, 2005.

[25] R. G. Berger, “Flavours and fragrances,” New York: Springer Berlin Heidelberg, 2007.

[26] R.V. De Barros Fernandes, S.V. Borges, and D.A. Botrel, “Gum Arabic/ starch/ maltodextrin/ inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil,” Carbohydrate Polymers, 101(2014), 524-532, 2014.

[27] T. Hijo, A.A. Campos, J.M.G. Costa, E.K. Silva, V.M. Azevedo, M.I. Yoshida, and S.V. Borges, “Physical and thermal properties of oregano (Origanum vulgare L.) essential oil microparticles,” Journal of Food Process Engineering, 38(1), 1-10, 2015.

[28] ปิยนุสร์ น้อยด้วง, “กัมและมิวซิเลจจากพืช,” วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 7, ฉบับที่ 1, 2555.

[29] A.Z. Mohsin, N.M.N. Arifah, J. Belal, Muhialdin, B.H. Mohd Roby, M.M. Abadl, A.A Marzlan, N. Hussain, and A.S.M. Hussin, “The effects of encapsulation process involving arabic gum on the metabolites, antioxidant and antibacterial activity of kombucha fermented sugared tea,” Food Hydrocolloids for Health 2, 2022.

[30] L. Zhang, X. Zeng, J. Qiu, J. Du, X. Cao, X. Tang, Y. Sun, S. Li, T. Lei, and S. Liu, LuLin, "Spray-dried xylooligosaccharides carried by gum Arabic," Industrial Crops and Products, Volume 135, 330-343, 2019.

[31] กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, "เทคโนโลยีของแป้ง," พิมพ์ครั้งที่ 4, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ, หน้า 303, 2550.

[32] ศรัณย์ ลาภนิธิพร, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์, และ อรพิน เกิดชูชื่น, "การเอนแคปซูเลชันน้ำมะม่วงหิมพานต์ด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย," วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 44, ฉบับที่ 2(พิเศษ), 21-24, 2556.

[33] สรศักดิ์ งามสง่า, ณัฏฐา เลาหกุลจิตต์ และ อรพิน เกิดชูชื่น, "คุณลักษณะและการประเมินประสิทธิผลของกล้วยหอมผงที่ได้จากเทคนิคอบแห้งแบบพ่นฝอย" วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 46, ฉบับที่ 3(พิเศษ), หน้า 465-468, 2558.

[34] J. Zhu, X. Li, L. Liu, Y. Li, B. Qi, and L. Jiang, "Preparation of spray-dried soybean oil body microcapsules using maltodextrin: Effects of dextrose equivalence," LWT-Food Science and Technology, 2022.

[35] นริศา สาลีงาม และ มนต์ทิพย์ ซ่ำซอง, "นาโนอิมัลชันของน้ำมันหอมระเหยจากสมุนไพร : ดอกกานพลูที่เตรียมโดยวิธี aqueous titration," การประชุมวิชาการแห่งชาติ, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, ครั้งที่ 9, วิศวกรรมศาสตร์, วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, 2555.

[36] K. Laohasongkram, T. Mahamaktudsanee, and S. Chaiwanichasiri, " Microencapsulation of Macadamia oil by spray drying," Procedia Food Science, 1, 1660-1665, 2011.

[37] A. Goyal, V. Sharma, M.K. Sihag, S.K. Tomar, S. Arora, L. Sabikhi, and A.K. Singh, "Development and physico-chemical characterization of microencapsulated flaxseed oilpowder: A functional ingredient for omega-3 fortification," Powder Technology, 286(2015), 527-537, 2015.

[38] W. Kumphol, and S. Suanthong, "Effect of processing variables in spray drying technique on physical properties of spray dried product," Phitsanulok: Narasuan University, 1998.

[39] H. Huang, S. Hao, L. Li, X. Yang, J. Cen, W. Lin, and Y. Wei, “Influence of emulsion composition and spray-drying conditions on microencapsulation of tilapia oil,” Journal of food science and technology, 51(9), 2148-2154, 2014.

[40] E.C. Frascareli, V.M. Silva, R.V. Tonon, and M.D. Hubinger, “Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying,” Food and Bioproducts Processing, 90(3), 413-424, 2012.

[41] ธีระวัตน์ บุญโสม และ เอกชัยดำเกลี้ยง, “การทำไมโครเอนแคปซูเลชันน้ำมันหอมระเหยโดยการพ่นแห้ง : ผลของส่วนประกอบของสารห่อหุ้ม และสภาวะการเตรียม,” คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย, 2561.

[42] T.C. Kha, M.H. Nguyen, P.D. Roach, and C.E. Stathopoulos, “Microencapsulation of Gac oil: Optimization of spray drying conditions using response surface methodology,” Powder Technology, 264(2014), 298-309, 2014.

[43] J. Adamiec, C. Borompichaichartkul, G. Srzednicki, W. Panket, S. Piriyapunsakul, and Zhao, J., “Microencapsulation of kaffir lime oil and its functional properties,” Drying Technology, 30(9), 914-920, 2012.

[44] รุ่งนภา วายุภาพ, “การผลิตกล้วยหอมผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย,” วารสารอาหาร, 29(112): 30-32, 2535.

[45] สุนทรี ณัฐชยางกุล, “การเปรียบเทียบคุณภาพของนมถั่วเหลืองผงคืนรูปที่ได้จากการอบแห้งโดยใช้เทคนิคแบบพ่นฝอย,” วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

[46] แม้น อมรสิทธิ์, “แก๊สโครมาโทกราฟี/แมสสเปกโทรเมตรี (GC-MS) หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ,” พิมพ์ครั้งที่ 2, ฉบับปรับปรุงใหม่ 22, กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์, หน้า 623, 2555.

[47] A.D. Gupta, V.K. Bansal, V. Babu, and N. Maithil, “Chemistry, antioxidant and antimicrobial potential of nutmeg (Myristica fragrans Houtt),” Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, vol. 11, pp. 25–31, 2013.

[48] S. Luiza, and P. Caciano, “Microencapsulation of grape (Vitis labrusca var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents,” Food Chemistry, 569-576, 2016.

[49] กลอยใจ เชยกลิ่นเทศ, “การผลิตสีผงสำหรับผสมอาหารจากวัสดุธรรมชาติด้วยวิธีการทำแห้งแบบฉีดฝอย,” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2556.

[50] รุ่งอรุณ พรชื่นชูวงศ์ และ ศรินญา สังขสัญญา, “การประเมินสมบัติทางกายภาพ เคมี และสารหอมระเหยในรกจันทน์จากผลจันทน์เทศในพื้นที่เพาะปลูกจังหวัดนครศรีธรรมราช,” ว. พืชศาสตร์สงขลานครินทร์ 7 (4): 283-289, 2563.

[51] ศิริพร สอนสมบูรณ์สุข, “การพัฒนาผลิตภัณฑ์มะตูมผงสำเร็จรูปด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย,” วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกลและระบบกระบวนการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2561.

[52] M.E. Hidalgo, C.D. la Rosa, H. Carrasco, W. Cardona and C. Gallardo, “Antioxidant Capacity of Eugenol Derivatives,” Quimica Nova, vol. 32, No. 6, pp. 1467-1470, 2009.

[53] J.E. Malti, N. Bourhim, and H. Amarouch, “Toxicity and Antibacterial Effect of Mace of Myristica fragrans used in Moroccan Gastronomy: Biochemical and Histilogical Impact,” Journal of Food Safety, vol. 28, No. 3, pp. 422-441, 2008.

[54] L.R.C. Barclay, F. Xi and J.Q. Norris, “Antioxidant Properties of Phenolic Lignin Model Compounds,” Journal of Wood Chemistry and Technology, vol. 17, pp. 73-90, 1997.

[55] E. Aydin, H. Turkez and S. Tasdemir, “Anticancer and Antioxidant Properties of Terpinolene in Rat Brain Cells,” Archives of Industrial Hygiene and Toxicogy, vol. 64, pp. 415-424, 2013.

[56] J. Rema, and B. Krishnamoorthy, “Nutmeg and mace,” In Handbook of Herbs and Spices, UK : CRC Woodhead Publishing Limited, pp. 238-247, 2012.

[57] ทวีภรณ์ คีรีคช, ธวัชชัย ศรีสุวรรณ, ณัฐนรี แสงแก้ว, ศุภกานต์ พิสิฐศุภกลุ, เบญจวรรณ ทองเคลื่อน, และ สนั่น ศุภธีรสกุล, “การเปรียบเทียบคุณภาพรกจันทน์เทศจากไทยและอินโดนีเซีย,” วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, ปีที่ 21, ฉบับที่ 2, หน้า 34-42, 2561.

[58] S. Li, T. SulaimanYaya, and R. Shazini Ramli, “Physical, chemical, microbiological properties and shelf life kinetic of spray-dried cantaloupe juice powder during storage,” Food science and technology, 2021.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางกายภาพ

1. การวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter lab

อุปกรณ์

บีกเกอร์

เครื่องมือ

เครื่องวัดค่าสี Hunter lab

วิธีการวิเคราะห์

1. กดปุ่ม On-OFF

2. ทำการปรับค่ามาตรฐานเครื่อง (Calibration) โดยใช้แผ่นเทียบสีดำมาตรฐาน แผ่นเทียบสีขาวมาตรฐาน (L* = 93.54, a* = -1.05, b* = 1.42)

3. ทำการใส่ตัวอย่างแล้วนำไปวางไว้ในตำแหน่งที่วัดค่าสี กดปุ่มด้านข้าง แล้วอ่านค่าสีที่แสดง L* a* และ b* พร้อมบันทึกผลการทดลอง

หมายเหตุ : ระบบฮันเตอร์ประกอบด้วยตัวแปรค่าสี 3 ค่าคือค่าสี L* a* b* โดยที่

ค่าสี L* เป็นค่าสีที่แสดงถึงความสว่าง (Lightness facter) มีค่าตั้งแต่ 0 (ดำ) ถึง 100 (ขาว)

ค่าสี a* เป็นค่าสีหลักวัดชั้นสีแดง และสีเขียวเมื่อ a* มีค่าบวกให้ค่าสีทางสีแดงแต่ถ้า a* มีค่าลบให้ค่าสีทางเขียว

ค่าสี b* เป็นค่าสีหลักวัดชั้นสีเหลือง และสีน้ำเงินเมื่อ b* มีค่าบวกให้ค่าสีทางสีเหลืองแต่ถ้า b* มีค่าลบให้ค่าทางสีน้ำเงิน

2. การวัดความหนาแน่นรวม (Bulk density)

อุปกรณ์

บีกเกอร์

กระบอกตวง

เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร

2. เทตัวอย่างที่ได้ใส่ลงในกระบอกตวงผ่านกรวยกระดาษ

3. ชั่งกระบอกตวงที่บรรจุตัวอย่าง และอ่านปริมาตรตัวอย่างคำนวณค่าความหนาแน่นรวมในสมการ

4. อ่านปริมาตรตัวอย่างคำนวณค่าความหนาแน่นรวมในสมการ โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

5. พร้อมบันทึกผลการทดลอง

สมการหาความหนาแน่นรวม (Bulk density)

$$\text{ความหนาแน่นรวม} = \frac{\text{มวล(กรัม)}}{\text{ปริมาตร(มิลลิลิตร)}}$$

3. การวัด Water Activity (a_w)

อุปกรณ์

ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่าง

เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เครื่องมือ

เครื่อง Water Activity รุ่น AQUA LAB 4TE

วิธีการวิเคราะห์

1. บรรจุตัวอย่างประมาณ 2 ใน 3 ของภาชนะ
2. นำไปเข้าเครื่องวัดจนกระทั่งค่าคงที่
3. อ่านค่า a_w ที่ได้โดยทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

พร้อมบันทึกผลการทดลอง

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ทางเคมี

1. การวิเคราะห์หาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (Total Phenolic Compound) ดัดแปลงจาก รุ่งอรุณ และ ศรินญา (2562) [5]

สารเคมี

1. เตรียมสารละลาย Folin-Ciocalteru Reagent ร้อยละ 10 ในน้ำกลั่น
2. เตรียมสารละลาย Sodium Carbonate (Na_2CO_3) ร้อยละ 7.5 ในน้ำกลั่น
3. เตรียมสารละลาย Gallic acid

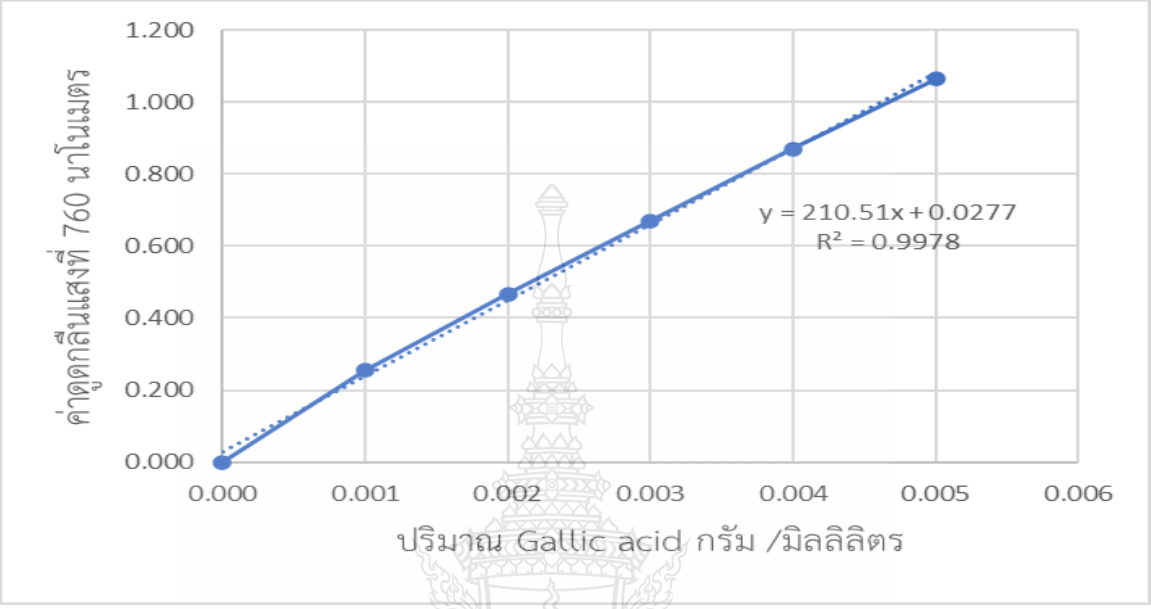
เครื่องมือ

เครื่องวัดสเปกโตโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น 722G

การสร้างกราฟมาตรฐานสารละลาย Gallic acid

1. ทำการเตรียมสารละลายมาตรฐาน Gallic acid ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยชั่งน้ำหนักสารละลาย Gallic acid 0.005 กรัม และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 50 มิลลิลิตร
2. ทำการเจือจางที่ความเข้มข้น 0 20 40 60 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น ที่ความเข้มข้น 0 และ สารละลาย gallic acid (100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ปริมาตร 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ
3. ปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 5 มิลลิลิตร
4. ปิเปตสารเจือจางที่ความเข้มข้น 0-100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร จากข้อ 2 ปริมาตร 0.4 มิลลิลิตร
5. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteru Reagent ร้อยละ 10 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. ตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 4 นาที
7. เติมสารละลาย Sodium Carbonate (Na_2CO_3) ร้อยละ 7.5 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
8. ตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที
9. วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ Blank (น้ำกลั่น)

10. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของ Gallic acid (กรัม /มิลลิลิตร) ดังภาพ



ภาพที่ ข.1 กราฟมาตรฐานของสารละลาย Gallic acid ในการหาปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

วิธีการวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างสกัดปริมาตร 1 มิลลิลิตร (3 ซ้ำ) ใส่ในหลอดทดลอง
2. เติมสารละลาย Folin-Ciocalteru Reagent (10%) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ตั้งสารละลายทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 4 นาที
4. เติมสารละลาย Sodium Carbonate (Na_2CO_3) (7.5%) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
5. วัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ Blank (น้ำกลั่น)
6. นำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย Gallic acid และรายงานค่าในรูปของกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง (g GAE /g)

2. การวิเคราะห์กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radicals scavenging) ดัดแปลงจาก ศรินญา และคณะ (2560) [12]

สารเคมี

สารละลายอนุมูลอิสระเสถียร DPPH (0.15 mM)

สารละลาย Ascorbic acid

เครื่องมือ

เครื่องวัดสเปกโตโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) รุ่น 722G

การสร้างกราฟมาตรฐานสารละลาย Ascorbic acid

1. เตรียมสารละลายมาตรฐาน Ascorbic acid ที่ความเข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยชั่งน้ำหนัก สารละลาย Ascorbic acid 0.01 กรัม และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตร

2. ทำการเจือจางที่ความเข้มข้น 0 2 4 6 และ 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 0 และสารละลาย Ascorbic acid (100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ปริมาตร 0.02 0.04 0.06 0.08 และ 0.1 มิลลิลิตร ตามลำดับ

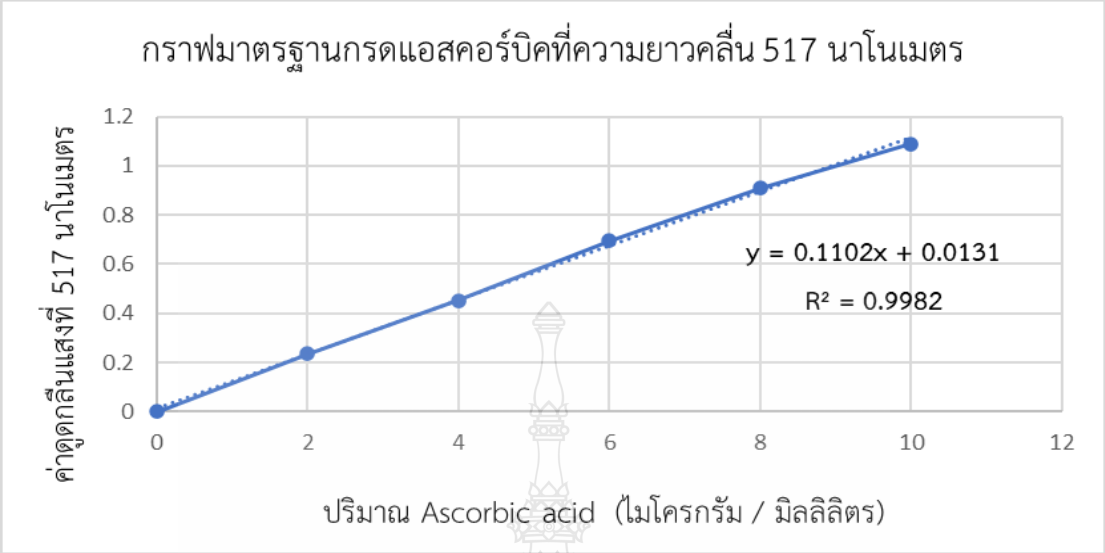
3. ปรับปริมาตรของสารละลายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

4. เติมสารละลายอนุมูลอิสระเสถียร DPPH (0.15mM) ปริมาตร 1 นาโนเมตร เขย่าให้เข้ากัน

5. ตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 90 นาที

6. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ Blank

7. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของ Ascorbic acid (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร) ดังภาพ



ภาพที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของสารละลาย Ascorbic acid ในการหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay

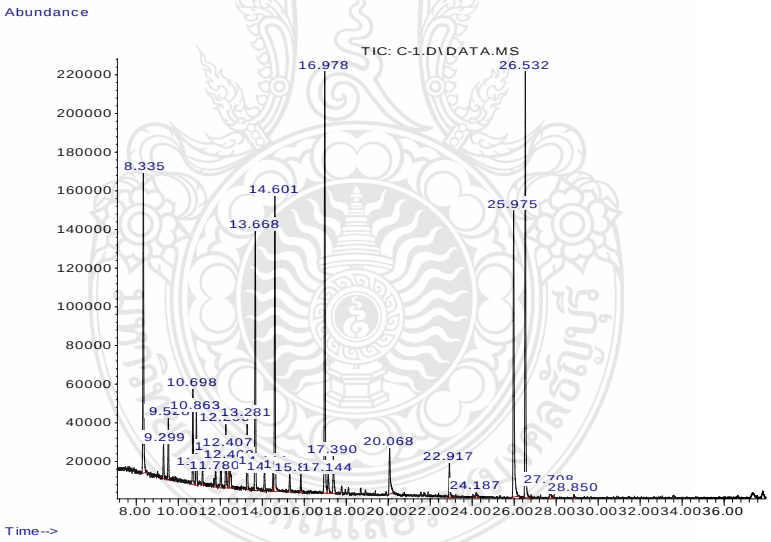
วิธีการวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่างสกัดปริมาตร 1 มิลลิลิตร (3 ซ้ำ) ใส่ในหลอดทดลอง
2. เติมสารละลายอนุมูลอิสระเสถียร DPPH (0.15 mM) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน
3. ตั้งสารละลายทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง 90 นาที
4. นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ Blank
5. นำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลาย Ascorbic acid และรายงานค่าในรูปของไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง (µg GAE /g)

3. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี (GC-MS) ดัดแปลงจาก Zhao และคณะ (2019) [8]

ตารางที่ ข.1 สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี-แมสสเปกโทรเมตรี (GC-MS)

	Condition
Instrument	Agilent Technologies 7890 GC ; 5975 C MSD
Column	Mega-5MS (30m × 0.25 mm; 0.25 um)
Oven	40 C for 1 min, 220 C at 5 C/min held for 1 min
Injector / Transfer line	240 C / 270 C, Split ratio : 10:1
Column flow rate	Helium 1.0 ml/min constant flow Scan 40-900 amu
Ms source	230 C , MS Quad : 150 C, EI mode : 70 eV



ภาพที่ ข.3 โครมาโทแกรมของสารระเหยสำคัญที่พบในเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลของสารมาตรฐานอัลเคน C_9-C_{20}

PK	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	8.446	C:/Database/NIST11.L			
C9		Nonane	12663	000111-84-2	91
		Nonane	12662	000111-84-2	87
		Nonane	12664	000111-84-2	68
2	11.474	C:/Database/NIST11.L			
C10		Decane	19156	000124-18-5	95
		Decane	19157	000124-18-5	95
		Decane	19159	000124-18-5	95
3	14.534	C:/Database/NIST11.L			
C11		Undecane	28424	001120-21-4	96
		Undecane	28423	001120-21-4	96
		Undecane	28422	001120-21-4	91
4	17.498	C:/Database/NIST11.L			
C12		Dodecane	38317	000112-40-3	96
		Dodecane	38315	000112-40-3	96
		Dodecane	38316	000112-40-3	95
5	20.31	C:/Database/NIST11.L			
C13		Tridecane	48834	000629-50-5	95
		Tridecane	48833	000629-50-5	97
		Tridecane	48832	000629-50-5	94
6	22.971	C:/Database/NIST11.L			
C14		Tetradecane	59882	000629-59-4	98
		Tetradecane	59879	000629-59-4	98
		Tetradecane	59880	000629-59-4	98

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลของสารมาตรฐานอัลเคน C_9-C_{20} (ต่อ)

PK	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
7	25.48	C:/Database/NIST11.			
C15		Pentadecane	71395	000629-62-9	98
		Pentadecane	71396	000629-62-9	97
		Pentadecane	71394	000629-62-9	91
8	27.861	C:/Database/NIST11.L			
C16		Hexadecane	83027	000544-76-3	98
		Hexadecane	83026	000544-76-3	98
		Hexadecane	83024	000544-76-3	96
9	30.122	C:/Database/NIST11.L			
C17		Heptadecane	94345	000629-78-7	98
		Heptadecane	94344	000629-78-7	97
		Heptadecane	94346	000629-78-7	97
10	32.271	C:/Database/NIST11.L			
C18		Octadecane	105885	000593-45-3	98
		Octadecane	105885	000593-45-3	98
		Hexadecane	83028	000544-76-3	91
11	34.316	C:/Database/NIST11.L			
C19		Nonadecane	117637	000629-92-5	98
		Heptadecane	94346	000629-78-7	97
		Nonadecane	117638	000629-92-5	97
12	36.266	C:/Database/NIST11.L			
C20		Eicosane	129490	000112-95-8	99
		Eicosane	129491	000112-95-8	98
		Hexacosane	194493	000630-01-3	94

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

วิธีวิเคราะห์หาค่า Retention Index (RI) จากค่า Retention Time ของสารที่พบในสารระเหย และค่า Retention time ของสารมาตรฐานอัลเคน C_9-C_{20} โดยค่า Retention Index (RI) สามารถคำนวณได้จากค่า Retention Time ของสารมาตรฐานที่ออกมาก่อน และหลังค่า Retention time ของสารที่สนใจ จากสูตร ดังนี้

$$RI = \frac{100n + 100(tx - tn)}{(tn+1 - tn-1)}$$

X = สารที่สนใจ

n = สารมาตรฐาน n-alkane C_nH_{2n} ที่แยกออกมาก่อนสารที่สนใจ

n+1 = สารมาตรฐาน n-alkane $C_nH_{2n(n+1)}$ ที่แยกออกมาหลังสารที่สนใจ

t = เวลาที่สารแยกออกมา (min)

RI = retention Index หรือ เวลาสัมพัทธ์ของสารที่แยกออกมา (ไม่มีหน่วย)

ภาคผนวก ค

ภาพประกอบการทำการทดลอง

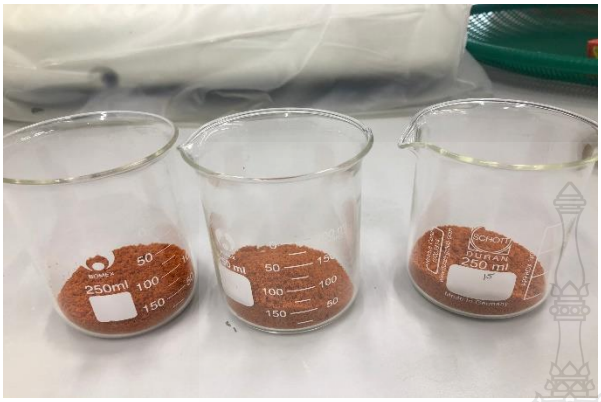
1. การเตรียมผงรกจันทน์เทศแห้ง

ทำแห้งรกจันทน์เทศสดด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อน (Hot Air Oven) กำหนดอุณหภูมิทำแห้งที่ 60±5 องศาเซลเซียส

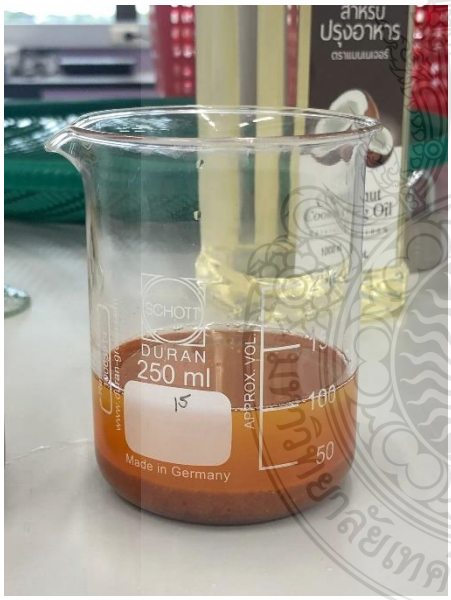
จากนั้นนำตัวอย่างมาบดละเอียด ด้วยโถปั่นแห้งจะได้เป็นผงละเอียด เก็บรักษาตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยบรรจุในถุงฟอยด์ทึบสุญญากาศเพื่อรอใช้ในการสกัด

ภาพที่ ค. 1 ขั้นตอนการการเตรียมผงรกจันทน์เทศแห้ง

2. การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากกรกจันทน์เทศด้วยน้ำมันบริโภค (น้ำมันมะพร้าว)

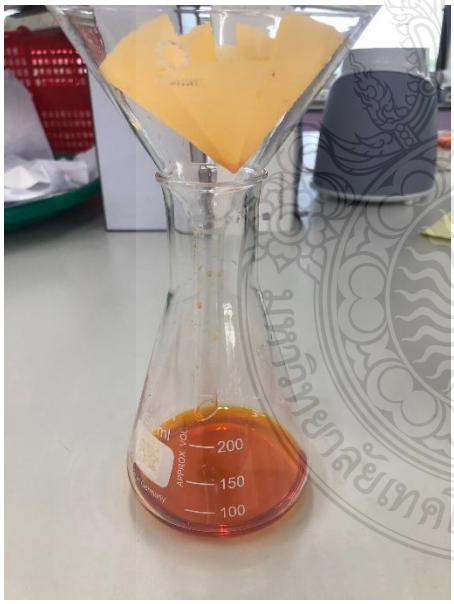


ผงรกจันทน์เทศแห้ง



นำผงรกจันทน์เทศแห้งที่เตรียมได้มาสกัดด้วยน้ำมันมะพร้าว โดยใช้อัตราส่วนในการสกัดของผงรกจันทน์เทศแห้ง ต่อน้ำมันมะพร้าวในการสกัดเท่ากับอัตราส่วน 1:4

ทำการสกัดนาน 24 ชั่วโมง มีการคนผสมตลอดเวลาการสกัด



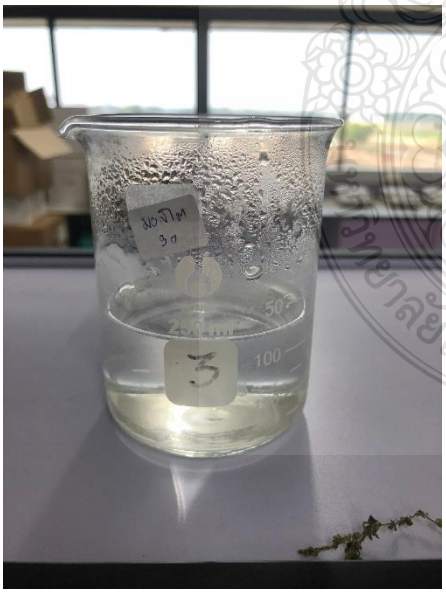
กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1

เก็บรักษาน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่ได้ในขวดแก้วสีชาอุณหภูมิต่ำ (4 องศาเซลเซียส)

ภาพที่ ค. 2 การสกัดสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากรกจันทน์เทศด้วยน้ำมันบริโภค

3. การเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศโดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (สารห่อหุ้ม) ที่แตกต่างกัน

3.1 การเตรียมสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินความเข้มข้น ร้อยละ 50



มอลโทเดกซ์ทริน 50 กรัม ผสมในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร

จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้มาผสมกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศในอัตราส่วน 1:2 โดยผสมน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ 50 มิลลิลิตร เติมอิมัลซิไฟเออร์ 2 ชนิด ได้แก่ Tween 20, PEG 400 ในอัตราส่วน 3: 1

นำเข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) ที่ความเร็ว 18,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที

ภาพที่ ค. 3 เตรียมสารละลายมอลโทเดกซ์ทรินความเข้มข้น ร้อยละ 50

3.2 การเตรียมสารละลายกัมอราบิกความเข้มข้น ร้อยละ 20

ผสมกัมอราบิก 20 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ผสมกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศในอัตราส่วน 1:2 โดยผสมน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ 50 มัลลิลิตร นำตัวอย่างที่เตรียมได้เข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer) ที่ความเร็ว 18,000 rpm เป็นเวลา 5 นาที

ภาพที่ ค. 4 เตรียมสารละลายกัมอราบิกความเข้มข้น ร้อยละ 20

4. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมอิมัลชันน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

นำตัวอย่างที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 3.1 และ 3.2 เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย กำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ 2 ระดับ ได้แก่ 170 และ 180 องศาเซลเซียส

ภาพที่ ค. 5 ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศให้อยู่ในรูปเอนแคปซูเลตโดยใช้กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ภาคผนวก ง

ผลทางสถิติของการทดลอง

ตารางที่ ง.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของร้อยละผลผลิต และค่าวอเทอร์แอคทิวิตี้ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศที่เตรียมได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

		Sum of Squares	df	Mean Square	F
Yield	Between Groups	274.306	3	91.435	14231.179
	Within Groups	.051	8	.006	
	Total	274.437	11		
Water activity (a_w)	Between Groups	.000	3	.000	579.240
	Within Groups	.000	8	.000	
	Total	.000	11		

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
L	Equal variances not assumed	5.692	.022	-4.413	29.725	.000	-.309	.0700	-.452	-.165
a	Equal variances not assumed	11.226	.002	55.362	29.008	.000	2.869	.0518	2.763	2.975
b	Equal variances not assumed	9.872	.003	84.722	25.206	.000	12.685	.1497	12.377	12.993
Aw	Equal variances assumed	5.054	.088	.080	4	.940	.000	.008369	-.022	.023
Bulk density	Equal variances assumed	.649	.466	1.522	4	.203	.020	.0131	-.016	.056

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ (ต่อ)

		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
phenol	Equal variances assumed	1.799	.253	-67.72	4	.000	-.084	.001	-.087	-.080
Dpph	Equal variances assumed	.163	.707	-6.87	4	.002	-65.093	9.473	-91.395	-38.791

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติการเก็บรักษาทางกายภาพ และทางเคมีของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

		Sum of Squares	df	Mean Square	F
ความสว่าง (*L)	Between Groups	.011	4	.003	.028
	Within Groups	.999	10	.100	
	Total	1.010	14		
ความเป็นสีแดง (*a)	Between Groups	.373	4	.093	1.369
	Within Groups	.681	10	.068	
	Total	1.054	14		
ความเป็นสีเหลือง (*b)	Between Groups	.146	4	.036	.360
	Within Groups	1.012	10	.101	
	Total	1.158	14		
วอเทอร์แอคทิวิตี้	Between Groups	.000	4	.000	1.590
	Within Groups	.000	4	.043	.636
	Total	.000	10		
ความหนาแน่นรวม	Between Groups	.000	4	.000	.636
	Within Groups	.002	10	.000	
	Total	.002	14		

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติการเก็บรักษาทางกายภาพ และทางเคมีของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ (ต่อ)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด	Between Groups	.094	4	.023	52.823
	Within Groups	.004	10	.000	
	Total	.098	14		
กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ	Between Groups	7518.386	4	1879.596	3.473
	Within Groups	5411.344	10	541.134	
	Total	12929.730	14		

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวันที่ 0 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
0.00	1.00	605.991	4	.000	.285	.000	.284	.286

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวันที่ 7 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
9.88	.035	20.412	2.152	.002	.1977	.009	.158	.236

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวันที่ 14 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
7.87	0.048	19.33	2.25	.002	.210	.010	.167	.252

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวันที่ 21 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
5.00	0.09	179.60	4	0.000	.224	.001	.220	.227

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดวันที่ 28 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
4.119	.112	7.705	4	.002	.191	.024	.122	.260

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวันที่ 0 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
7.953	.048	14.860	2.06	.004	81.590	5.490	58.563	104.617

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวันที่ 7 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
2.803	.169	5.913	4	.004	78.202	13.224	41.484	114.919

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวันที่ 14 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
5.670	.076	2.946	4	.042	70.097	23.792	4.037	136.156

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระวันที่ 21 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
5.223	.084	5.873	4	.004	47.839	8.145	25.223	70.456

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ตารางที่ ง.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ วันที่ 28 ของเอนแคปซูเลตน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศเปรียบเทียบกับน้ำมันสกัดรกจันทน์เทศ

F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
							Lower	Upper
11.147	.029	6.63	2.02	.021	56.000	8.445	20.060	91.941

หมายเหตุ : วิเคราะห์สถิติที่ระดับนัยสำคัญ .05

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายรัฐภูมิ จันทะผล
วัน เดือน ปีเกิด	16 มิถุนายน 2540
ที่อยู่	40/927 ซอย 6/4 หมู่บ้านพฤกษาบี ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะเทคโนโลยีการเกษตร สาขาวิชาอุตสาหกรรมการเกษตร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
เบอร์โทรศัพท์	095-738-0589
อีเมล	1162703030020@mail.rmutt.ac.th

Biography

Name - Surname	MR. Ratthaphum Jantapon
Date of Birth	June 18, 1997
Address	40/927 Pruksa B Klong Sam, Klong long, Pathum Thani, Thailand 12120
Education	Master of Foodsci
Telephone Number	095-738-0589
Email Address	11627030300 20@mail.rmutt.ac.th