การผลิตน้ำมันพริกผง

PRODUCTION OF CHILI OIL POWDER

นางสาวชาคริยา สกุลพุทธิไพบูลย์
นายจิตรภาณุ จิระเกียรติกุล
นายรัชกาล เอ้งฉ้วน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การผลิตน้ำมันพริกผง

PRODUCTION OF CHILI OIL POWDER

นางสาวชาคริยา สกุลพุทธิไพบูลย์

นายจิตรภาณุ จิระเกียรติกุล

นายรัชกาล เอ้งฉ้วน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PRODUCTION OF CHILI OIL POWDER

MISS CHAKRIYA SAKUNPUTTIPAIBOON

MR. JITPANU JIRAKAITTIKUL

MR. RATCHAKARN ENGCHUAN

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILIMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การผลิตน้ำมันพริกผง

Production of Chili oil powder

ผู้จัดทำ

นางสาวชาคริยา	สกุลพุทธิไพบูลย์	รหัสนักศึกษา	55010275
นายจิตรภาณุ	จิระเกียรติกุล	รหัสนักศึกษา	56010177
นายรัชกาล	เอ้งฉ้วน	รหัสนักศึกษา	56011007

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน	การผลิตน้ำมันพริกผง
นักศึกษา	นางสาวชาคริยา สกุลพุทธิไพบูลย์
	นายจิตรภาณุ จิระเกียรติกุล
	นายรัชกาล เอ้งฉ้วน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	สาขาวิศวกรรมอาหาร
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

พริกขี้หนูสายพันธุ์จินดา มีชื่อทางวิทยาศาตร์คือ *Capsicum annuum* ซึ่งความเผ็ดและกลิ่นรสของพริกเป็นจุดเด่นของอาหารไทยที่เป็นเอกลักษณ์อย่างหนึ่ง สารที่ให้กลิ่นรสของพริกก็คือ แคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) ซึ่งสามารถละลายได้ดีในสารละลายที่ไม่มีขั้ว จึงเป็นเหตุผลที่นำน้ำมันมาใช้ในการสกัดกลิ่นรสของพริกที่ผ่านการคั่ว ที่เป็นกระบวนการเพิ่มกลิ่นรส แต่ทว่าในสภาพน้ำมันพริกนั้น มีความยุ่งยากในทางด้านอายุในการเก็บรักษาและวิธีการเก็บรักษา จึงทำให้ได้ตัดสินใจในการทำให้เป็นผงเพื่อความสะดวกสบายทั้งในการเก็บรักษา ขนส่งและนำไปใช้ที่หลากหลายมากขึ้น และในปริญญานิพนธ์นี้จึงได้ทำการเลือกที่จะศึกษา 2 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/อุณหภูมิลมร้อนขาออก 3 ระดับ คือ 170/70, 200/80 และ 230/90 และศึกษาผลของชนิดน้ำมันที่ใช้ในการทำน้ำมันพริก 2 ชนิดได้แก่ น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และได้ทำการวิเคราะห์คุณภาพด้วยคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ความชื้น(MC) ปริมาณน้ำอิสระ(AW) ปริมาณร้อยละที่ผลิตได้(%yield) และค่าเพอร์ออกไซด์(Peroxide value) โดยจากการทดลองพบว่าค่า AW มีค่าต่ำกว่า 0.6 ความชื้นมีค่าต่ำกว่า 5 %(d.b.) และ PV มีค่าต่ำกว่า 10ทั้งหมด ทำให้ทั้งน้ำมันพริกผงทั้ง 6 ผ่านมาตรฐานทั้งหมด ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่เลือกน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิขาเข้า/อุณหภูมิลมร้อนขาออกที่ 200/80 องศาเซลเซียส เนื่องจากมี %yield เยอะสุด นอกจากนี้สามารถสรุปความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ดังต่อไปนี้ ในด้านตัวแปรอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออก คือ ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของน้ำมันพริกผงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออกเพิ่มขึ้น ปริมาณร้อยละที่ผลิตได้และค่าเพอร์ออกไซด์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออกเพิ่มขึ้น ในด้านตัวแปรชนิดน้ำมันในส่วนของปริมาณความชื้นและปริมาณอิสระ น้ำมันรำข้าวมีแนวโน้มมากกว่าน้ำมันถั่วเหลือง ในส่วนของปริมาณร้อยละที่ผลิตได้และค่าเพอร์ออกไซด์ น้ำมันถั่วเหลืองมีแนวโน้มมากกว่าน้ำมันรำข้าว

คำสำคัญ : น้ำมันพริกผง, น้ำมันพริก, น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันรำข้าว, พริกแห้ง, ผงปรุงรส, การทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Production of Chili oil powder	
Student	Miss Chakriya	Sakunputtipaiboon
	Mr. Jitpanu	Jirakaittikul
	Mr. Ratchakarn	Engchuan
Advisor	Asst.Prof.Dr.Kankanit	khwanpruk
Degree	Bachelor's of Engineering	
Program	Food Engineering	
Year	2016	

ABSTRACT

Chili The scientific name is *Capsicum annuum*, where the spicy and fragrance of chili is a hallmark of Thai cuisine. Pepper flavors are capsaicinoids which can be dissolved well in polar solution. This is why it is used to extract the flavor of roasted peppers. That is the process of adding flavor. But in the chili oil. There is a great deal of age in storage and storage. So decided to make a powder. For both convenience and storage. Transport and use is more diverse. In this thesis, we have chosen to study 2 factors: inlet air temperature / outgoing hot air temperature 170/70, 200/80 and 230/90, and study the effect of oil type used in the study. Two types of chili oil: soybean oil and rice bran oil. The experiment was repeated three times and analyzed by physical and chemical properties, moisture content (MC), free water (AW), percentage yield and peroxide value. The AW value was lower than 0.6, moisture content was less than 5% (db), and PV was below 10. Therefore, it is the choice of soybean oil at the incoming temperature / outlet air temperature at 200/80 degrees Celsius due to the highest yield. In addition, the relationship between the inputs to the product characteristics can be summarized as follows. In terms of variable inlet / outlet hot air temperature, the moisture content and free water content of chilli powder tend to decrease as the inlet / outlet air temperature rises. Percentage produced and rancidity It is likely to increase as the inlet / outlet air temperature rises. On the oil type variable. In terms of moisture content and free volume. Rice bran oil is more likely than soybean oil. In terms of percentage produced and rancidity Soybean oil is more likely than rice bran oil.

Keywords: Chili oil powder, Chilil oil, Soil bean oil, Rice bran oil, dried chilli, Seasoning, Spray drying

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะสำเร็จขึ้นไม่ได้ ถ้าขาดความกรุณาจาก ผศ.ดร.กันต์กนิษฐ์ ขวัญพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะ และให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆ อีกทั้งยังให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดี อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบพระคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์และคุณอำนาจ คูตะคุ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศกรรมอาหาร ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา แนะนำตลอดจนข้อชี้แนะในการทดลองและอำนวยความสะดวกในการเบิกใช้อุปกรณ์ต่างๆ อีกทั้งให้กำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอมา

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้ปกครอง ซึ่งเป็นบุคคลเลี้ยงดู อบรม สั่งสอน จนเติบโตและให้การสนับสนุนในการศึกษาตลอดมา สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาวิศวกรรมอาหาร รุ่น 18 ทุกคนที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษา แนะนำ ในระหว่างการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณ

นางสาวชาคริยา สกุลพุทธิไพบูลย์
นายจิตรภาณุ จิระเกียรติกุล
นายรัชกาล เอ้งฉ้วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 จุดประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของพริกขี้หนูพันธุ์จินดา (Capsicum annuum)	3
2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของพริกขี้หนูสายพันธุ์จินดา	3
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของพริก	4
2.1.3 ประโยชน์ของพริกขี้หนูสายพันธุ์จินดา	4
2.2 ข้อมูลเบื้องต้นของถั่วเหลือง	4
2.2.1 ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของถั่วเหลือง	5
2.2.2 โครงสร้างของเมล็ดถั่วเหลือง	5
2.2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง	6
2.2.4 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลือง	7
2.2.5 การสกัดน้ำมันดิบจากเมล็ดถั่วเหลือง	7

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.6 ประโยชน์ของน้ำมันถั่วเหลือง	7
2.3 ข้อมูลเบื้องต้นของข้าว	8
2.3.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันรำข้าว 8
2.3.3 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันรำข้าว 9
2.3.4 การสกัดน้ำมันรำข้าว 9
2.3.5 ประโยชน์ของน้ำมันรำข้าว 11
2.4 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation) 11
2.4.1 วัตถุประสงค์ของกระบวนการห่อหุ้ม 12
2.4.2 ชนิดของสารห่อหุ้มที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชั่น 12
2.4.3 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques) 15
2.4.4 Glass transition 20
2.5 โฮโมจีไนเซชัน (Homogenization) 22
2.5.1 ทฤษฎีของโฮโมจีไนเซชัน 22
2.5.2 ประเภทและหลักการทำงานของ Homogenizer 23
2.5.3 การนำ Homogenizer ไปใช้ประโยชน์ในระดับโรงงานอุตสาหกรรม 25
2.5.3 การแตกเซลล์ 25
2.6 อิมัลชัน (Emulsion) 26
2.6.1 แรงตึงผิว (interfacial tension) 27
2.6.2 สารอิมัลซิไฟอิ้ง (emulsifying agents) 27
2.6.3 หลักการทั่วไปในการทำให้เกิดอิมัลชัน 28
2.7 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) 29
2.7.1 หลักการทำงาน 29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7.2 ห้องทำแห้ง 30
2.7.3 หัวอัดฉีด 31
2.7.4 ไซโคลน (Cyclone) 32
2.7.5 อาหารที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย 32
2.7.6 ปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผล-
ต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ 32
2.8 แอกติวิตีของน้ำ (Water Activity) 33
2.9 ความชื้น (moisture content) 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1 การแสดงค่าความชื้นของอาหาร 37
2.9.2 การวัดความชื้นของอาหาร 38
2.10 ค่าเพอร์ออกไซด์ (peroxide value) 40
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ 42
3.2 ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันพริก 47
3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย 49
3.4 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย 51
3.5 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพด้วยค่าความชื้น 52
3.6 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพด้วยค่า AW 53
3.7 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพด้วยค่า PV 53
3.8 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพด้วยค่า %yield 54

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำมันพริกผง 55
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น 55
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ 56
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ 58
4.1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ 59

บทที่ 5 สรุปและการวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง 61

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ผลของผลิตภัณฑ์น้ำมันพริกผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ วัตุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง

ภาคผนวก ค. ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะเฉพาะของสารห่อหุ้มแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม 15
ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย 22
ตารางที่ 3.1 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง 51
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น 55
ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ 56
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้ 58
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์ 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 พริกขี้หนูแห้งสายพันธุ์จินดา 3
รูปที่ 2.2 จำนวนเมล็ดต่อฝัก และสีของฝักแก่ถั่วเหลือง 5
รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบหลักของถั่วเมล็ดแห้ง (legume) 5
รูปที่ 2.4 การเกิดโครงสร้างอสัณฐานและความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาสมดุลและไม่สมดุล 21
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารและค่าแอกติวิตีของน้ำในอาหารทั่วไป 35
รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอกติวิตีของน้ำในอาหารและปริมาณความชื้นในอาหาร ที่มีความชื้นต่ำ 35
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอกติวิตีของน้ำ 36
รูปที่ 3.1 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ยี่ห้อ ARMFIELD รุ่น FT40 Multi-Purpose Processing Vessel 42
รูปที่ 3.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย รุ่น JCM Minilab SDE-10 43
รูปที่ 3.3 ตู้อบลมร้อน รุ่น UN160 ยี่ห้อ Memmert, Germany 43
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระยี่ห้อ Aqua lab รุ่น Model SERIES 3TE 44
รูปที่ 3.5 พริกแห้ง 45
รูปที่ 3.6 น้ำมันถั่วเหลือง 45
รูปที่ 3.7 น้ำมันรำข้าว 46
รูปที่ 3.8 มอลโตเด็กซ์ตริน 46
รูปที่ 3.9 การเตรียมพริก 47
รูปที่ 3.10 การเตรียมน้ำมัน 47
รูปที่ 3.11 คั่วพริก 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 น้ำมันพริก 48
รูปที่ 3.13 น้ำมันพริก น้ำ มอลโตเด็กซ์ตริน(จากซ้ายไปขวา) 49
รูปที่ 3.14 สารผสมก่อนเข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ 49
รูปที่ 3.15 ภาพขณะทำการโฮโมจีไนซ์ 50

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.16 หลังทำโฮโมจีไนซ์ 50
รูปที่ 3.17 น้ำมันพริกผงหลังผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย 52
รูปที่ 3.18 สารละลายผสมกรดอะซิติกและคลอโรฟอร์ม บริษัท EMD Millipore Corporation 53
รูปที่ 3.19 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ บริษัท EMD Millipore Corporation 53
รูปที่ 3.20 สารไธโอซัลเฟต บริษัท EMD Millipore Corporation 54
รูปที่ 3.21 การวัดค่าเพอร์ออกไซด์ 54
รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิขาเข้า/ออกและชนิดน้ำมันต่อปริมาณความชื้น 56
รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิขาเข้า/ออกและชนิดน้ำมันต่อปริมาณน้ำอิสระ 57
รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิขาเข้า/ออกและชนิดน้ำมันต่อปริมาณร้อยละที่ผลิตได้ 59
รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิขาเข้า/ออกและชนิดน้ำมันต่อค่าเพอร์ออกไซด์ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากอาหารในประเทศไทยมีด้วยกันหลากหลายโดยจุดเด่นของอาหารไทยที่เป็นเอกลักษณ์และเป็นที่ชื่นชอบจากคนทั่วโลกอย่างหนึ่งก็คือความเผ็ดและกลิ่นหอมของพริกซึ่งกลิ่นของพริกจะช่วยในการกระตุ้นความอยากอาหาร งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเก็บกลิ่นรสของพริกที่ผ่านการคั่วโดยใช้น้ำมันเป็นตัวเก็บกลิ่นรสพริกคั่ว และเพื่อนำน้ำมันพริกนี้ไปใช้ได้กว้างขวางขึ้น เช่นการนำไปเป็นส่วนผสมของผงปรุงรส จึงได้มีการนำหลักการทำแห้งแบบพ่นฝอยมาประยุกต์ใช้กับน้ำมันพริกนี้ให้อยู่ในรูปผง ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของคุณภาพผลิตภัณฑ์ผงคือ อุณหภูมิของอากาศร้อนในการทำแห้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตน้ำมันพริกผงโดยใช้พริกขี้หนูสายพันธุ์จินดาด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้ม สำหรับผลของอุณหภูมิในการทำแห้งโดยศึกษาอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/อุณหภูมิลมร้อนขาออก 3 ระดับ คือ 170/70,200/80 และ 230/90 และศึกษาผลของชนิดน้ำมันที่ใช้ในการทำน้ำมันพริก 2 ชนิดได้แก่ น้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าว เนื่องจากน้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันที่ถูกใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย ส่วนน้ำมันรำข้าวเป็นน้ำมันซึ่งมีคุณสมบัติที่มีสารแอนตี้ออกซิเดชั่น

โดยคุณสมบัติของน้ำมันพริกผงจะศึกษาทั้งด้านกายภาพและเคมีได้แก่ ความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์ เป็นต้น

1.2 จุดประสงค์ของโครงงาน

เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการการผลิตน้ำมันพริกผงโดยใช้พริกขี้หนูสายพันธุ์จินดา ด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งใช้มอลโตเด็กซ์ตรินเป็นสารห่อหุ้ม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา คือ น้ำมันพริก
2. ปัจจัยที่ศึกษา 2 ปัจจัย
    - อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก 3 ระดับ คือ 170/70 200/80 และ 230/90 องศาเซลเซียส
    - ชนิดของน้ำมันได้แก่ น้ำมันถั่วเหลือง และ น้ำมันรำข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ค่าที่วัดของผงน้ำมันรำข้าว ได้แก่
    - ความชื้น
    - ปริมาณผลผลิตที่ได้
    - ปริมาณน้ำอิสระ (aw)
    - ค่าเพอร์ออกไซด์ (ค่าที่ใช้ในการวัดการเกิดลิพิดออกซิเดชั่น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเหม็นหืน)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตน้ำมันพริกผง โดยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย
2. ได้ผงน้ำมันพริกที่สามารถนำมารับประทานได้สะดวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของพริกขี้หนูพันธุ์จินดา (Capsicum annuum)

จัดอยู่ในกลุ่มพริกขี้หนูผลใหญ่ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่ง ที่ใช้ประกอบอาหารในชีวิตประจำวัน และใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ทั้งในรูปพริกแห้ง พริกสด และซอสพริก พันธุ์พริกที่ปลูกส่วนใหญ่เป็นพริกขี้หนูผลใหญ่ พริกขี้หนูสวน และพริกชี้ฟ้า แต่พริกขี้หนูผลใหญ่จัดเป็นพริกที่มีความสำคัญสูงสุด และเป็นพริกที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด มีแหล่งผลิตที่สำคัญอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รองลงมาคือภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลางเป็นต้น

รูปที่ 2.1 พริกขี้หนูแห้งสายพันธุ์จินดา

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของพริกขี้หนูสายพันธุ์จินดา (มณีฉัตร, 2541)

มีลักษณะเติบโตดี สามารถปลูกได้ทั้งปี แตกกิ่งมาก ทรงพุ่มกว้างประมาณ 50-60 ซม. ต้นสูงประมาณ 45-60 ซม. เป็นพริกผลยาว มีสีเขียว และสีแดง มีความยาวของผลสั้นกว่า 7.5 ซม. ให้รสชาติเผ็ดจัด ผลผลิตสดต่อต้น ประมาณ 1.5-2 กก. ผลแห้งจากผลสด 1.5-2 กก. ได้ประมาณ 0.7 กก. อายุเก็บเกี่ยวหลังย้ายกล้าที่ 90 วัน และสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นาน 60-90 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของพริก

2.1.2.1 กลุ่มสารที่ให้กลิ่น และรสเผ็ดร้อน (capsaicinoids)

สารเหล่านี้ ได้แก่ แคปไซซินอยด์ (capsaicinoids) ซึ่งประกอบด้วยสารต่างๆ คือ แคปไซซิน (capsaicin) ไดไฮโดรแคปไซซิน (dihydrocapsaicin), โฮโมแคปไซซิน (homocapsaicin), โฮโมไดไฮโดรแคปไซซิน (homodihydro-capsaicin), นอร์ไดไฮโดรแคปไซซิน (nordihydrocapsaicin)

2.1.2.2 กลุ่มสารให้สารสีสาร

สารเหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มรงควัตถุ พวกแคโรทีนอยด์ (carotenoid) สารสีที่สำคัญ ได้แก่ แคปแซนทิน (capxanthin) ซึ่งเป็นสารคีโตแคโรทีนอยด์ (ketocarotenoid, C40H58NO3), แคปโซรูบิน (capsorubin), นีโอแซนทิน (neoxanthin), ไวโอลาแซนทิน (violaxanthin), เซียแซนทิน (zeazanthin), ลูเทอิน (lutein) และบีตาแคโรทีน (B-carotene)

2.1.3 ประโยชน์ของพริกขี้หนูสายพันธุ์จินดา

พริกมีวิตามินซี สูง เป็นแหล่งของกรด ascorbic ซึ่งสารเหล่านี้ ช่วยขยายเส้นโลหิตในลำไส้และกระเพาะอาหารเพื่อให้ดูดซึมอาหารดีขึ้น ช่วยร่างกายขับถ่าย ของเสียและนำธาตุอาหารไปยังเนื้อเยื่อของร่างกาย (tissue) สำหรับพริกขี้หนูสดและพริกชี้ฟ้าของไทย มีปริมาณวิตามิน ซี 87.0 - 90 มิลลิกรัม / 100 g นอกจากนี้พริกยังมีสารเบต้า - แคโรทีนหรือวิตามินเอ สูง (พริกขี้หนูสด 140.77 RE) ในพริกยังมีสารสำคัญอีก 2 ชนิด ได้แก่ Capsaicin และ Oleoresinโดยเฉพาะสาร Capsaicin ที่ นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และผลิตภัณฑ์รักษาโรค ในอเมริกามีผลิตภัณฑ์จำหน่ายในชื่อ Cayenne สำหรับฆ่าเชื้อแบคทีเรียในกระเพาะอาหาร สาร Capsaicin ยังมีคุณสมบัติทำให้เกิดรสเผ็ด ลดความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อ หัวไหล่ แขน บั้นเอว และส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และมีผลิตภัณฑ์จำหน่ายทั้งชนิดเป็นโลชั่นและครีม (Thaxtra - P Capsaicin) แต่การใช้ในปริมาณที่มากเกินไป อาจมีผลกระทบต่ออาการหยุดชะงักการทำงานของกล้ามเนื้อได้เช่นกัน เพื่อความปลอดภัย USFDA ได้กำหนดให้ใช้สาร capsaicin ได้ ที่ความเข้มข้น 0.75 % สำหรับเป็นยารักษาโรค

2.2 ข้อมูลเบื้องต้นของถั่วเหลือง

ถั่วเหลือง เป็นพืชล้มลุก มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ Glycine max (L.) Merrill เป็นพืชตระกูลถั่ว (Leguminosae) เมล็ดแห้ง จากถั่วเหลืองจัดเป็นถั่วเมล็ดแห้ง (legume) ซึ่งอยู่ในกลุ่มพืชน้ำมัน (oil

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

crop) นำไปใช้เป็นวัตถุดิบ เพื่อการสกัดเป็นน้ำมันถั่วเหลือง และยังนำมาแปรรูป (food processing) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลาย เพื่อเป็นแหล่งโปรตีน เช่น โปรตีนเกษตร (textureized vegetable protein) โปรตีนถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์อาหารหมักจากถั่วเหลือง เช่น ซี่อิ้ว (fermented soy sauce) เต้าเจี้ยวมิ โซะ เต้าหู้ยี้ เทมเป้ ถั่วเน่า เป็นต้น

2.2.1 ลักษณะทางพฤษศาสตร์ของถั่วเหลือง (สุพรรณ และคณะ, 2518)

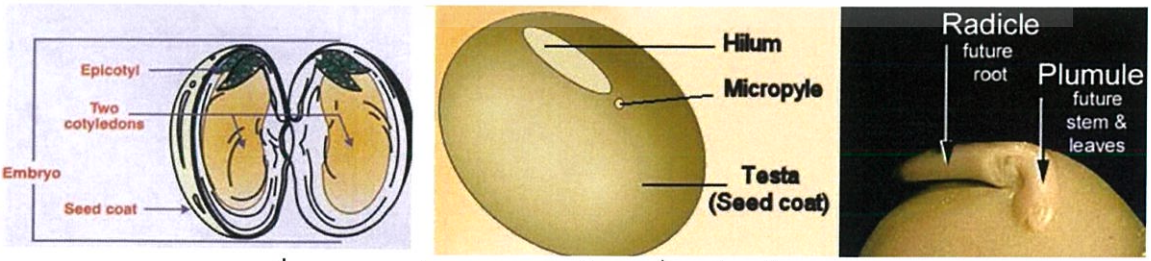
ฝักถั่วเหลืองพัฒนามาจากรังไข่ ซึ่งจะเจริญเติบโตเป็นฝักรูปยาวและโค้ง ภายในมีเมล็ด 2-3 เมล็ด เรียงตัวอยู่ตามแนวนอน เมล็ดถั่วเหลืองมีรูปร่างค่อนข้างกลมรี มีลักษณะเว้าทางด้านของเมล็ดที่มี hilum ขนาดของเมล็ดแตกต่างกันตามพันธุ์

ฤดูกาลปลูก ความอุดมสมบูรณ์ของดิน และปริมาณน้ำที่ได้รับ โดยทั่วไปมีขนาดเมล็ด 100 เมล็ดมีน้ำหนัก 5-20 กรัม

รูปที่ 2.2 จำนวนเมล็ดต่อฝัก และสีของฝักแก่ถั่วเหลือง

2.2.2 โครงสร้างของเมล็ดถั่วเหลือง (จวงจันทร์, 2526)

เมล็ดถั่วเหลืองมีโครงสร้างแบบถั่วเมล็ดแห้ง โดยมีส่วนประกอบหลักดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบหลักของถั่วเมล็ดแห้ง (legume)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 เปลือกนอกเมล็ด (seed coat หรือ testa)

เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ สี ของเปลือกนอกมีหลายสีด้วยกัน เช่น สีเหลืองอ่อน สีเหลืองเข้ม สีเหลืองแกมเขียว สีเขียว สีน้ำตาลอ่อน และสีดำ ทางด้านเว้าของเมล็ดจะพบ hilum หรือ seed scar ซึ่งเป็น จุดที่เมล็ดติดกับฝัก มีสีแตกต่างกันตามพันธุ์ เช่น สีดำ สีน้ำตาล และสีเหลืองเข้ม ทางปลายด้านหนึ่งของ hilum มีรูเล็กๆ เรียกว่า micropyle ซึ่งเป็นทางออกของ radicle ซึ่งงอกเป็นราก

2.2.2.2 ต้นอ่อนขณะอยู่ในเมล็ด (embryo)

เป็นเนื้อเยื่อทั้งหมดที่อยู่ในเมล็ด ประกอบด้วย

1 ใบเลี้ยง (cotyledon)

จำนวน 2 ใบ ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเปลือก นอกเข้าไป มีขนาดใหญ่ ทำหน้าที่ในการสะสมอาหาร ซึ่งอุดมไปด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และมีน้ำมันสูง ทำให้ถั่วเหลืองเป็นพืชน้ำมัน และยังมีวิตามิน เกลือแร่ และสารอาหารที่มีประโยชน์กับมนุษย์และสัตว์อีกหลายชนิด ส่วนนี้จะหายไปเมื่อถั่วเหลืองมีการเจริญเติบโต

2 ส่วนยอดของต้นอ่อน

ขณะอยู่ในเมล็ด (plumule) เป็นจุดเจริญ ซึ่งจะเจริญต่อไปเป็นใบจริงและลำต้นต่อไป เอพิคอทิล (epicotyl) คือส่วนที่อยู่เหนือตำแหน่งที่ยึดติดกับใบเลี้ยง ส่วนนี้เมื่อเจริญเติบโตต่อไปจะเป็นลำต้น ใบและดอก ไฮโพทอคิล (hypocotyl) คือ ส่วนที่อยู่ระหว่างตำแหน่งที่ติดของใบเลี้ยง กับตำแหน่งของรากแก้ว ส่วนนี้เมื่อเจริญเติบโต ต่อไปจะเป็นส่วนหนึ่งของลำต้น และเรดิเคิล (radicle) เป็นส่วนล่างสุดของเอมบริโอ อยู่ต่อจากไฮโพคอทิลลงมา ต่อไปจะเจริญเป็นรากแก้ว

2.2.3 ส่วนประกอบทางเคมีของถั่วเหลือง

เมล็ดถั่วเหลือง เป็นถั่วเมล็ดแห้ง ที่มีอุดมด้วยสารอาหารหลายชนิด โดยสะสมอยู่ในส่วนของใบเลี้ยง ซึ่งเป็นส่วนเนื้อในของถั่วเหลืองประกอบด้วยโปรตีนสูง และน้ำมันสูง เมื่อเปรียบเทียบกับถั่วเมล็ดแห้งชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีวิตามิน และแร่ธาตุ ในเมล็ดถั่วเหลืองยังมีสารที่พบในปริมาณน้อย แต่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (functional food) บางชนิดนำมาใช้เพื่อเป็นโภชนเภสัช (nutraceutical) เช่น เลซิทิน (lecithin) ไฟโตอีสโทรเจน (phytoestrogen) ซึ่งไฟโตอีสโตรเจนที่พบมากใน ถั่วเหลืองมีไอโซฟลาโวน ที่สำคัญคือ ไดซีน (daidzein) และ จีนิสทีน (genistein)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันถั่วเหลือง

น้ำมันถั่วเหลือง เป็นไตรกลีเซอไรด์ ที่ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ได้แก่ กรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดไขมันซึ่งพันธะคู่มากกว่า 1 ตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acid) โดยเฉพาะกรดไขมันโอเมกา-6 (omega-6 fatty acid) ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ซึ่งเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย (essential fatty acid)

2.2.5 การสกัดน้ำมันดิบจากเมล็ดถั่วเหลือง

การเตรียมวัตถุดิบ (raw material preparation) ด้วยการบดเมล็ดถั่วเหลืองให้แตก และนำไปให้ความร้อน แล้วรีดเป็นแผ่นเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว ทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพดีขึ้นการสกัดน้ำมัน (extraction) ใช้ hexane เป็นตัวทำละลายเพื่อสกัดให้น้ำมันในเมล็ดถั่วเหลืองละลายออกมาผสมกับ hexane น้ำมันดิบที่ปนอยู่กับตัวทำละลาย เรียกว่า miscella ระเหยตัวทำละลายออกจากน้ำมันดิบให้ความร้อน miscella ด้วยเครื่องระเหย evaporator และ striping column เพื่อจะได้น้ำมันดิบ กระบวนการแยกยางเหนียว (degumming) โดยเติมน้ำร้อนแล้วใช้เครื่องเหวี่ยง (centrifuge) เพื่อทำให้ยางเหนียว (gum) ให้ตกตะกอน จะได้น้ำมันดิบตะกอนยางเหนียวกากถั่วเหลืองและกัม เป็นผลพลอยได้ นำไประเหยแยกตัวทำละลายออก (desolventizer) และนึ่ง (steaming) ให้สุกทำแห้ง (dehydration) เพื่อลดความชื้น และป่นเพื่อเป็นวัตถุดิบโรงงานอาหารสัตว์ หรือผลิตเป็น lecithin การทำให้บริสุทธิ์ (refining) การทำให้เป็นกลาง (neutralization) เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ (free fatty acid, FFA) โดยเติมโซดาไฟ (NaOH) ซึ่งเป็นด่าง เพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระ FFA ด้วยปฏิกิริยา souponification ได้สบู่ และแยกเอาสบู่ออกการฟอกสี (bleaching) โดยเติมดินฟอกสีการกำจัดกลิ่น (deodorization) โดยการกลั่น (distillation) ด้วยหอกลั่น เพื่อกลั่นน้ำมันที่อุณหภูมิสูงจะได้น้ำมันพืชบริสุทธิ์ ใช้บริโภคได้

2.2.6 ประโยชน์ของน้ำมันถั่วเหลือง

น้ำมันถั่วเหลืองใช้ปรุงอาหารได้หลากหลาย ในน้ำมันถั่วเหลือง อุดมไปด้วยไขมันอิ่มตัว, กรดไขมันโอเมก้า6 โปรตีนและกรดไลโนเลอิก ในน้ำมันถั่วเหลืองมีซิโตสเตอรอล (sitosterol) ซึ่งสารนี้มีการออกฤทธิ์ควบคุมการดูดซึมปริมาณการละลายและการย่อยคอเลสเตอรอลในลำไส้ ทำให้ช่วยลดไตรกลีเซอไรด์ (triglycerides)ลดคอเลสเตอรอลชนิดเลว(LDL) มีสารต้านอนุมูลอิสระ จึงเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้เราลดความเสี่ยงจากการเผชิญเซลล์มะเร็งในร่างกาย มีไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย เราไม่สามารถผลิตเองได้ ต้องรับจากอาหาร โดยกรดไขมันที่ว่า เป็นกรดไขมันชนิดดี มีส่วนช่วยลดการอุดตันของ ทั้งยังช่วยลดระดับไขมันไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นไขมันที่ทำให้เลือดข้นเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ข้อมูลเบื้องต้นของข้าว (ฉลวย, 2555)

ข้าวนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวที่เรียกว่าแกลบ (Hull หรือ Husk) และส่วนเนื้อผล หรือข้าวกล้อง (Brown Rice) ซึ่งห่อหุ้มด้วยรำข้าว (Rice Bran) เมล็ดข้าว (Rice Grain) จะหุ้มไว้ด้วยรำข้าว ข้าวมีผลมาจากพันธุ์ สภาวะการปลูก การเก็บเกี่ยวและกระบวนการแปรรูป จากข้าวเปลือกเป็นข้าวกล้อง และข้าวสาร

2.3.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว

องค์ประกอบของเมล็ดข้าว ส่วนที่เป็นเปลือกแข็งสีเหลืองด้านนอกสุดคือแกลบ ส่วนที่อยู่ถัดเข้ามาและอยู่บริเวณปลายข้าว คือ ส่วนสีเหลืองเรียกว่า จมูกข้าว ส่วนที่เป็นเยื่อสีน้ำตาลคือรำข้าวและส่วนชั้นในสุดมีสีขาว คือ เมล็ดข้าว

รำข้าว (Rice Bran)

รำ หมายถึง เยื่อหุ้มเมล็ด และคัพภะของข้าว ในรำข้าวนั้นมีเอนไซม์ที่เรียกว่าเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเอนไซม์ไลเปสนี้ จะไปสลายไขมัน ทำให้ปริมาณไขมันในรำข้าวลดลง และมีกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ดังนั้นไม่ควรเก็บรำข้าวไว้นานเกิน 24 ชั่วโมงก่อนนำไปสกัดน้ำมัน โดยปกติน้ำมันรำข้าวที่สกัดได้ใหม่ๆ จะมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ กรดไขมันอิสระนี้จะมีปริมาณเพิ่มขึ้น 10% ภายใน 1 ชั่วโมง วิธีหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการทำลายเอนไซม์ไลเปสในรำข้าว คือ การให้ความร้อนกับรำข้าวที่อุณหภูมิ 85-100 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง จะทำให้ปริมาณของกรดไขมันอิสระลดลง

น้ำมันรำข้าว (Rice Bran Oil)

เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากรำข้าวดิบ ซึ่งเป็นส่วนที่ได้จากการขัดข้าวกล้องให้เป็นข้าวสาร และเป็นส่วนผสมของรำละเอียดและคัพภะ จึงมีคุณค่าทางอาหารสูง นอกจากนี้ยังสามารถสกัดสารอาหารอื่นที่มีอยู่ในน้ำมันรำดิบ เพื่อใช้เป็นสารเสริมสุขภาพและเครื่องสำอางค์ได้ และจากกรรมวิธีการทำน้ำมันรำข้าว ก็จะได้รำที่สกัดน้ำมันออกแล้ว ซึ่งนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อื่นได้ต่อไป

2.3.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันรำข้าว (ปริมานันท์, 2556)

น้ำมันรำข้าว เป็น ของเหลวสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นคล้ายน้ำมันถั่วเหลือง เป็นส่วนผสมของรำละเอียด และคัพภะน้ำมันรำข้าวดิบ (Crude Rice Bran Oil) ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ ประมาณ 80% ของน้ำมัน น้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบดังนี้ คือ มีกรดโอเลอิก สูงถึง 40-50% รองลงมา คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดลิโนเลอิก 20-42% และกรดปาล์มมิติก 12-18% ตามลำดับ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (15/25 องศาเซลเซียส) 0.913 ~ 0.928 อุณหภูมิต่ำสุดที่เกิดการตกตะกอนเป็นฝ้าที่ 21 องศาเซลเซียส

2.3.3 ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำมันรำข้าว

รำข้าวประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย เถ้า และ lipid 15-22% ในรำข้าวประกอบด้วย 95.6% Sponifiable lipids ได้แก่ glycolipid และ phospholipids และ 4.2% Unsponifiablelipid ได้แก่ Bioactive Phytochemicals เช่น Tocopherols/Tocotrienols (tocols: 1500-2000ppm), และphytosterols (15,000-20,000 ppm)

2.3.4 การสกัดน้ำมันรำข้าว (Amarasinghe et al, 2552)

การสกัดน้ำมันรำข้าวนั้นประกอบด้วยสองขั้นตอนที่สำคัญคือ การทำเสถียรรำข้าวหรือน้ำมันรำข้าวและการสกัดเพื่อแยกเอาน้ำมันรำข้าว การทำเสถียรรำข้าวหรือน้ำมันรำข้าวนั้น เป็นการทำเพื่อหยุดปฏิกิริยาไฮโดรไรซีสของ Triglycerides ไม่ให้เกิดเป็นกรดไขมันอิสระ วิธีการที่ใช้โดยทั่วไปคือการอบแห้งและการใช้ไอน้ำ ส่วนการสกัดเพื่อแยกเอาน้ำมันรำข้าว (Lipid) เพื่อให้ได้ค่าผลผลิตที่สูง มีกรดไขมันอิสระต่ำการ เปลี่ยนแปลงทางเคมีต่ำ มีการเจือปนของไข ซึ่งขั้นตอนการสกัดของน้ำมันรำข้าวนั้นทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การสกัดด้วยตัวทำละลายและการกดอัด ซึ่งวิธีการดั้งเดิมในการสกัดได้แก่การใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ โดยมากใช้เฮกเซนในการสกัดน้ำมันรำข้าว วิธีการนี้จะให้ร้อยละผลผลิตสูง (98%) และปฏิบัติการง่าย แต่ข้อเสียคือน้ำมันที่สกัดได้มีปริมาณกรดไขมันอิสระ (3-5%) ไข (2-4%) และ ยางเหนียว (Phospholipids) (1-2%) สูง มีสีและกลิ่นที่ไม่ดี เฮกเซนที่แยกออกจากน้ำมันที่สกัดได้ มีผลต่อมลภาวะทางอากาศและสุขภาพ นอกจากนี้ยังจะทำให้ Bioactive Phytochemicals ในน้ำมันที่สกัดโดยเฮกเซนจะถูกทำลาย

1. **การสกัดด้วยตัวทำลายน้ำ (Aqueous extraction)**

ได้ทำการสกัดน้ำมันจากรำข้าวในปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) ขนาดห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาผลของวิธีการทำให้เสถียรต่อการสกัดด้วยน้ำพบว่าด้วยการทำให้เสถียรด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที และการสกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ เป็นเวลา 30 นาที ในระหว่างการสกัด ปรับ pH 12 โดยด่างเพื่อ Sponification อัตราส่วนของรำข้าวต่อน้ำคือ 0.5:10 หรือ 2:10 จะได้ปริมาณผลิตผลเป็น 80% และ กรดไขมันอิสระ เป็น 0.01% โดยน้ำหนักของรำข้าวที่ผ่านการทำให้เสถียรจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระคงที่อยู่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการสกัดด้วยวิธีการนี้ คือ มีกรดไขมันอิสระน้อย อุณหภูมิในการสกัดต่ำ ไปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีผลผลิตสูงพอใช้ สามารถปรับใช้กับอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้เนื่องจากสภาวะปฏิบัติไม่รุนแรงและการออกแบบอุปกรณ์ทำได้ไม่ยาก แต่อาจจะมีข้อเสียคือจะใช้เวลานานกว่า และมีปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้น้อยกว่าวิธีการที่ปฏิบัติการ ณ จุดใกล้จุดวิกฤติหรือจุดเหนือจุดวิกฤติ

2. **การสกัดด้วยตัวทำลาย Subcritical water (Subcritical water extraction)**

การสกัดด้วย Subcritical water เป็นวิธีในการสกัดน้ำมัน และ วิธีนี้ยังสามารถทำน้ำมันให้เสถียรไปพร้อมกัน การสกัดและการทำเสถียรของน้ำมันโดยใช้ Subcritical water พบว่าในปฏิกรณ์แบบกะ(Batch reactor) ที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส สกัดเป็นเวลา 10 นาที ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ 94% ปริมาณกรดไขมันอิสระ 11% โดยน้ำหนัก และคงที่อยู่เป็นเวลา 12 สัปดาห์ ข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถสกัดและทำเสถียรน้ำมันได้ในขั้นตอนเดียว ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูง และใช้เวลาในการสกัดสั้น แม้จะใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงกว่าการสกัดด้วยตัวทำลายน้ำ แต่เมื่อเทียบกับปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงกว่า และ เวลาในการสกัดที่สั้นกว่ามาก หากจะเทียบกันแล้ว วิธีการนี้น่าจะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า แต่มีข้อเสียคือมีกรดไขมันในน้ำมันที่สกัดได้มาก ต้องมีการกำจัดออกโดยการทำปฏิกิริยากับสารละลายด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปรแตสเซียมไฮดรอกไซด์

3. **การสกัดด้วย Supercritical carbondioxide extraction**

เป็นวิธีการสกัดน้ำมันรำข้าวที่สามารถได้น้ำมันรำข้าวคุณภาพสูง และ มีปริมาณ Bioactivephytochemicals มาก ซึ่งจากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดนำมันรำข้าวโดยใช้ Supercriticalcarbondioxide ในปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาด Pilotplant เพื่อให้ได้ปริมาณผลผลิตในการสกัด และ Bioactivephytochemicals สูง และลดปริมาณ ไข ยางเหนียว และรงควัตถุลง โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ อุณหภูมิ ความดัน เวลาอัตราการป้อนตัวทำละลาย และชนิดของวัสดุบรรจุ นอกจากนี้ยังศึกษา โดยรวมการสกัดและการทำให้บริสุทธิ์เข้าไว้ด้วยกัน เพื่อปรับปรุงเทคโนโลยีดั้งเดิม ให้มีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือการสกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Balachandran et al, 2551)

วิธีการนี้มีข้อดีคือ ปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูง แต่มีข้อเสียคือมีกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่สกัดได้มาก ต้องเพิ่มขั้นตอนการกำจัดกรดเช่นเดียวกับการสกัดด้วย Subcritical water และมีสภาวะปฏิบัติการที่ความดันสูงและเวลาในการสกัดนาน วิธีการนี้อาจไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก เนื่องจากต้องมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับคาร์บอนไดออกไซด์และการปฏิบัติการที่ความดันสูงมากๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ประโยชน์ของน้ำมันรำข้าว (ฉลวย, 2555)

รำข้าว มีใยอาหารสูง และมีปริมาณไขมันอิ่มตัวต่ำ นิยมนำไปใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพ และมีงานวิจัยที่พบว่าผู้ที่บริโภครำข้าวเป็นประจำ จะลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจและมะเร็งลำไส้ใหญ่ น้ำมันรำข้าวมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวในปริมาณมาก และยังมีสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันหลายชนิด ได้แก่ วิตามินอี (โทโคไตรอีนอล และโทโคเฟอรอล) และออริซานอล ลดการเกิดการแข็งตัวของหลอดเลือดและ ลดการเกิดคอเลสเตอรอล เนื่องจากโทโคไตรอีนอล และออริซานอล ในรำข้าวมีผลในการลดระดับคอเรสเตอรอลโดยตรงเพราะโทโคไตรอีนอลเป็นสารที่ขัดขวางการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในร่างกาย ส่วนออริซานอลเป็นสารที่ลดการดูดซึมของคอเลสเตอรอลจากอาหาร และในรำข้าวมีสารประกอบกลุ่มไฟโตสเตียรอลที่สามารถลดการดูดซึมของคอเลสเตอรอลได้

2.4 กระบวนการห่อหุ้ม (Encapsulation)

กลิ่นและรสชาติเป็นสิ่งที่บอกถึงคุณภาพของอาหารรวมถึงความถูกใจของแต่ละบุคคล โดยกระบวนการกักเก็บกลิ่นรสเป็นเทคโนโลยีในการกักเก็บให้อยู่ภายใต้สารที่จัดตัวกันเป็นร่างแห ซึ่งส่วนใหญ่จะแปรรูปไปอยู่ในอนุภาค เทคโนโลยีในการกักเก็บกลิ่นรสนี้จะช่วยปกป้องผลิตภัณฑ์จากการเกิดปฏิกริยาออกซิเดชันจากออกซิเจน แสง ความร้อนรวมทั้งไม่เกิดการเสื่อมเสียของกลิ่นรสระหว่างการกักเก็บด้วย ทำให้กลิ่นรสถูกเก็บรักษาได้นานขึ้น (เบญจา, 2551)

เอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการที่สาร หรือ ส่วนผสมของสาร ถูกห่อหุ้มด้วยสารชนิดอื่น ซึ่งสารที่ถูกห่อหุ้ม (coated) หรือ ถูกยึดจับไว้ (trapped) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคแข็งหรือก๊าซ ซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น core material หรือ internal phase สารที่นำมาห่อหุ้มเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating ซึ่งสารห่อหุ้มที่ดีควรห่อหุ้มสารแกนกลางได้ง่าย ทำให้สารแกนกลางกระจายตัวได้ดีและได้อิมัลชันที่มีความคงตัว ไม่ทำปฏิกริยากับสารแกนกลาง สามารถห่อหุ้มและกักเก็บสารสำคัญเอาไว้ได้ในระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา สามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่เป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมอาหาร ราคาไม่แพง และสามารถปลดปล่อยสารแกนกลางได้อย่างสมบูรณ์

ปัจจัยที่มีผลต่อความเสถียรของสารที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน (ณัฐวุฒิและคณะ, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) คุณสมบัติทางเคมีของสารแกนกลางได้แก่ โครงสร้างทางเคมี (chemical structure), ความมีขั้ว (polarity) และ ความสามารถในการระเหย (volatility)

2.) คุณสมบัติของสารห่อหุ้มหรือสารห่อหุ้ม

3.) สภาวะที่ใช้ในขั้นตอนการเอนแคปซูเลชัน สารห่อหุ้มที่ใช้ในการเอนแคปซูเลทสารแกนกลางจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารแกนกลาง มีความหนืดต่ำที่ระดับความเข้มข้นสูง ปกป้องสารแกนกลางจากสภาวะแวดล้อม มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความเสถียร และ สามารถควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสและสารสำคัญภายใต้สภาวะและช่วงเวลาที่ต้องการ

2.4.1 วัตถุประสงค์ของกระบวนการห่อหุ้ม

1.) เพื่อป้องกันสารแกนกลาง โดยการลดการทำปฏิกริยากับสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น แสงแดด ความร้อน ความชื้นและอากาศ

2.) ช่วยรักษากลิ่นของสารแกนกลาง

3.) เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน

4.) ช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษา

5.) ควบคุมการปลดปล่อยสารแกนกลาง

6.) ลดการระเหยของของเหลว

7.) เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติพื้นผิวของสารแกนกลาง(ลักษณะทางกายภาพ)

2.4.2 ชนิดของสารห่อหุ้มที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชั่น (จตุพรและคณะ, 2557)

ชนิดของสารห่อหุ้มที่นิยมใช้นำมาใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต เช่น สตาร์ช มอลโตเด็กซ์ตริน และโปรตีน เช่น เวย์โปรตีน เจลาติน เป็นต้น

คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คาร์โบไฮเดรตที่สามารถนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม ได้แก่ กัมอาราบิค, สตาร์ช และมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในเทคนิคกระบวนการห่อหุ้มแบบพ่นฝอยเพื่อใช้ในการห่อหุ้ม และสามารถจับกับสารให้กลิ่นรสได้อย่างสมบูรณ์ ราคาถูก มีการกระจายตัวที่ดี สามารถใช้กับอาหารได้ นอกจากนี้ยังมีสมบัติเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ และสามารถละลายได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัมอาราบิค (Gumarabic)

เป็นกัมต้นอะคาเซีย (acacia) จัดเป็นพอลิแซ็กคาไรด์เชิงซ้อนชนิดหนึ่ง มีสมบัติในการทำให้ทำให้อิมัลชันคงตัว สามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้ดีละลายน้ำได้ดี และเป็นสารที่มีความหนืดต่ำ กัมอะราบิคถูกใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารเช่น อิมัลชันน้ำผิวส้มใช้เป็นสารช่วยคงตัวของฟองเบียร์ ใช้เป็นตัวยับยั้งการเกิดผลึกน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมและเชอร์เบต ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเด็กซ์ตริน กัมอะราบิค เป็นสารห่อหุ้ม และสามารถกักเก็บสารให้กลิ่นรสได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

สตาร์ช (Starch)

คือ พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งที่พบในพืช พืชสร้างสตาร์ช และเก็บสำรองไว้ที่ส่วนต่าง ๆ เช่น รากหัว และเมล็ด เป็นต้น เป็นสารห่อหุ้มในการเอนแคปซูเลตสารให้กลิ่นรสอย่าง เพื่อกักเก็บและปกป้องสารให้กลิ่นรส สตาร์ชที่ผลิตขายในอุตสาหกรรมทั่วไปได้จาก ข้าวโพด ข้าวสาลี ถั่วเขียว เม็ดสตาร์ชมีสมบัติเป็นผลึก ไม่ละลายน้ำเย็น สามารถดูดน้ำได้บ้าง

มอลโตเด็กซ์ตริน (Maltrodextrin)

เป็นสารที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสแป้งข้าวโพดบางส่วนด้วยกรดหรือเอนไซม์ โดยดูจากค่า DE (Dextrose equivalents) ค่า DE ที่ต่างกันจะมีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพที่ต่างกันด้วย เช่น ความสามารถในการละลาย ความหนืด เป็นต้น อย่างไรก็ตามค่า DE ที่เหมือนกันคุณสมบัติอาจไม่เหมือนกันอีกด้วยเพราะขึ้นอยู่กับวิธีการไฮโดรไลซิสแหล่งของสตาร์ช และอัตราส่วนของอะไมเลสต่ออะไมโลเพกติน มักจะผลิตออกมาในรูปแบบผง มีคุณสมบัติที่ไม่ดูดความชื้น โดยเฉพาะค่า DE ต่ำ ๆ ความสามารถในการละลายน้ำของมอลโตเด็กซ์ตรินขึ้นอยู่กับค่า DE และชนิดของอาหารที่นำมาใช้ มอลโตเด็กซ์ตรินถูกใช้อย่างกว้างขวางในการเอนแคบซูเลชัน โดยการอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อกักเก็บกลิ่นและป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เพราะเป็นสารที่ยอมรับที่ดีทั้งด้านราคาและประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นสารที่ไม่มีรสชาติ มีความหนืดต่ำ สามารถละลายในน้ำเย็นได้ดี มักใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวและเป็นสารอิมัลซิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟเออร์ มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE สูงและมีมวลต่ำ ๆ ถูกใช้ในการเพิ่มความหนาแน่น เพื่อการยืดอายุการรักษา แต่ถ้าค่ามวลโมเลกุลต่ำๆ อุณหภูมิทรานซิชัน (glass transition) ก็จะต่ำลงทำให้ผงที่ได้มีความสามารถในการดูดความชื้นมากขึ้น โดยมีรายงานว่า มอลโตเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE10 จะมีความสามารถในการเก็บรักษาที่ดีสุด

โปรตีน (Protein)

โปรตีนเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้มในกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากมีคุณสมบัติทำให้เกิดฟิล์ม ซึ่งสามารถนำมาใช้ในกระบวนการห่อหุ้มได้ดี นอกจากนั้นยังมีคุณสมบัติที่ดี เช่น สามารถละลายได้ในน้ำ ความหนืด และความเป็นอิมัลชัน แต่ยังไม่เป็นที่นิยมเพราะความแตกต่างของกลุ่มเคมีและขั้วของโมเลกุลและการเกิดปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ โดยโปรตีนที่นิยมนำมาใช้เป็นสารห่อหุ้ม คือ เวย์โปรตีนและเจลาติน

เวย์โปรตีน (Whey Protein) เป็นโปรตีนในน้ำนม หน้าที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์มร่วมกับคาร์โบไฮเดรตที่ทำให้เกิดเมกทริซ์ โปรตีนชนิดอื่น ๆ เช่น โปรตีนถั่วเหลือง หรืออนุพันธุ์ของเจลาทินที่มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียรกับสารให้กลิ่นรสเป็นวัสดุที่สามารถละลายน้ำได้ ราคาไม่แพงและสามารถหาได้ง่าย สามารถก่อฟิล์มได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะเฉพาะของสารห่อหุ้มแต่ละชนิดที่ใช้ในกระบวนการห่อหุ้ม

ชนิดของสารห่อหุ้ม	คุณลักษณะเฉพาะ
Maltodextrin (DE20)	Film forming
Corn syrup solid (DE>20)	Film forming
Modified starch	Very good emulsifier
Gum Arabic	Emulsifier, film forming
Modified cellulose	Film forming
Gelatin	Emulsifier, film forming
Cyclodextrin	Encapsulant, emulsifier
Lecithin	Emulsifier
Whey protein	Good emulsifier
Hydrogenated fat	Barrier to oxygen and water

2.4.3 เทคนิคที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques) (จตุพรและคณะ, 2557)

เทคนิคกระบวนการห่อหุ้มที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) และการเอ็กซ์ทรูชัน (Extrusion) และยังมีวิธีอื่นๆอีกเช่น สเปรย์ชิลลิงและคูลลิง (Spray Chilling and Cooling) การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟูลอิดไดส์เบด (Fluidized bed coating) การใช้ไลโปโซมห่อหุ้ม (Liposome Entrapment) และเทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze Drying) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการห่อหุ้มแบ่งเป็น 2 ประเภท

1. กระบวนการห่อหุ้มโดยใช้วิธีการทางเคมี

1) Coacervation กระบวนการห่อหุ้มโดยใช้ปรากฏการณ์การเกิดคอลลอยด์ประกอบด้วยเฟส 3 เฟสที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน ได้แก่เฟสของเหลว (continuous phase) เฟสของสารที่นำมาห่อหุ้ม (core material) และเฟสของสารห่อหุ้ม (coating material phase) การทำให้เกิดการเคลือบผิวกรณีนี้จะเกี่ยวกับการปรับสภาพของ hydrophilic colloids 2 ชนิด ซึ่งมีประจุต่างกันในสภาวะที่ประจุเป็นกลางและเคลือบบนผิวของสารแกนกลาง

กระบวนการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคนี้จะต้องควบคุมการผสมเพื่อทำให้สารห่อหุ้มเคลือบบนผิวของสารแกนกลางอย่างสม่ำเสมอ ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ในการห่อหุ้มกลิ่น วิตามิน สารหอมระเหย ส่วนผสมของอาหารที่ไวต่อสิ่งเร้าและจุลินทรีย์ ปัญหาของเทคนิคนี้คือ กระบวนการค่อนข้างซับซ้อนและค่าใช้จ่ายสูง

2) Co-crystallizationกระบวนการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคนี้เกิดระหว่างการตกผลึกของกลูโคสไซรัปในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด (95-97 องศาบริกซ์) ที่อุณหภูมิสูง (>120°C) โดยการเติมสารให้กลิ่นรสลงไปในระหว่างการเกิดผลึก ทำให้เกิดโครงสร้างผลึกที่มีขนาดเล็กล้อมรอบสารให้กลิ่นรสอยู่ภายในโดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการห่อหุ้มโดยเทคนิคนี้จะมี กลิ่นที่ดี และค่าการดูดความชื้นต่ำ

3) Molecular inclusionเป็นเทคนิคการห่อหุ้มในระดับโมเลกุล วิธีการนี้จะนำไซโคลเด็กซ์ทริน (cyclodextrin) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอนไซม์ไกลโคสิลแทรนซะเฟอเรส (glycosyl-transferase) มาทำปฏิกิริยากับสตาร์ช เปลบี่ยนเป็นโฟลิเมอร์วงแหวน บริเวณตรงกลางของโมเลกุลไซโคลเดกซ์ทรินจะมีลักษณะเป็น hydrophobic ส่วนที่ผิวนอกจะมีลักษณะเป็น hydrophilic เมื่ออยู่ในสารละลายโมเลกุลที่มีขั้วน้อยกว่าจะแทนที่โมเลกุลของน้ำที่อยู่ตรงกลาง สารประกอบที่เกิดขึ้นจะละลายได้น้อยและตกตะกอนแยกตัวออกมา เทคนิคนี้ใช้ห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสที่ไม่เสถียร ปัจจัยที่มีผลต่อเทคนิคนี้ได้แก่ น้ำหนักรูปร่างของโมเลกุล คุณสมบัติทางเคมี ความมีขั้ว และความสามารถในการระเหยของสารแกนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) การใช้ไลโปโซมในการห่อหุ้ม (Liposome Entrapment) วิธีนี้ใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตยา โดยจะใช้เป็นตัวส่งวัคซีน ฮอร์โมน เอนไซม์ หรือวิตามิน เข้าไปในร่างกาย ปัจจุบันได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ไลโปโซมประกอบด้วยเฟสที่เป็นน้ำ ล้อมรอบโดยเมมเบรนที่ประกอบด้วยฟอสโฟลิปิด (phospholipids-base membrane) เมื่อฟอสโฟลิปิดกระจายตัวอยู่ในเฟสที่เป็นน้ำ จะเกิดการรวมตัวเป็นไลโปโซมโดยอัตโนมัติ ไลโปโซมสามารถใช้ในการห่อหุ้มสารที่ละลายได้ในน้ำหรือไขมันไว้ภายใน สารให้กลิ่นรสจะถูกห่อหุ้มในภายหลัง

ข้อดีของเทคนิคนี้คือ ความคงตัวของไลโปโซมที่ใช้งานในสภาวะที่มีวอเตอร์แอคติวิตี้สูง ปัญหาของวิธีนี้คือ ไมโครเอนแคปซูเลชั่นที่ได้ต้องเก็บรักษาในสารละลายที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นอุปสรรคในการผลิตขนาดใหญ่ และการจัดเก็บขนส่ง

2. กระบวนการห่อหุ้มโดยใช้เครื่องมือ (Mechanical processes)

1) เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying technique)

การอบแห้งพ่นฝอยเป็นเทคนิคการห่อหุ้มที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตสารให้กลิ่นรส เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่หาได้ง่าย และต้นทุนการผลิตในวิธีนี้จะต่ำกว่าวิธีอื่น โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นลักษณะแบบไมโครแคปซูล ขั้นตอนการห่อหุ้มโดยใช้การอบแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วย การนำตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบ (Carrier หรือ wall material) เช่น สตาร์ชดัดแปลง (modified starch), มอลโตเด็กซ์ตริน (maltodextrin), กัมหรือส่วนผสมของสารข้างต้นมาละลายน้ำและผสมเข้ากับสารที่ต้องการห่อหุ้ม อัตราส่วนระหว่างสารห่อหุ้มและสารแกนกลางโดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 4:1 จากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ (homogenize) จากนั้นทำการป้อนสารผสมเข้าไปยังเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยตัวอย่างจะถูกพ่นเป็นละอองฝอยผ่านหัวฉีด (nozzle หรือ spinning wheel) โดยภายในห้องอบแห้งจะมีกระแสอากาศร้อนเคลื่อนที่ขนานหรือสวนทางกับผลิตภัณฑ์ เมื่อกระแสของอากาศร้อนสัมผัสกับละอองของของเหลวจะทำให้น้ำระเหยออกไป จากนั้นอนุภาคของผลิตภัณฑ์และกระแสของอากาศร้อนจะเคลื่อนที่ไปยังไซโคลนซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้แยกผลิตภัณฑ์ออกจากกระแสลมร้อน

ข้อดีของการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย

- ต้นทุนการผลิตต่ำ
- เครื่องมือหาได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถปกป้องสารแกนกลางได้เป็นอย่างดี และสามารถเลือกใช้ตัวกลางในการเคลือบได้หลายชนิด

2) การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด (Fluidized bed coating หรือ Air suspension coating)

เทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวอนุภาคของแข็งโดยอนุภาคที่จะต้องการเคลือบผิวจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระแสอากาศที่เคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่ภายในห้องอบแห้งด้วยความเร็วสูงในขณะเดียวกันตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบจะถูกป้อนผ่านหัวฉีดและพ่นเป็นละอองฝอยเข้าสู่กระแสของอนุภาค (particle stream) และเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาค โดยความหนาของสารห่อหุ้มผิวสามารถควบคุมได้ด้วยการควบคุมระยะเวลาที่อนุภาคเคลื่อนที่อยู่ในห้องอบแห้ง

การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบดประกอบไปด้วยขั้นตอนในการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน คือ อนุภาคที่ต้องการเคลือบจะถูกทำให้ลอยตัว (Fluidize) อยู่ในกระแสอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง สารห่อหุ้มจะถูกพ่นฝอยผ่านหัวฉีดไปยังอนุภาคที่ต้องการเคลือบซึ่งจะทำให้เกิดฟิล์มรอบ ๆ อนุภาค หยดเล็ก ๆ ของสารห่อหุ้มจะกระจายและสะสมอยู่บนผิวของอนุภาคจากนั้นตัวทำละลายหรือส่วนผสมของตัวทำละลายจะระเหยออกจากผิวของอนุภาคโดยอากาศร้อนโดยมีสารห่อหุ้มเคลือบอยู่บนผิวของอนุภาค

3) เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying)

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบแช่เยือกแข็งนั้น การห่อหุ้มจะเกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการแช่เยือกแข็งโดยขณะที่สารละลายเปลี่ยนสถานะเป็นผลึกน้ำแข็งนั้น สาระละลายในส่วนที่เป็นน้ำยังไม่แข็งตัว (non-frozen solution) จะมีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งจะช่วยชะลอการแพร่ของสารให้กลิ่นรส เมื่อปริมาณผลึกเพิ่มมากขึ้นสารละลายที่มีสารให้กลิ่นรสละลายอยู่จะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวดและเริ่มตกผลึกโดยจับสารให้กลิ่นรสไว้ภายในผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูป amorphous solid

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคอบแห้งแบบแช่เยือกแข็ง มีต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง เนื่องจากค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้ค่อนข้างสูง รวมถึงระยะเวลาการผลิตจะนานกว่าการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) สเปรย์ชิลลิง (Spray chilling) และ สเปรย์คูลลิง (Spray cooling)

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคสเปรย์ชิลลิง และสเปรย์คูลลิ่ง นั้นมีลักษณะคล้ายกันโดยที่สารแกนกลางจะกระจายตัวอยู่ในสารละลายที่ใช้ในการเคลือบ จากนั้นทำการป้อนสารผสมที่ได้ผ่านหัวฉีด (atomizer) เพื่อทำให้เป็นละอองฝอย เทคนิคนี้ต่างจากการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่ไม่มีการระเหยน้ำโดยสารผสมระหว่างสารแกนกลางและสารห่อหุ้มจะถูกฉีดพ่นไปยังอากาศเย็น (cooling or chilling air) ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้สารห่อหุ้มเกิดการแข็งตัวรอบๆผิวของสารแกนกลาง

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคสเปรย์ชิลลิ่ง สารที่ใช้ในการเคลือบจะเป็นสารพวก Fractioned หรือ hydrogenate vegetable oil ซึ่งมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 32–34 องศาเซลเซียส ในขณะที่เทคนิคสเปรย์คูลลิง สารที่ใช้เคลือบจะเป็นพวกน้ำมันพืช (vegetable oil) หรือสารชนิดอื่นที่มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 45-122 องศาเซลเซียส

ดังนั้นเทคนิคการเปรย์ชิลลิง และสเปรย์คูลลิง จึงต่างกันที่ จุดหลอมเหลวของสารที่ใช้ในการเคลือบ โดยทั้งสองเทคนิคจะนิยมใช้ในการห่อหุ้มสารที่มีกลิ่นรส วิตามิน เกลือแร่ (mineral) เนื่องจากสามารถกำหนดจุดหลอมเหลวของสารห่อหุ้มทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อย (control release) สารแกนกลางได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการห่อหุ้มโดยวิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบ (bakery product), ซุปผง (dry soup mixes) และผลิตภัณฑ์มีส่วนผสมของไขมันสูง

5) เอกซ์ทรูชั่น (Extrusion)

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชั่นสามารถใช้ในการห่อหุ้มสารให้กลิ่นรสที่ระเหยได้ง่ายเช่น น้ำมะนาว (citrus oils) วิตามินซีและสีผสมอาหารเป็นต้น โดยสารที่เคลือบจะอยู่ในรูปของมวลคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว ข้อดีของการห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชั่นคือ สามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสให้มีความเสถียรต่อปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ เนื่องจากคาร์โบไฮเดรตเมทริกซ์ (Carbohydrate matrices) ใน glassy state จะมีคุณสมบัติในการเป็น barrier ที่ดี

การห่อหุ้มโดยใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชั่นจะเกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของสารให้กลิ่นรสในมวลคาร์โบไฮเดรตที่หลอมเหลว โดยย่านผสมจะถูกบังคับให้เคลื่อนผ่านหัวไดล์ (Die) ไปยังของเหลวซึ่งใช้ในการดึงน้ำออก (dehydrating liquid) ซึ่งจะทำให้สารห่อหุ้มเกิดการแข็งตัวและจับสารแกนกลางไว้ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวที่ใช้ในการดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ได้แก่ isopropyl alcohol ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้น ซึ่งมีความแข็ง (harden material) ซึ่งต้องนำไปผ่านขั้นตอนการทำให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆและทำให้แห้ง

การใช้เทคนิคการเอกซ์ทรูชั่นจะเป็นกระบวนการห่อหุ้มอย่างแท้จริง (true encapsulation) เนื่องจากสารแกนกลางจะถูกล้อมรอบด้วยตัวกลางที่ใช้เคลือบอย่างสมบูรณ์และเมื่อสัมผัสกับของเหลวที่ทำหน้าที่ดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ตัวกลางที่ใช้ในการเคลือบผิวจะแข็งตัวทำให้สารให้กลิ่นรสที่ติดอยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์นั้นถูกกำจัดออกไปจนหมด การห่อหุ้มจึงเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ทำให้สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้เป็นระยะเวลานาน (excellent shelf life) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเทคนิคนี้จะมีอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถเห็นได้ในลักษณะเป็นชิ้น (flavor pieces) ปัญหาของการใช้เอ็กซ์ทรูชั่น คือ ไมโครแคปซูลที่ได้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ขนาดประมาณ 500-100 มิลลิเมตร ซึ่งไม่สามารถใช้ได้ในอุตสาหกรรมอาหารที่ต้องการเนื้อสัมผัสที่ละเอียด

2.4.4 Glass transition

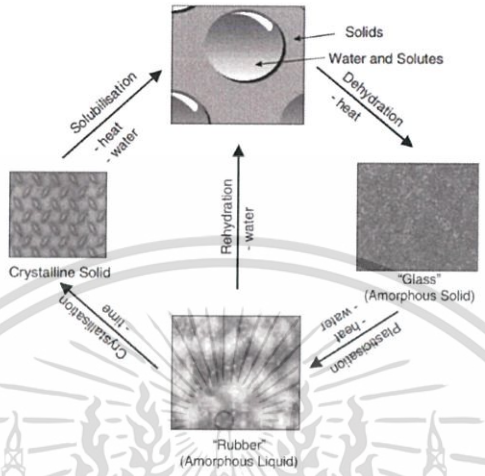
การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะลำดับที่สอง (Second-order Transition) ของวัสดุ ซึ่งพบได้ในวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานหรือกึ่งผลึก (Amorphous or Semi-crystalline Material) เช่น สารโพลีเมอร์ นมผง น้ำ ตาล แป้ง เป็นต้น โดยเมื่อวัสดุมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่เรียกว่า อุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานซิชัน (Glass Transition Temperature) ส่วนที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานในวัสดุจะเปลี่ยนสถานะจากสถานะคล้ายแก้ว (Solid-like Glassy State) ซึ่งมีลักษณะแข็งเปราะ มีโครงสร้างจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ แต่เป็นระเบียบน้อยกว่าของแข็ง กลายเป็นสถานะคล้ายยาง (Liquid-like Rubbery State) ซึ่งมีลักษณะเหนียวหนืบ โครงสร้างจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ โดยโครงสร้างจะไม่เป็นระเบียบน้อยกว่าของเหลว

Glass transition temperature

อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วเป็นลักษณะคุณสมบัติของวัสดุอสัณฐาน โดยที่อุณหภูมิในการเกิดสถานะคล้ายแก้วนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของวัสดุ น้ำ หนักโมเลกุลของวัสดุ ความชื้นของวัสดุ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดบริเวณที่เป็นผลึก หรืออสัณฐานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเป็นการทำของเหลวให้เป็นละอองฝอย โดยภายหลังการระเหยน้ำออกจะเป็นของแข็งเกิดขึ้นภายในห้องอบแห้ง สอดคล้องตามหลักการดังรูป



รูปที่ 2.4 การเกิดโครงสร้างอสัณฐานและความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาสมดุลและไม่สมดุล

ตารางที่ 2.2 อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วภายในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

Material (moisture free)	Glass transition temperature (°C)	Constant (k_g)
Fructose	5	3.18
Glucose	31	4.07
Galactose	32	
Skim milk with hydrolyzed lactose	49	8.00
Sucrose	62	
Maltose	87	
Low-fat milk (10.7% fat)	88	
Skim milk (0% fat)	92	
Whole milk (32.4% fat)	92	
Amorphous lactose	97	6.70
Medium-fat milk (18.6% fat)	98	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 36)	100	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 25)	121	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 20)	141	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 10)	160	
Maltodextrins (Dextrose Equivalent 5)	188	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 โฮโมจีไนเซชัน (Homogenization) (ณัฐวุฒิและคณะ, 2551)

การทำให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน คือ การผสมสารอย่างน้อย 2 ชนิด ให้มีขนาดของโมเลกุลเท่ากัน หรือมีขนาดใกล้เคียงกันมากที่สุด หรือกล่าวได้ว่า การทำให้เป็นเนื้อเดียวกันก็คือ การลดขนาดของวัตถุให้มีขนาดเล็กที่สุดก็ได้ เทคนิคการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมีหลายอย่าง เริ่มตั้งแต่วิธีการขั้นพื้นฐาน อย่างเช่น การตัด การหั่น การบด การปั่น การโม่และการกวน จนกระทั่งเทคนิคการใช้คลื่นอัลตร้าโซนิค ซึ่งเป็นคลื่นเสียงความถี่สูง เพื่งเร่งทำให้โมเลกุลขนาดใหญ่แตกจนมีขนาดเล็กลง สำหรับในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์แล้ว เครื่องมือที่ใช้ผสมตัวอย่างให้เป็นเนื้อเดียวกัน คือ เครื่อง Homogenizer และนอกจากเครื่องมือนี้จะใช้ผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวแล้วยังสามารถใช้เพื่อแตกเซลล์ได้อีกด้วย

Homogenizer หรือ เครื่องผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับก่อกำเนิดความเร็วสูงและแรงเฉือนสูง เพื่อลดขนาดวัตถุให้มีขนาดอนุภาคเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยการปั่น การตัด และผสมที่ความเร็วสูง เครื่อง Homogenizer สามารถใช้ได้กับตัวอย่างวัตถุหลายชนิด โดยจะใช้งานได้ดีกับผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นหรือปริมาณไขมันสูง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานหลายด้านทั้งงานด้านอาหาร งานในด้านอาหารมักใช้กับนม อาหารสำหรับเด็กอ่อน น้ำผลไม้ และผลิตภัณฑ์ประเภทซอสปรุงรสต่างๆ ด้านยา ใช้ในการเตรียมตัวอย่างยา งานวิจัยทางชีวภาพและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น การบดและการโม่กระดาษ การผสมตัวอย่างและใช้ผสมผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เป็นต้น นอกจากนี้ ยังนิยมใช้เครื่อง Homogenizer ในการแตกเซลล์ เพื่อนำตัวอย่างสารหรือองค์ประกอบภายในเซลล์ไปวิเคราะห์ด้วย

2.5.1 ทฤษฎีของโฮโมจีไนเซชัน (รุ่งนภา, 2547)

หลักการ คือ การให้ของไหลไหลผ่านช่องแคบที่บางมากด้วยความดันสูงและความเร็วสูง ทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยส่วนใหญ่เป็นผลมาจากแรงเฉือนระหว่างผิวหน้าต่างๆ ของวาล์ว ขณะที่ผลิตภัณฑ์ไหลผ่านช่องเล็กๆด้วยความเร็วสูง สำหรับขนาดอนุภาคของผลิตภัณฑ์จะเป็นผลมาจากความแตกต่างของความเร็วของอนุภาคในแต่ละจุด ซึ่งมีความเร็วไม่เท่ากัน โดยความแตกต่างของความเร็วนี้ทำให้ของแข็งมีการบดซึ่งกันและกันด้วยแรงเฉือน จึงทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการแตกหรือปรากฏการณ์การทำให้อนุภาคแตกตัว (Disruption Phenomena) ขณะที่อนุภาคที่แขวนลอยหรือหยดของเหลวที่เป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง ผ่านบริเวณที่ทำให้แตก กลไกการแตกต่างๆ อาจเกิดขึ้น ดังนี้

1. กลไกการเฉือนในการไหลแบบลามินาร์และเทอร์บูเลนท์

การไหลทุกชนิด เช่น การไหลที่เกี่ยวข้องกับความเสียดทาน ก่อให้เกิดแรงเฉือน (shearing stress) ต่ออนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในกระแส ในการไหลแบบลามินาร์ ความเครียดเหล่านี้เป็นสิ่งปกติและมีลักษณะหนืด แต่ในการไหลแบบเทอร์บูเลนท์ ความเครียดดังกล่าว เป็นสิ่งที่ไม่ปกติ ได้มรการพิสูจน์ด้วยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์พบว่า เทอร์บูเลนท์เป็นกลไกที่สำคัญที่สุดที่ทำให้เกิดการแตกตัวขึ้น

2. คาวิเตชัน

เมื่อความดันในระบบถูกลดลงต่ำกว่าความดันไอของของเหลว จะเกิดฟองของไอ (vapor bubbles) ซึ่งฟองของไอเหล่านี้จะแตก (collapse) ในบริเวณที่มีความดัน ณ ตำแหน่งใกล้เคียงที่สูงกว่า ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า คาวิเตชัน โดยการใช้ความดันประมาณ 5×10^6 ถึง 5×10^7 Pa ในวาล์วของการโฮโมจีไนเซชันความดันสูง คาวิเตชันจะเกิดขึ้นเสมอ ซึ่งพิสูจน์ได้จากการเสื่อมเสียของผิวของวาล์วของการโฮโมจีไนเซชัน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากคาวิเตชัน การมีคาวิเตชันมีผลทำให้การแตกมากขึ้น เมื่อพลังงานที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากัน และทำให้กระบวนการโฮโมจีไนเซชันมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.5.2 ประเภทและหลักการทำงานของ Homogenizer (ณัฐวุฒิและคณะ, 2551)

Homogenizer สามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการทำงานได้ 3 แบบ คือ

1. Rotor-Stator Homogenizer : โรเตอร์หรือสเตเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดแรงเฉือนสูง ทำให้สามารถลดขนาดของวัตถุได้ดี โดยแรงเฉือนนี้เกิดจากใบมีดที่วางเรียงตัวเป็นแถวโดยรอบบริเวณปลายด้ามผสม ใบมีดเหล่านี้จะเฉือนวัสดุทุกชนิดที่เข้ามาใน Stator Tip เมื่อโรเตอร์หมุนวัตถุตัวอย่างจะถูกดูดและหมุนเหวี่ยงผ่านออกมาทางช่องสเตเตอร์ โดยทั่วไปแล้วจะใช้เวลาสำหรับผสมตัวอย่างประมาณ 20-60 วินาที จึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทำงานของ โรเตอร์ – สเตเตอร์

โดยทั่วไปแล้ว Rotor-Stator Homogenizer ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการนั้นจะมีส่วนขับเคลื่อนอยู่ด้านบน ซึ่งมีมอเตอร์ที่หมุนด้วยความเร็วสูงประมาณ 8,000 – 60,000 rpm อยู่ด้านใน ขนาดของหัวโรเตอร์ – สเตเตอร์ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดปริมาตรของตัวอย่าง ซึ่งโดยส่วนมากจะใช้กับตัวอย่างที่มีปริมาตรตั้งแต่ 0.5 – 50 มิลลิลิตร หรืออาจได้มากสูงสุดถึง 10 ลิตร ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่อง โดยขนาดของทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์นั้นต้องสัมพันธ์กันอยู่ในระดับที่เหมาะสม สเตเตอร์ไม่ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่าโรเตอร์จนเกินไป เพราะอาจจะทำให้ช่องว่างระหว่างโรเตอร์ – สเตเตอร์นั้นมากเกินไป ซึ่งไม่สามารถผสมตัวอย่างได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอได้ และไม่ควรอยู่ชิดกันมากเกินไปเพราะอาจทำให้เกิดความร้อนสูงบริเวณหัวปั่น โดยอัตราส่วนระหว่างโรเตอร์ : สเตเตอร์ โดยทั่วไปอยู่ที่ 1 : 1.5

ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันนั้น ตัวอย่างวัตถุจะต้องมีขนาดเล็กพอที่จะเข้าไปอยู่ภายในช่องบริเวณหัวของสเตเตอร์ได้ ถ้าตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่เกินไปอาจจะต้องตัด หั่น หรือบด ให้เป็นชิ้นเล็กๆก่อนจึงจะนำเข้าสู่กระบวนการได้

2. Ultrasonic Homogenizer : Homogenizer ชนิดนี้ทำงานโดยการสร้างคลื่นความดันในตัวอย่างของเหลว เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม คลื่นความดันนี้จะเป็นผลให้เกิดการสร้างฟองอากาศขนาดเล็กจำนวนมากและระเบิดออกมาอย่างรุนแรง เกิดเป็นภาวะโพรงอากาศ (Cavitation) การระเบิดจะทำให้เกิดคลื่นกระแทก (Shock Wave) หรือเกิดเป็นคลื่นอัลตร้าโซนิค ซึ่งมีพลังงานมากพอที่จะทำให้ตัวอย่างในของเหลวเกิดการแตกกระจายเป็นชิ้นเล็กๆได้ คลื่นอัลตร้าโซนิคที่เกิดขึ้นนี้จะอยู่ในช่วงความถี่ 18 – 30 กิโลเฮิร์ต ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่หูมนุษย์ไม่สามารถได้ยิน และทำให้เกิดแรงดันได้มากกว่า 500 บรรยากาศและอุณหภูมิมากกว่า 5,000 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปแล้ว เครื่องมือที่ใช้กำเนิดคลื่นอัลตร้าโซนิคทุกชนิด จะมีโครงสร้างการทำงานพื้นฐานคล้ายๆกัน แต่อาจมีข้อแตกต่างกันเล็กน้อยตามความเหมาะสมของการนำไปใช้งาน ปริมาตรของตัวอย่าง และข้อจำกัดของพื้นที่การทำงาน

สำหรับเครื่อง Homogenizer แบบอัลตร้าโซนิค จะมี Piezoelectric Transducer เป็นตัวเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลและเกิดการสั่น ส่งผ่านลงสู่ของเหลวโดย Probe ที่จุ่มอยู่ในของเหลว แล้วจึงเกิดเป็นคลื่นอัลตร้าโซนิค เพื่อใช้สำหรับลดขนาดให้วัตถุกลายเป็นเนื้อเดียวในที่สุด

3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Piston Pump Homogenizer : เครื่อง Homogenizer ชนิดนี้เป็นเครื่องมือที่ใช้แรงอัดตัวอย่างผ่านช่องหรือท่อขนาดเล็ก หรือช่องวงกลม (Annular Gap) โดยการทำงานของปั๊มลูกสูบ เมื่อตัวอย่างของเหลวถูกอัดผ่านท่อด้วยความเร็วสูง จะทำให้เกิดแรงอัดปริมาณมากดันตัวอย่างของเหลวผ่านช่องขนาดเล็กทำให้ตัวอย่างไหลทะลักออกมาทางช่องนั้น จนทำให้ตัวอย่างมีอนุภาคขนาดเล็กลงและเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น Homogenizer ชนิดนี้มักใช้กับตัวอย่างที่เป็นของเหลวหรือตัวอย่างที่มีของแข็งปริมาณน้อย และมักใช้ในระบบโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมนม ใช้สำหับผสมน้ำนมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2.5.3 การนำ Homogenizer ไปใช้ประโยชน์ในระดับโรงงานอุตสาหกรรม

Homogenizer ถูกนำไปใช้ในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันกับผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่

1. อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท ครีม ยาสีฟัน ยาย้อมผม และอุปกรณ์อาบน้ำต่างๆ
2. อุตสาหกรรมยา ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท ยาน้ำ ยาขี้ผึ้ง ยาเคลือบ และโลชั่น
3. อุตสาหกรรมอาหาร ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท มายองเนส มัสตาร์ด และสารแต่งกลิ่นต่างๆ
4. อุตสาหกรรมการเคลือบ ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภท สี หมึก ขี้ผึ้ง (wax) แอสฟัลต์ (น้ำมันดินสำหรับเคลือบถนน) แลกเกอร์ และเรซิน
5. อุตสาหกรรมสิ่งยึดติด ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทเรซินเชื่อมวัตถุ (Epoxy) โพลียูริเทน และซิลิกอน และอุตสาหกรรมเคมี ใช้กับผลิตภัณฑ์ประเภทพลาสติก และยาง

2.5.4 การแตกเซลล์

เซลล์เป็นหน่วยย่อยที่สุดของสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีองค์ประกอบหลักคือ ผนังเซลล์, เยื่อหุ้มเซลล์, ไซโตพลาสซึม, นิวเคลียส และออร์แกเนลอื่นๆ ภายในไซโตพลาสซึม มีองค์ประกอบหลายอย่าง ได้แก่ กรดนิวคลีอิก, โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน, เอนไซม์, เม็ดสี และน้ำ ในการที่จะแยกองค์ประกอบต่างๆ ของเวลล์ออกมาศึกษานั้น จำเป็นต้องทำลายผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ออกก่อน ในบางครั้งเซลล์อาจจะหลั่งสารที่ต้องการศึกษาออกมาได้ แต่ส่วนใหญ่แล้ว เซลล์ต้องถูกทำให้แตกก่อนเพื่อให้ส่วนประกอบภายในเซลล์หลุดออกมา การแตกเซลล์เป็นขั้นตอนที่สำคัญและต้องระวังเป็นพิเศษ กระบวนการทำต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวดเร็วและนุ่มนวล เพื่อไม่ทำให้องค์ประกอบภายในเซลล์ที่หลุดออกมาเสียหาย และยังมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีครบถ้วน เครื่อง Homogenizer ประเภทที่นิยมใช้กับการแตกเซลล์ คือ เครื่อง Homogenizer ชนิด Ultrasonic เพราะสามาถให้กำเนิดแรงเฉือน จากคลื่นความถี่สูงได้ โดยที่ไม่ทำลายองค์ประกอบอื่นของเซลล์ โดยเซลล์แต่ละชนิดจะใช้คลื่นความถี่สูงต่างกันในการแตกเซลล์ หรือใช้เครื่อง Homogenizer ที่มีหัวปั่นเป็นแก้วโบโรซิลิเกตก็ได้

2.6 อิมัลชัน (Emulsion) (รุ่งนภา, 2547)

อิมัลชันของของเหลว – ของเหลว มี 2 ชนิด คือ น้ำมันในน้ำ (o/w) เช่น นม และ น้ำในน้ำมัน (w/o) เช่น มาร์การีน อิมัลชันเหล่านี้ค่อนข้างจะเป็นอิมัลชันแบบง่ายๆ ส่วนอิมัลชันที่ซับซ้อนขึ้นมักพบในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ไอศครีม ไส้กรอก และเค้ก

ในอิมัลชันของของเหลวส่วนใหญ่ แม้ว่าของเหลว 2 ชนิด ที่มาผสมกันคือ น้ำและน้ำมัน แต่ระบบที่น้ำบริสุทธิ์และน้ำมันบริสุทธิ์มาผสมกันมีน้อย เช่น เฟสของน้ำอาจประกอบด้วยสารละลายเกลือ น้ำตาล และสารอินทรีย์หรือสารคอลลอยด์ต่างๆ (สารประกอบไฮโดรฟิลิค) ส่วนเฟสของน้ำมันอาจประกอบด้วยน้ำมัน ไฮโดรคาร์บอน ไข เรซิน และสารอื่นๆ ที่คล้ายน้ำมัน (สารประกอบไฮโดรโฟบิค) นอกจากนี้ อาจมีสารตัวที่ 3 เรียกว่าสาร อิมัลไฟอิ้ง (emulsifying agent) ร่วมอยู่ด้วยเพื่อทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น สารอิมัลซิไฟอิ้งอาจมีอยู่ในอาหารเองหรือเติมเข้าไปในระหว่างกระบวนการแปรรูป

เมื่อน้ำและน้ำมันผสมกัน จะเกิดอิมัลชันได้ 2 ชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายตัวและปริมาณของสารทั้ง 2 ชนิด เช่น ถ้าน้ำมันเป็นเฟสที่กระจายหรือเป็นเฟสไม่ต่อเนื่อง จะเกิดอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (o/w) หรือถ้าน้ำเป็นเฟสไม่ต่อเนื่อง จะเกิดอิมัลชันชนิดน้ำน้ำในน้ำมัน (w/o) ซึ่งอิมัลชันที่เกิดขึ้นมีกจะแสดงคุณสมบัติส่วนใหญ่ของของเหลวที่เป็นเฟสต่อเนื่อง เช่น อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ อาจทำให้เจือจางด้วยน้ำ ทำให้เกิดสีได้ด้วยสีที่ละลายน้ำและแสดงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่สอดคล้องกับเฟสของน้ำ (aqueous phase) ในทางตรงกันข้าม อิมัลชันของน้ำในน้ำมันก็สามารถทำให้เจือจางด้วยน้ำมัน ทำให้เกิดสีด้วยสีที่ละลายได้ในน้ำมันและมีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ อิมัลชัน 2 ชนิด ที่มีองค์ประกอบคล้ายกันจะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันอย่างมากขึ้นกับว่าน้ำหรือน้ำมันเป็นเฟสต่อเนื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อชนิดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมัลชันที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำและน้ำมันผสมกัน ได้แก่ ชนิดของสารอิมัล-ซิไฟอิ้ง สัดส่วนของเฟสทั้งสอง และวิธีการเตรียมอิมัลชัน

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของอิมัลชัน ได้แก่

1. ชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์
2. ขนาดของอนุภาคในเฟสกระจาย
3. แรงตึงผิวที่มีต่อผิวของอนุภาคในเฟสกระจาย
4. ความหนืดของเฟสต่อเนื่อง
5. ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของเฟสต่อเนื่องและเฟสกระจาย

2.6.1 แรงตึงผิว (interfacial tension) (วิไล, 2546)

ความตึงผิวระหว่างเฟสต่อเนื่องและเฟสกระจายยิ่งสูงเท่าไหร่ก็จะยิ่งทำให้เกิดอิมัลชันที่มีความคงตัวได้ยากมากขึ้นเท่านั้น สารอิมัลซิไฟเออร์ที่เติมหรือที่มีอยู่ในอาหารจะสร้างมิเซลล์ (micelle) อยู่รอบๆ อนุภาคของเฟส กระจายทำให้ช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสและยังช่วยป้องกันอนุภาคเล็กๆ เหล่านี้ไม่ให้รวมตัวกันด้วย การบีบอัดและเฉือนอย่างรุนแรงด้วยพลังงานที่ได้จากเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ทำให้อนุภาคเหล่านี้มีขนาดเล็กลง สารอิมัลซิไฟเออร์จึงเป็นสารที่ช่วยลดพลังงานที่ต้องใช้ในการทำอิมัลชัน โดยทั่วไปอนุภาคที่กระจายอยู่ในอาหารอิมัลชัน ส่วนใหญ่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์อยู่ระหว่าง 0.1 – 10 ไมโครเมตร

2.6.2 สารอิมัลซิไฟอิ้ง (emulsifying agents) (รุ่งนภา, 2547 และ วิไล, 2546)

สารอิมัลซิไฟเออร์ทำหน้าที่ 2 ชนิด ในการทำให้เกิดอิมัลชัน (อิมัลซิฟิเคชัน) คือ ช่วยลดแรงตึงระหว่างผิวหน้าของของเหลวต่างๆ ที่จะเกิดเป็นอิมัลชัน และป้องกันการรวมตัวของอนุภาคต่างๆ ของเฟสที่ไม่ต่อเนื่อง ในอิมัลชันที่เกิดขึ้นแล้ว สารที่ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์มีอยู่เป็นจำนวนมากและมีคุณสมบัติแตกต่างกัน อิมัลชันที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ได้แก่ เอสเทอร์ของกลีเซอรอล โพรพีลีนไกลคอล เซลลูโลสอีเทอร์ คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลส และอื่นๆ ส่วนของแข็ง ได้แก่ เบนโตไนท์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมัลซิไฟเออร์ แบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบมีขั้วและแบบไม่มีขั้ว สำหรับสารที่มีขั้วเป็นองค์ประกอบหลักจะยึดเกี่ยวกับน้ำและทำให้เกิดอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำและอิมัลซิไฟเออร์แบบไม่มีขั้วจะดูดซับกับน้ำมันทำให้เกิดอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน อิมัลซิไฟเออร์มีความแตกต่างกันตามค่าสมดุลระหว่างหมู่ชอบน้ำ (hydrophile) และหมู่ชอบน้ำมันหรือหมู่ไม่ชอบน้ำ (lipophile) ที่เรียกว่า HLB (Hydrophile – lipophile Balance) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณหมู่ที่ชอบน้ำต่อหมู่ที่ไม่ชอบน้ำบนโมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์ ค่า HLB บอกความเหมาะสมในการใช้อิมัลซิไฟเออร์ชนิดนั้น ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการใช้อิมัลซิไฟเออร์ในระบบ o/w แบบง่ายๆ หรือเป็ยข้อมูลเบื้องต้นสำหรับระบบอิมัลชันที่มีความซับซ้อนมากขึ้น เช่น ระบบอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน

สารอิมัลซิไฟเออร์ควรจะระบุในรูปชนิดของอิมัลชันที่เกิด ถ้าใช้ในอาหาร สารอิมัลซิไฟเออร์ควรจะไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีสี และต้องไม่เป็นพิษ ในหลายประเทศก็มีการควบคุมการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ในอาหาร สารอิมัลซิไฟเออร์ควรมีความคงตัวทั้งทางเคมีและทางกายภาพภายใต้สภาวะต่างๆของการแปรรูป การจัดการและการเก็บ และควรมีราคาถูก

สารให้ความคงตัว (stabilizer) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ประเภทโพลิแซคคาไรด์ซึ่งจะละลายในน้ำเพื่อให้สารละลายเหนียวหนืดหรือเป็นเจล การเพิ่มความหนืดและปฏิกิริยาที่สลับซับซ้อนระหว่างอนุภาคของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ ทำให้เกิดร่างแห 3 มิติ ซึ่งจะทำให้อิมัลชันมีความคงตัวและป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคเล็กๆ เหล่านี้ สำหรับอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมันนั้น จะมีเพียงเซลลูโลสซึ่งเป็นผนึกเล็กๆ และผงเซลลูโลสเท่านั้นที่สามารถทำให้อิมัลชันแบบนี้มีความคงตัวได้

2.6.3 หลักการทั่วไปในการทำให้เกิดอิมัลชัน (วิไล, 2546)

การเกิดอิมัลชัน จะต้องมีงานมากระทำต่อระบบเพื่อให้ชนะความต้านทานที่ก่อให้เกิดผิวร่วมระหว่างเฟสขึ้นมาใหม่ ในทางทฤษฎี งานของการทำให้เกิดอิมัลชันเทียบเท่ากับผลคูณของผิวที่เกิดขึ้นใหม่กับแรงตึงระหว่างผิวหน้า นอกจากนี้ พลังงานที่ต้องใช้ยังรวมถึงพลังงานที่ให้ของเหลวเคลื่อนที่ (in motion) และชนะความต้านทานอันเนื่องมาจากแรงเสียดทานที่พื้นผิวของเครื่องมือ โดยทั่วไป งานที่กับของเหลวกระทำได้โดยการกวนอย่างแรง ชนิดของการกวนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอิมัลซิฟิเคชันคือ ชนิดที่ทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ของเฟสไม่ต่อเนื่องได้รับแรงเฉือน ในลักษณะเช่นนี้อนุภาคจะเสียรูปและแตกออกเป็นขนาดที่เล็กลง ทำให้มีการกระจายตัวที่ละเอียดกว่า ถ้าสภาวะที่เหมาะสม ฟิลม์ของอิมัลซิไฟเออร์ที่ทำหน้าที่ป้องกันดังกล่าว จะถูกดูดซับที่ระหว่างผิวหน้าร่วมของทั้ง 2 เฟสและอิมัลชันที่คงตัวจะเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่ใช้ในการทำให้เกิดอิมัลซิฟิเคชันจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสูตรของอิมัลชันและเทคนิคที่ใช้ และมักจะได้จากการทดลอง ในแต่ละกรณีของอิมัลซิฟิเคชันจะมีช่วงเวลาที่เหมาะสม ถ้าต่ำกว่าเวลาดังกล่าว อิมัลชันที่เกิดขึ้นค่อนข้างจะไม่คงตัว แต่ถ้าการกวนดำเนินต่อไปเกินระยะเวลาที่เหมาะสม อิมัลชันอาจได้รับความเสียหาย เนื่องจากฟิลม์ที่ทำหน้าที่ป้องกันนั้นเกิดการเสื่อมเสียด้วยการกวนที่มากเกินไป

ในการเตรียมอิมัลชันควรจะพิจารณาถึงสารอิมัลซิไฟเออร์ที่ใช้จะต้องเหมาะกับชนิดของอิมัลชันที่ต้องการ เช่น o/w หรือ w/o เปอร์เซนต์ของปริมาตรของเฟสไม่ต่อเนื่องและอุณหภูมิของการเตรียม เนื่องจากแรงตึงระหว่างผิวและความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้จะต้องอยู่กับความไวต่อความร้อนขององค์ประกอบในอาหาร ในกรณีของการผลิตภัณฑ์นม อุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรเกิน 70°C หรือในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น มายองเนส จะมีองค์ประกอบของไข่แดงอยู่ด้วย จึงต้องทำเป็นอิมัลชันที่อุณหภูมิต่ำมาก

โดยทั่วไป มักเตรียมทั้งสองเฟสแยกกัน แล้วจึงเติมสารอิมัลซิไฟเออร์เข้าไปยังเฟสต่อเนื่องแต่ก็มีข้อยกเว้น พวกกัมและคอลลอยด์ที่เป็นไฮโดรฟิลิคบางชนิดกระจายตัวได้ดีที่สุดในเฟสของน้ำมัน เพื่อลดการขยายตัวและการเกาะเป็นก้อนให้น้อยที่สุด เมื่อมีการผสมเฟสต่างๆ เฟสไม่ต่อเนื่องจะค่อยๆ เติมเข้าไปยังเฟสต่อเนื่อง ขณะที่เฟสต่อเนื่องถูกกวน

2.7 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying)

2.7.1 หลักการทำงาน (ธงไชย และคณะ, 2556)

เป็นเทคนิคการทำแห้งที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเครื่องมือหาง่าย ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าวิธีการอื่น ๆ หลักการของระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มจากอากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองอากาศและผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศให้สูงขึ้นเป็นลมร้อนส่งเข้าห้องทำแห้ง ส่วนอาหารเหลวจะถูกดูดผ่านปั๊มไปยังหัวอัดฉีดภายในห้องอบแห้งเพื่อทำให้เป็นละอองฝอย ทำให้ละอองฝอยของอาหารสัมผัสกับลมร้อนเกิดการระเหยของน้ำในละอองฝอยอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่ากระเปาะเปียกเล็กน้อย อนุภาคที่แห้งของอาหารจะลอยกระจายในลมร้อนแล้วเข้าสู่เครื่องแยกไซโคลนออกจากเครื่องเป็นผลิตภัณฑ์ผง สำหรับตัวอย่างอาหารเหลวที่นำมาทำแห้งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Solution) หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวกัน (Non- Homogeneous Solution) อาหารเหลวที่ป้อนเข้าไปจะถูกควบคุมให้เหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งปัจจัยที่ถูกควบคุมให้เหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น ความหนืด ความเข้มข้น องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ลักษณะการไหล ชนิดหัวอัดฉีด การส่งผ่านความร้อนและมวล การแยกอาหารแห้งออกจากกระแสลม เป็นต้น (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2551)

2.7.2 ห้องทำแห้ง (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2551)

อากาศที่ถูกดูดผ่านระบบการกรองทำให้ร้อนจะปะทะเข้ากับอาหารเหลวที่ถูกพ่นออกมาในบริเวณนี้เพื่อให้เกิดการทำแห้งโดยการสัมผัสกันระหว่างอากาศร้อนและอาหารเหลว ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้หลายทิศทาง

ลักษณะการไหลเวียนภายในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 4 ประเภท

1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดไหลสวนทางกัน อากาศถูกนำเข้าเครื่องทางด้านล่างของห้องทำแห้ง ในขณะที่อาหารเหลวจะถูกพ่นออกมาทางด้านบนของห้องทำแห้ง โดยที่อากาศร้อนจะเคลื่อนที่ออกทางด้านบนซึ่งมีอุณหภูมิสูง โดยสัมผัสโดยตรงกับอาหารเหลว ข้อเสียของเครื่องทำแห้งประเภทนี้คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์จะลดลงเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศมีผลต่อผลิตภัณฑ์และอัตราการไหลที่ทำได้น้อยเนื่องจากป้องกันการไหลติดกันไปของอาหารเหลวและอากาศที่ถูกดูดออกทางด้านบนของเครื่อง

2. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยชนิดกระแสตามกัน จะมีการผสมของอากาศและของเหลวโดยหัวอัดฉีดผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศจะไหลไปในทิศทางเดียวกันโดยกระบวนการการทำแห้งจะดำเนินต่อไปโดยผลิตภัณฑ์อาหารและอากาศจะไหลออกทางด้านล่างผ่านทางแยก การจัดการเช่นนี้เหมาะแก่การใช้กันผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อนเนื่องจากผลิตภัณฑ์เหลวจะสัมผัสกับอากาศน้อยที่เข้ามาแต่ผลิตภัณฑ์แห้งจะสัมผัสกับอากาศที่ลดอุณหภูมิต่ำลงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลผสมกัน ผลิตภัณฑ์จะเข้าเครื่องด้วยหัวอัดฉีดบริเวณศูนย์การของห้องทำแห้ง อากาศจะไหลเข้าทางด้านบนมาสัมผัสกับอาหารก่อนที่จะเคลื่อนที่ขึ้นด้านบนไปยังช่องอากาศภายนอก ผลิตภัณฑ์แห้งจะได้ออกทางด้านล่างของห้องอบแห้ง อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่สูงจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ แต่ลักษณะแบบนี้จะทำให้อัตราการระเหยต่อหน่อยปริมาณสูงขึ้น

4. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลขนานกัน

เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีการไหลขนานกันการไหลของผลิตภัณฑ์และอากาศจะไหลอย่างสม่ำเสมอจากทางด้านบนสู่ด้านล่างในห้องทำแห้งที่แคบ ผลิตภัณฑ์แห้งและอากาศจะออกจากห้องทำแห้งด้วยกัน และเคลื่อนที่ไปยังระบบแยก ลักษณะการไหลแบบนี้แตกต่างจากการไหลตามกันคือความเร็วลมที่ใช้สูงอยู่ที่ 2-3 เมตรต่อวินาที ทำให้อุณหภูมิขาเข้าสูง

2.7.3 หัวอัดฉีด

หัวอัดฉีด มีหน้าที่ทำให้อาหารเหลวแตกตัวเป็นละอองฝอย เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับความร้อนให้มากขึ้นและยังเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของอาหารเหลวไปยังห้องอบแห้ง ซึ่งเป็นทั้งตัวกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้และขนาดอีกด้วย ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยหัวอัดฉีด หรือหัวอัดฉีดมีหลายระบบด้วยกัน ซึ่งในแต่ละระบบนั้นมีผลของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันการเลือกชนิดของตัวทำละอองนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลวเริ่มต้น เช่นความหนืด และคุณสมบัติของอาหารผงที่ต้องการ เช่น ขนาดของอนุภาค การละลาย ความหนาแน่น การเปียกน้ำ เป็นต้น (นิชาภา และคณะ, 2555)

หัวอัดฉีดที่นิยมใช้ได้แก่

2.7.3.1. หัวฉีดแรงดันสูง (Centrifugal Pressure Nozzle)

หัวฉีดนี้เป็นสารทำให้อาหารเหลวไหลผ่านรูเล็กๆโดยใช้ความดันสูงในการอัดฉีดอาหารเหลว ให้เกิดแผ่นของเหลวขึ้นเพื่อแตกออกเป็นหยดเล็ก ๆ ตามต้องการ อนุภาคที่ได้จะมีขนาดอยู่ที่ 120-250 มิลลิเมตร โดยขนาดของอนุภาคที่ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอาหารเหลว ความหนืด และความดัน

2.7.3.2. หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizers)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวฉีดชนิดนี้จะฉีดอาหารเหลวลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลางจานหมุนจะหมุนด้วยความเร็ว รอบ 5,000–10,000 รอบต่อนาที สารละลายจะถูกเหวี่ยงและกระจายออกเป็นแผ่น หัวฉีดประเภทนี้สามารถใช้กับอัตราการป้อนและคุณสมบัติของเหลวได้ในช่วงกว้าง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของจานหมุนและอัตราการป้อน

2.7.3.3. หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (Two – Fluid Atomizers)

เป็นการใช้กระแสก๊าซความแรงสูงเพื่อให้กระทบอาหารเหลวที่ความเร็วต่ำ และจึงแตกออกเป็นละอองฝอย โดยทั่วไปหัวฉีดเหล่านี้มักใช้กำลังมากและอาจไม่ประหยัดที่ความจุสูง หยดของเหลวละเอียดเล็ก ๆ สามารถเกิดขึ้นที่อัตราการไหลต่ำและใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ความหนืดสูง

2.7.4 ไซโคลน (Cyclone)

เมื่อมีการระเหยเกิดขึ้นเสร็จสิ้นแล้ว ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะถูกดูดขึ้นมาตามท่อลมจากด้านล่างของห้องทำแห้ง ซึ่งเรามีการแยกอากาศที่ออกการห้องทำแห้งกับอาหารผงโดยไซโคลนอาศัยหลักการจากแรงเหวี่ยง

2.7.5 อาหารที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย (นิสากร และคณะ, 2553)

สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. แบบไม่เหนียวหนืด (Non-sticky) อาหารประเภทนี้ มีการดูดซับน้ำน้อยและมีอัตราการไหลไปยังห้องทำแห้งที่อัตราคงที่ ทำให้ผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพแน่นอน เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภท หางนม โปรตีน แป้ง

2. แบบเหนียวหนืด (sticky) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงไม่กี่องศาในกระบวนการผลิต จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่คงเหลืออยู่ในรูปของไซรัป หรือติดอยู่ตามผนังของห้องทำแห้งส่งผลให้ค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ต่ำลง และเกิดปัญหาในกระบวนการ เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภท น้ำผัก ผลไม้ พวกน้ำตาลแลกโตส

2.7.6 ปัจจัยในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยที่มีผลต่อลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6.1 อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง

ในสภาวะที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ อุณหภูมิของอากาศขาเข้าและขาออกจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการอบแห้งเนื่องมาจากการที่อุณหภูมิขาเข้าสูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มแรงขับ (Driving Force) ของน้ำที่จะระเหยออกไป ส่งผลให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งสูงขึ้น ทั้งนี้หากต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสุดท้ายเพียงค่าหนึ่งเท่านั้นเพื่อที่จะได้ สมบัติทางกายภาพและเคมีตามที่ต้องการ จึงจำเป็นที่จะต้องจำกัดอุณหภูมิอากาศออกให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้แน่นอน หรือในกรณีที่สภาวะการทำงานโดยมีอุณหภูมิอากาศออกต่ำจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูง เพื่อป้องกันมิให้ผลิตภัณฑ์ดูดความชื้นในระหว่างการเก็บ

2.7.6.2 ความเข้มข้น

ที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ หากทำการเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะส่งผลโดนตรงต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ อันเนื่องมาจากปริมาณของแข็งในอนุภาคฝอยหนึ่ง ๆ มากขึ้นจะส่งผลให้อัตราส่วนของแข็งต่อความชื้นเพิ่มขึ้น โดยที่อัตราการระเหยของน้ำไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีความชื้นลดลง

2.7.6.3อัตราการป้อน

ในกรณีที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่การเพิ่มอัตราการป้อนจะทำให้ขนาดของอนุภาคในการพ่นฝอยมีขนาดใหญ่และความหนาแน่นต่ำ และในกรณีที่อัตราการไหลและปริมาณของอากาศร้อนขาเข้ามีค่าคงที่ การเพิ่มอัตราการป้อนจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นเพิ่มขึ้น

2.7.6.4 การไหลเวียนของลมร้อน

การปรับเปลี่ยนการไหลเวียนของลมร้อนจะทำให้ความดันภายในห้องอบลมร้อนเปลี่ยนไป ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อปริมาณการระเหยของไอน้ำ จึงทำให้ระดับการหมุนเวียนของลมร้อนในห้องอบส่งผลต่อประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทำแห้ง โดยหากให้อัตราการไหลเวียนของลมร้อนสูงขึ้นทำให้ไซโคลนมีประสิทธิภาพในการแยกสูงขึ้น

1. ปั๊ม

การเพิ่มความเร็วปั๊มจะส่งผลให้อัตรามวลเข้าระบบสูงขึ้น จึงทำให้ต้องใช้พลังงานในการระเหยน้ำออกมากขึ้นทำให้อุณหภูมิทางออกลดลงทำให้อนุภาคไม่แห้งพอเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเหนียวหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราการพ่น

ปริมาณลมที่ใช้ในการอัดให้ของเหลวเกิดการกระจาย มีผลโดยตรงต่อขนาดผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลงและมีความเข้มข้นสูงขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความแห้งและพรุนมาก

2.8 แอกติวิตีของน้ำ (Water Activity) (Fennema ,1996)

แอกติวิตีของน้ำ หมายถึง อัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (P) ต่อความดันไอของน้ำบริสุทธิ์(PO) ที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งก็คือ ความดันไอสัมพัทธ์นั่นเอง เนื่องจากน้ำที่อยู่ในอาหารอยู่ในรูปสารละลายซึ่งหากสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้น ความดันไอของน้ำในอาหารก็จะลดลง ค่าแอกติวิตีของน้ำในอาหารจึงลดลง

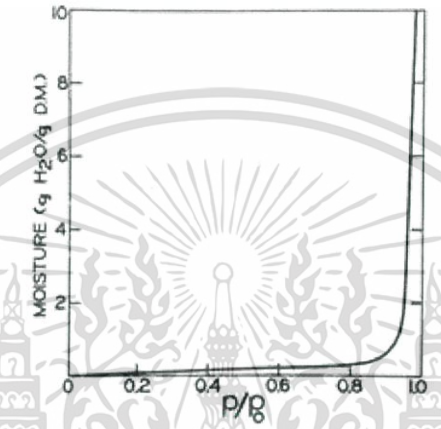
นอกจากค่าแอกติวิตีของน้ำในอาหารจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลายอาหารแล้วยังสัมพันธ์กับความชื้นสัมพันธ์ของอากาศ เพราะเมื่อทิ้งอาหารไว้ในอากาศ อาหารอาจจะสูญเสียความชื้นหรือไม่ก็ดูดความชื้นขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอกติวิตีของน้ำในอาหารและความสมดุลกับความชื้นสัมพันธ์ของอาหาร (ERH) ในขณะนั้น ดังนั้นจึงแสดงความสัมพันธ์ของค่าต่างๆ ดังสมการต่อไปนี้

$$A_W = \frac{P}{P_0} = \%\frac{ERH}{100}$$

การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น และค่าแอกติวิตีของน้ำออกมาเป็นกราฟเรียกว่า กราฟซอบชันไอโซเธอร์มของความชื้น (moisture sorption isoterm) ถ้าอาหารมีความชื้นน้อยจะดูดความชื้นจากอากาศเรียก adsorption isotherm ถ้าอาหารมีความชื้นมากจะสูญเสียความชื้นแก่อากาศเรียก desorption isotherm น้ำที่มีค่าแอกติวิตีสูงสุด ได้แก่ น้ำบริสุทธิ์และเมื่อมีชีวสารปนอยู่ในน้ำ จะทำให้ค่าแอกติวิตีของน้ำในอาหารลดลง รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอกติวิตีของน้ำในอาหารและปริมาณความชื้นในอาหารจำพวกอาหารสดทั่วไป และรูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอกติวิตีของน้ำในอาหารและปริมาณความชื้นในอาหารเมื่อมีความชื้นต่ำ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงน้ำในบริเวณ I ของกราฟจะเป็นส่วนที่ถูกเกาะเกี่ยวไว้อย่างแน่นหนามีการเคลื่อนไหวน้อยที่สุด ไม่สามารถเปลี่ยนสถานะ

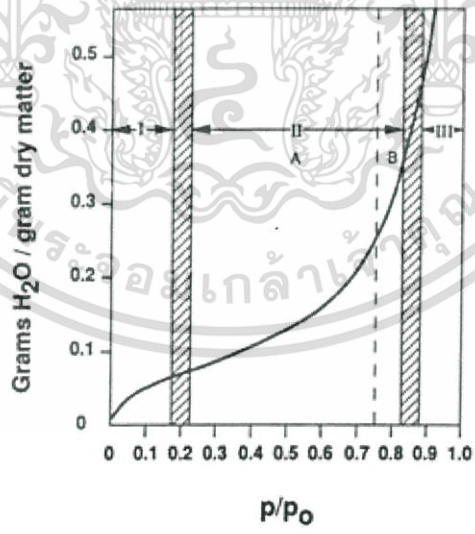
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นน้ำแข็งได้ที่ -40 องศาเซลเซียส เป็นน้ำในโมโนเลย์ ส่วนน้ำในบริเวณ II ของกราฟส่วนใหญ่ไม่สามารถเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งได้ที่ -40 องศาเซลเซียส แต่เมื่อรวมกับของแข็งแล้ว ทำให้เกิดลักษณะพลาสติกเป็นน้ำในมัลติเลย์และน้ำในแคพพิลลารี่ น้ำจากทั้ง 2 บริเวณนี้มีน้อยกว่าร้อยละ 5 ของอาหารสดที่มีความชื้นสูงทั่วไป น้ำในบริเวณที่ III สามารถเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งได้ ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายได้และทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในอาหารและค่าแอกติวิตีของน้ำในอาหารทั่วไป

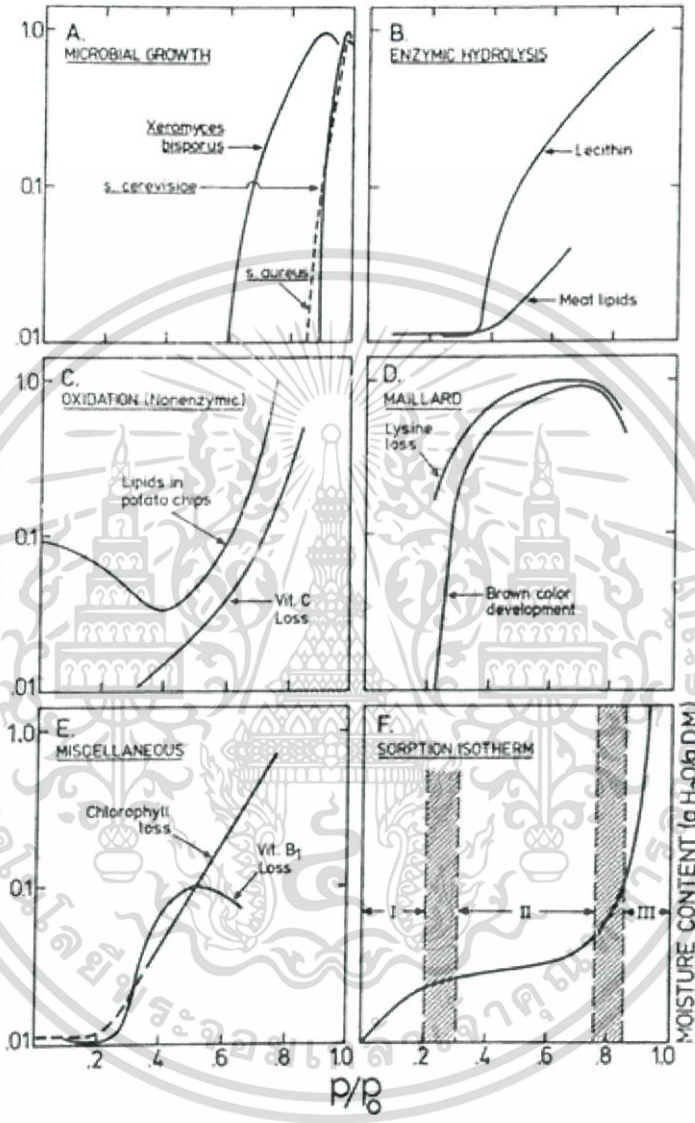
ที่มา : Fennema 1996



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอกติวิตีของน้ำในอาหารและปริมาณความชื้นในอาหารที่มีความชื้นต่ำ

ที่มา : Fennema 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแอกติวิตีของน้ำ

(A) กับการเจริญของจุลินทรีย์ , (B) กับปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอนไซม์ , (C) กับปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ (D) กับปฏิกิริยาเมลลาร์ด (E) กับปฏิกิริยาอื่นๆ

ที่มา : Fennema 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ความชื้น (moisture content) (พิมพ์เพ็ญและ นิธิยา, 2553)

เป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร เป็นสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร เนื่องจากความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร (food spoilage) โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ (microbial spoilage) ซึ่งกระทบต่ออายุการวางจำหน่าย (shelf life) อาหารที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำสูงจะเป็นอาหารที่เสื่อมเสียง่าย (perishable food) เนื่องจากมีสภาวะเหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมเสีย เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ และรา

ความชื้นมีผลต่อความปลอดภัยทางอาหาร (food safety) อาหารที่มีน้ำสูงเหมาะกับการเจริญของจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) และการสร้างสารพิษ (toxin) ที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ รวมถึงการสร้างสารพิษของรา (mycotoxin) เช่น aflatoxin และ patulin ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

ความชื้นมีผลต่อสมบัติทางกายภาพ และสมบัติเชิงความร้อนของอาหารด้านต่างๆ เช่น จุดหลอมเหลว จุดเดือด การนำความร้อน (thermal conductivity) ความร้อนจำเพาะ (specific heat) ความชื้นมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งมีผลต่อการยอมรับของอาหาร ได้แก่ เนื้อสัมผัส (texture) เช่น ความกรอบ ความหนืด (viscosity) การเกาะติดกันเป็นก้อน (caking)

ความชื้นมีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่มีผลกระทบทางลบต่ออาหารระหว่างการเก็บรักษา เช่น ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning reaction) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของลิพิด (lipid oxidation) ความชื้นมีผลต่อการกำหนดราคาสินค้า เช่น ข้าว เมล็ดธัญพืช กำหนดราคารับซื้อผันแปรตามปริมาณความชื้น

2.9.1 การแสดงค่าความชื้นของอาหาร

ปริมาณความชื้น นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์มี 2 รูปแบบคือ

2.9.1.1. ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.1.2. ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ อาจบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ จำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g H2O/ g solid)

2.9.2 การวัดความชื้นของอาหาร

น้ำที่มีอยู่ในอาหารแต่ละชนิดมีการยึดติดอยู่ในโครงสร้าง หรือโมเลกุลของสารอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารในรูปแบบ และความแข็งแรงต่างกัน ทำให้เทคนิคที่ใช้สำหรับการหาความชื้นของอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกันไป ทั้งความยากง่าย ความซับซ้อนของอุปกรณ์ และความถูกต้องแม่นยำของค่าที่ได้ วัตถุประสงค์หลักของบทนี้จึงเป็นการแนะนำให้รู้จักวิธีการหาความชื้นในอาหารแบบต่างๆ ข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธี เพื่อสามารถเลือกนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม

2.9.2.1. การวัดความชื้นโดยตรง (direct method)

เป็นการวัดปริมาณที่มีอยู่ในอาหารโดยตรง สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การแยกเอาน้ำออกด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การอบแห้งทำให้น้ำระเหยออกไป การกลั่นแยกเอาน้ำออกจากอาหาร หรือการใช้วิธีการทางเคมี โดยการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำ เป็นต้น วิธีการวัดโดยตรงเป็นการวัดที่ทำลายตัวอย่าง แต่ละวิธีจะมีความถูกต้องแตกต่างกัน วิธีที่มีการยอมรับกันทั่วไปว่ามีความถูกต้องแม่นยำสูง จะนิยมใช้เป็นค่าความชื้นมาตรฐานเพื่อใช้ปรับเทียบค่าที่ได้จากการวัดด้วยวิธีการอื่นๆ ก่อนนำค่าที่ได้ไปใช้ประโยชน์ ได้แก่

1. การวิเคราะห์ความชื้นด้วยการอบแห้ง การวิเคราะห์ความชื้นด้วยการกลั่น (distillation) นำตัวอย่างเมล็ดพืชที่บดเป็นแป้งผสมกับตัวทำละลายโทลูอีน (toluene) แล้วนำไปต้ม น้ำจะระเหยออกมาและควบแน่นเป็นหยดน้ำ ซึ่งวัดเป็นปริมาตรและน้ำหนักได้

2. การใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ (infrared and microwave radiation) เป็นการใช้รังสีอินฟราเรดหรือคลื่นไมโครเวฟ เพื่อระเหยน้ำในแป้งที่ได้จากการบดตัวอย่างเมล็ดพืช วิธีวัดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้มีจุดเด่นที่ให้ผลการวัดถูกต้อง แต่จุดด้อยสำคัญคือ อุปกรณ์และเครื่องมือมีราคาแพง การใช้งานต้องเตรียมอุปกรณ์หลายชิ้น และการวัดแต่ละครั้งใช้เวลานาน

2.9.2.2. การวัดโดยอ้อม (indirect methods)

เป็นการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ดพืชด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วัดค่าความจุไฟฟ้า การวัดความชื้นโดยทางอ้อมมีจุดเด่นตรงรู้ผลเร็ว สะดวก และทำได้บ่อย จุดด้อยคือ ค่าที่ได้จากการวัดเป็นค่าโดยประมาณการ การวัดโดยอ้อมวัดได้หลายวิธีเช่นกันคือ

1. การวัดความต้านทานไฟฟ้า (resistance) อุปกรณ์วัดความต้านทานไฟฟ้าของเมล็ดพืช ทำได้โดยบรรจุเมล็ดพืชตัวอย่างลงช่องว่างระหว่างขั้วไฟฟ้าในภาชนะปิดแน่น ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดได้จะแปรเป็นค่าปริมาณความชื้น

2. ความจุไฟฟ้า (capacitance) ตัวอย่างจะถูกบรรจุในภาชนะปิด โดยผนังภาชนะทำหน้าที่ปล่อยกระแสไฟฟ้าความถี่สูงออกมา การวัดวิธีนี้จำเป็นต้องใช้ตารางคาลิเบรชัน (calibration) ประกอบด้วยค่าความชื้นที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้จะมีความแม่นยำมากกว่าการวัดจากค่าความต้านทานไฟฟ้า

3. ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) เป็นวิธีหาค่าความชื้นในเมล็ดพืชจากการวัดความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ด เนื่องจากปริมาณความชื้นในเมล็ดจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศระหว่างเมล็ดเปลี่ยนแปลง ซึ่งความถูกต้องของค่าความชื้นที่วัดได้จากวิธีนี้ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของความชื้น ดังนั้นการวัดด้วยวิธีนี้ต้องรอเวลานานประมาณ 1-2 ชั่วโมงเพื่อให้ความชื้นสัมพัทธ์ในช่องอากาศต่างๆ เกิดสมดุลก่อนวัดเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ค่าเพอร์ออกไซด์ (peroxide value) (พิมพ์เพ็ญและ นิธิยา, 2553)

เป็นค่าที่ใช้การวัดอัตราการเกิดปฏิกิริยา lipid oxidation ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืน (rancidity) เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการเสื่อมเสียของน้ำมันและไขมันรวมทั้งอาหารที่มีไขมันสูง เช่น อาหารทอด ได้แก่ ถั่วปากอ้าทอด ถั่วทอดแผ่น

Peroxide value คือ ปริมาณออกไซด์ที่มีอยู่ในน้ำมันและไขมัน หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.002 นอร์มัล ที่ใช้ในการไทเทรต ไขมัน หรือน้ำมัน 1 กรัม หรือหมายถึง จำนวนมิลลิกรัมสมมูลของเพอร์ออกไซด์ออกซิเจน ที่มีในไขมัน หรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม ถ้าค่า peroxide value สูง แสดงว่าไขมัน หรือน้ำมันเกิด lipid oxidation มาก มีกลิ่นหืนมาก เกิดปฏิกิริยา oxidative rancidity มาก

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี 2548 Fuch และคณะ ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันพืชดอกทานตะวัน 5% ของความเข้มข้นอิมัลชัน และใช้มอลโตเด็กซ์ตรินและอคาเชียกัมในอัตราส่วน 3:2 เป็นอิมัลซิไฟเออร์ ในกระบวนการทำเอนแคปซูเลชันนั้นประกอบด้วย3 ขั้นตอนคือ การทำอิมัลชัน การอบแห้งแบบพ่นฝอย และการทำให้เกิดการรวมตัวกันด้วยฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งแบบพ่นฝอย และการทำให้เกิดการรวมตัวกันด้วยฟลูอิดไดซ์เบดจะมีการวิเคราะห์คุณสมบัติของผงที่ได้ทั้งก่อนและหลังการทำให้เกิดการรวมตัวกัน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในเอนแคปซูเลชันคือ ที่เปอร์เซนต์ความเข้มข้นอิมัลชัน 40% และอุณหภูมิขาเข้าและขาออกคือ 220 และ 100 ตามลำดับ และการทำให้เกิดการรวมตัวด้วยฟลูอิดไดซ์เบด (Fuch et al, 2005)

ปี 2557 Jimenes M.T. และคณะ ศึกษาหาสารห่อหุ้มที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันของน้ำมันมะกอกโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย อิมัลชันเป็นแบบน้ำมันในน้ำ แบ่งอิมัลชันเป็น 8 อิมัลชัน อิมัลชันเข้มข้น 40% เป็นน้ำมัน 4% และเป็นสารห่อหุ้ม 36% โดยใช้สารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน คือ มอลโตเด็กซ์ตริน, อะคาเชีย กัมและอินนูลิน ผสมที่อัตราส่วนที่แตกต่างกัน จากนั้นทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยโรเตอร์-สตาเตอร์ โฮโมจีไนเซชัน การอบแห้งแบบพ่นฝอยในการทดลองใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและขาออก คือ 180 องศาเซลเซียลและ 90 องศาเซลเซียล ตามลำดับ อัตราการป้อนของอิมัลชัน 57 กรัมต่อนาที ปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ศึกษาในการเอนแคปซูเลชัน คือ อุณหภูมิขาเข้า อุณหภูมิขาออก อัตราส่วนของอิมัลชัน อัตราการป้อนของอิมัลชัน โดยจะวิเคราะห์ ความหนาแน่น ขนาด ขนาดการกระจายตัว ความสามารถในการไหล ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ ค่าความหนืด การดูด-คายความชื้น จากผลการทดลองคุณสมบัติของอิมัลชันแห้งที่ได้ในการใช้สารอะคาเซียกัมผสมกับมอลโตเด็กซ์ตรินหรืออินนูลิน จะทำให้ได้อิมัลชันเริ่มต้นมีความเสถียรภาพ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จะเพิ่มขึ้น (Jimenes et al, 2014)

ปี 2554 Laohasongkram และคณะ ได้ศึกษากระบวนการเอนแคปซูเลชันน้ำมันแมคคาเดเมียโดยเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย ออกแบบการทดลองด้วย response surface methodology (RSM) โดยใช้โซเดียมแคซิเนตกับมอลโตเด็กซ์ตริน เป็นสารห่อหุ้ม และ น้ำมันแมคคาเดเมียเป็นสารแกนกลาง ซึ่งปัจจัยที่ศึกษาคือ อัตราส่วนระหว่างโซเดียมแคสิเนตกับมอลโตเด็กซ์ตริน (1:2 , 1:3 และ 1:4), อัตราส่วนระหว่างสารห่อหุ้มกับสารแกนกลาง (50:50 , 60:40 และ 70:30), ความดันที่ใช้ในการโฮโมจีไนซ์ (100, 200 และ 300 bar) , อัตราการป้อนของสารป้อน (1, 1.5 และ 2 kg/hr) และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง (160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส) ผงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งนำมาวิเคราะห์ความชื้น, ความหนาแน่นรวม, ค่าเพอร์ออกไซค์ และ ปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งผลการวิคราะห์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันแมคคาเดเมียคือที่ อัตราส่วนระหว่างโซเดียมแคซิเนตกับมอลโตเด็กซ์ตริน 1:4 , อัตราส่วนระหว่างสารห่อหุ้มและสารแกนกลาง 60:40 , ความดันของเครื่องโฮโมจีไนซ์ 200 bar และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าในการทำแห้ง 167 องศาเซลเซียส (Laohasongkram et al, 2011)

ปี 2551 Jafari และคณะ ศึกษาดูอนุภาคนาโนในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันปลาโดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เตรียมอิมัลชันโดยการโฮโมจีไนซ์เซชั่นด้วย เทคนิค Microfluidization และ Ultrasonication ที่พลังงานสูง เพื่อตรวจหาประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลชั่นของสารห่อหุ้ม ซึ่งทั้งปริมาณน้ำมันที่ผิวและปริมาณน้ำมันที่ถูกห่อหุ้มเป็นตัวแปรที่มีนัยสำคัญในกระบวนการเอนแคปซูเลชั่นด้วยวิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้ มอลโตเด็กซ์ตริน ร่วมกับ ไบโอพอลิเมอร์(เวย์โปรตีน) เป็นสารห่อหุ้ม ในอัตราส่วน 3:1 ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า การเตรียมสารอิมัลชั่นด้วยเทคนิค Microfluidization น้ำมันปลามีประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันต่ำสุด ใช้ช่วงอนุภาคนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัตถุดิบ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบและอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำน้ำมันพริก

ได้แก่ มีด, เขียง, หม้อ, เตาไฟฟ้า, ทัพพีสแตนเลส, ขวดแก้ว, บีกเกอร์

3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเอนแอปซูเลชั่น

ได้แก่ เครื่องโฮโมจีไนเซอร์, เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

รูป 3.1 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ยี่ห้อ ARMFIELD รุ่น FT40 Multi-Purpose Processing Vessel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.2 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย รุ่น JCM Minilab SDE-10

3.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรักษา

ได้แก่ ถุงพลาสติกแบบสุญญากาศ, เครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ

3.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าความชื้น

ได้แก่ ตู้อบลมร้อน, ถ้วยอลูมเนียมที่มีฝาปิด, โถดูดความชื้น

รูป 3.3 ตู้อบลมร้อน รุ่น UN160 ยี่ห้อ Memmert, Germany

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า AW

ได้แก่ เครื่องวัดค่า AW Aqua lab

รูป 3.4 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระยี่ห้อ Aqua lab รุ่น Model SERIES 3TE

3.1.6 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า PV

ได้แก่ สารละลายไธโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.001 N

สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว

สารละลายกรดอะซิติกผสมกับคลอโรฟอร์ม อัตราส่วน 3:2

น้ำแป้งสุก, บิวเรต, ขวดรูปชมพู่

เตาไฟฟ้า, บีกเกอร์, หลอดหยด (ยุพา, 2556)

3.1.5 วัตถุดิบ

ได้แก่ พริกแห้ง, น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันรำข้าว, มอลโตเด็กซ์ตริน, น้ำ

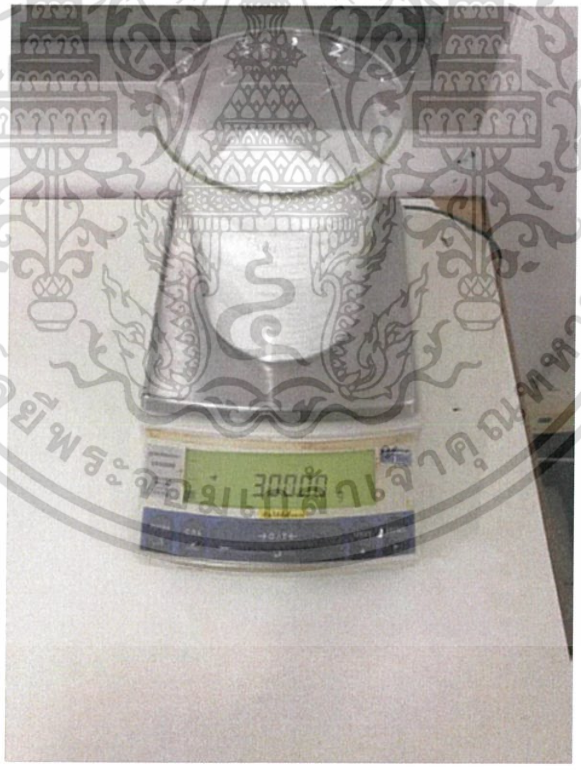
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.5 พริกแห้ง

รูป 3.6 น้ำมันถั่วเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.7 น้ำมันรำข้าว

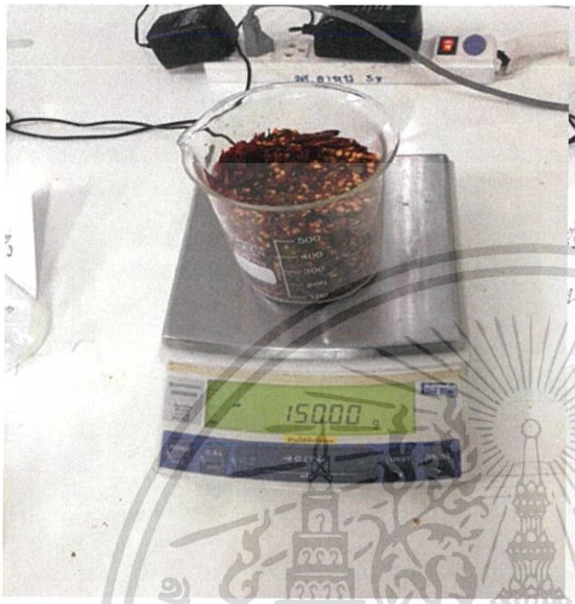


รูป 3.8 มอลโตเด็กซ์ตริน

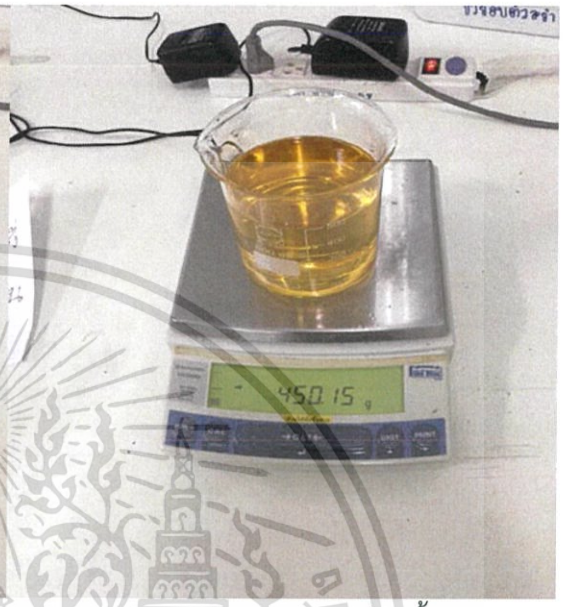
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการเตรียมน้ำมันพริก

3.2.1 เตรียมวัตถุดิบ พริก น้ำมันถั่วเหลือง ในอัตราส่วนโดยมวล 1 : 3 ตามลำดับ



รูป 3.9 การเตรียมพริก



รูป 3.10 การเตรียมน้ำมัน

3.2.2 นำพริกแห้งไปสับละเอียดโดยเครื่องปั่นอเนกประสงค์ PHILIPS รุ่น HR2115

3.2.3 นำพริกไปคั่วด้วยเตาไฟฟ้า จนถึงอุณหภูมิพื้นผิวกระทะอยู่ที่อุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียสโดยใช้อุปกรณ์วัดอุณหภูมิอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ Raynger รุ่น ST4L เป็นเวลา 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.11 คั่วพริก

3.2.4 ใส่พริกลงไปในขวดโหลที่มีน้ำมันตามอัตราส่วน

3.2.5 ปิดฝาและแช่ทิ้งไว้ปปเป็นเวลา 1 สัปดาห์

รูป 3.12 น้ำมันพริก

3.2.6 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1-5 โดยเปลี่ยนน้ำมันถั่วเหลืองเป็นน้ำมันรำข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

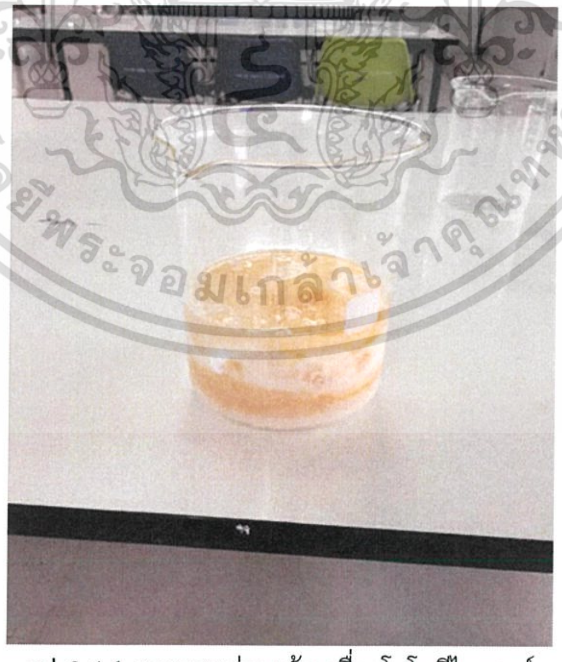
3.3 ขั้นตอนการเตรียมสารก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.3.1 เตรียมน้ำมันพริก(น้ำมันถั่วเหลือง) มอลโตเด็กซ์ตริน และน้ำ ตามอัตราส่วนโดยมวล 1 : 3 : 6 ที่กำหนดไว้ตามลำดับ

รูป 3.13 น้ำมันพริก น้ำ มอลโตเด็กซ์ตริน(จากซ้ายไปขวา)

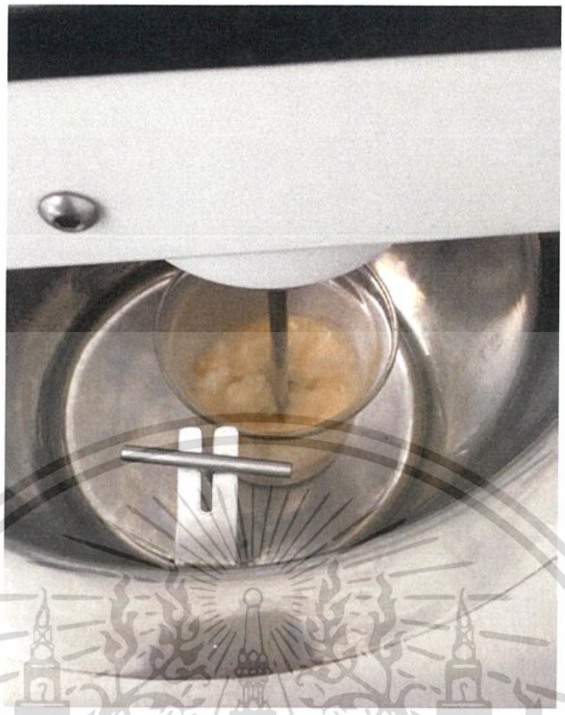
3.3.2 นำวัตถุดิบทั้ง 3 มาผสมกัน

3.3.3 นำส่วนผสมที่ได้เข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ เป็นเวลา 30 นาที



รูป 3.14 สารผสมก่อนเข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.15 ภาพขณะทำการโฮโมจีไนซ์

รูป 3.16 หลังทำโฮโมจีไนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 1-3 โดยเปลี่ยนน้ำมันพริก(น้ำมันถั่วเหลือง)เป็นน้ำมันพริก(น้ำมันรำข้าว

3.4 ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

3.4.1 ตั้งค่าสถานะของเครื่องดังนี้

ตารางที่ 3.1 สภาวะเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยตามเงื่อนไขการทดลอง

No.	อุปกรณ์	ตัวแปรปรับแต่ง	ตัวแปรควบคุม
1	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ขาออก (องศาเซลเซียส)	170/70, 200/80, 230/90	-
2	ชนิดน้ำมัน	น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันรำข้าว	-
3	อัตราส่วนน้ำมันต่อมอลโตเด็กซ์ตริน	-	1:3
4	หัวฉีดสารละลาย	-	Two fluid nozzle
5	ความดันหัวฉีด (เมกกะปาสคาล)	-	0.2
6	อัตราการไหลของอากาศ (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	-	37.8
7	เครื่องดูดลม (เฮิร์ท)	-	2800
8	อัตราการไหลของอากาศ(ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)	-	37.8

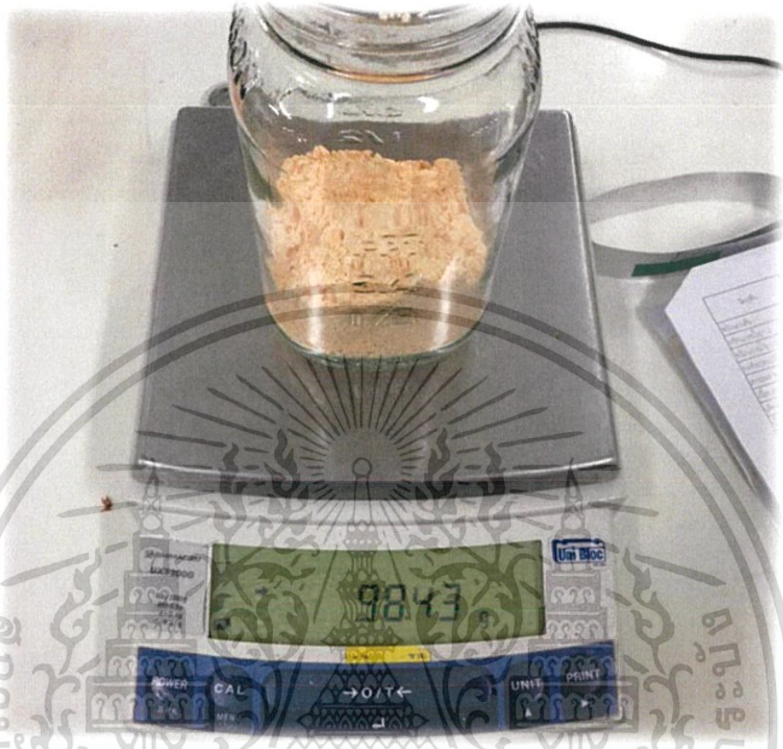
3.4.2 เริ่มต้นการทดลองด้วยการป้อนน้ำเปล่าเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย จนกระทั่งอุณหภูมิภายในห้องทำแห้งคงที่

3.4.3 เมื่ออุณหภูมิภายในห้องทำแห้งคงที่ จึงเริ่มป้อนวัตถุดิบสารละลายอิมัลชันน้ำมันพริก(น้ำมันถั่วเหลือง)ที่เตรียมไว้เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และเปิดแฮมเมอร์ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการติดค้างของผลิตภัณฑ์

3.4.4เก็บผลิตภัณฑ์ผงที่ได้บรรจุใส่ถุงพลาสติกแบบสุญญากาศและซีลด้วยเครื่องปิดผนึกแบบสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2-4 โดยเปลี่ยนน้ำมันพริก(น้ำมันถั่วเหลือง)เป็นน้ำมันพริก(น้ำมันรำข้าว) และเปลี่ยนอุณหภูมิขาเข้า/ขาออกปืน 200/80 องศาเซลเซียส และ 230/90 องศาเซลเซียส



รูป 3.17 น้ำมันพริกผงหลังผ่านการอบแห้งแบบพ่นฝอย

3.5 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพด้วยค่าความชื้น (AOAC, 2005)

3.5.1 อบถ้วยอลูมิเนียม ในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

3.5.2 นำไปใส่เดซิเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็น

3.5.3 ชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียม

3.5.4 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 3 กรัม เกลี่ยตัวอย่างให้มีความสม่ำเสมอ

3.5.5 นำไปอบในตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อบจนกระทั่งน้ำหนักคงที่

3.5.6 ปิดฝา นำมาทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนัก

3.5.7 นำน้ำหนักที่หายไป วิเคราะห์หาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสมการ

$$\%\text{ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ})}{\text{น้ำหนักหลังอบ}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพด้วยค่า AW

3.6.1 เตรียมตัวอย่างประมาณ 2 กรัม บรรจุใส่ที่ใส่ตัวอย่าง

3.6.2 นำเข้าเครื่อง Aqua lab หาค่า AW

3.6.3 ทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

3.7 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพด้วยค่า PV (ยุพา,2556)

3.7.1 ชั่งไขมันตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (ทราบน้ำหนักแน่นอน) ใส่ขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 250 ml

3.7.2 ใส่โพแทสเซียมไอโอไดด์ลงไป 1 กรัม

3.7.3 ใส่สารละลายผสมกรดอะซิติกและคลอโรฟอร์มลงไป 20 ml

3.7.4 ต้มขวดแก้วรูปชมพู่ในน้ำเดือดนานประมาณ 30 วินาที

3.7.5 ใส่สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ลงไป 20 ml และใส่น้ำกลั่นลงไป 25 ml

3.7.6 ไทเทรตด้วยสารละลายไธโอซัลเฟต ให้พื้นผิวด้านบนใส่

3.7.7 หยดน้ำแป้งสุกลงไป 3 หยด

3.7.8 ไทเทรตด้วยสารละลายไธโอซัลเฟตอีกครั้ง

3.7.9 วัดปริมาณสารละลายไธโอซัลเฟตที่ใช้ไป

รูปที่ 3.18 สารละลายผสมกรดอะซิติกและคลอโรฟอร์ม บริษัท EMD Millipore Corporation

รูปที่ 3.19 สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ บริษัท EMD Millipore Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.20 สารไธโอซัลเฟต บริษัท EMD Millipore Corporation

รูป 3.21 การวัดค่าเพอร์ออกไซด์

3.8 ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพด้วยค่า %yield

3.8.1 คำนวณตามสมการเพื่อหาค่า %yield

$$\%\text{yield} = \frac{\text{ปริมาณของแข็งในผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้}}{\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมดในวัตถุดิบเริ่มต้น}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำมันพริกผง

จากการดำเนินการทดลองการทำน้ำมันพริกผงจากทุกสภาวะแล้วนำผลิตภัณฑ์น้ำมันพริกผงมาวิเคราะห์คุณสมบัติประกอบด้วย ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณร้อยละที่ผลิตได้และค่าเพอร์ออกไซด์ ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ชนิดน้ำมัน	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออก(องศาเซลเซียส)		
	170/70	200/80	230/90
น้ำมันถั่วเหลือง	2.61±0.0011^{c}	1.81±0.0019^{b}	1.26±0.0160^{a}
น้ำมันรำข้าว	4.15±0.0076^{c}	2.77±0.0036^{b}	1.27±0.0674^{a}

*ค่าในตารางในแถวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์น้ำมันพริกผงที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 1.26-4.15 ดังที่แสดงในตารางที่ 4.1 จากมาตรฐานที่ได้กำหนดปริมาณความชื้นอยู่ที่น้อยกว่า 5% ซึ่งปรากฏว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันพริกผงทุกสภาวะผ่านเกณฑ์ทุกสภาวะ จากกราฟการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออกในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น 170/70, 200/80 และ 230/90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความสามารถในการระเหยน้ำและลดความชื้นได้ในปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นชนิดของน้ำมันก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้น เมื่อทำการเปลี่ยนชนิดของน้ำมัน ปริมาณความชื้นจะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าวนั้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)

รูปที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิขาเข้า/ออกและชนิดน้ำมันต่อปริมาณความชื้น

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

ชนิดน้ำมัน	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออก(องศาเซลเซียส)		
	170/70	200/80	230/90
น้ำมันถั่วเหลือง	0.164 ± 0.001^{c}	0.127 ± 0.001^{b}	0.123 ± 0.002^{a}
น้ำมันรำข้าว	0.255 ± 0.002^{c}	0.186 ± 0.002^{b}	0.148 ± 0.005^{a}

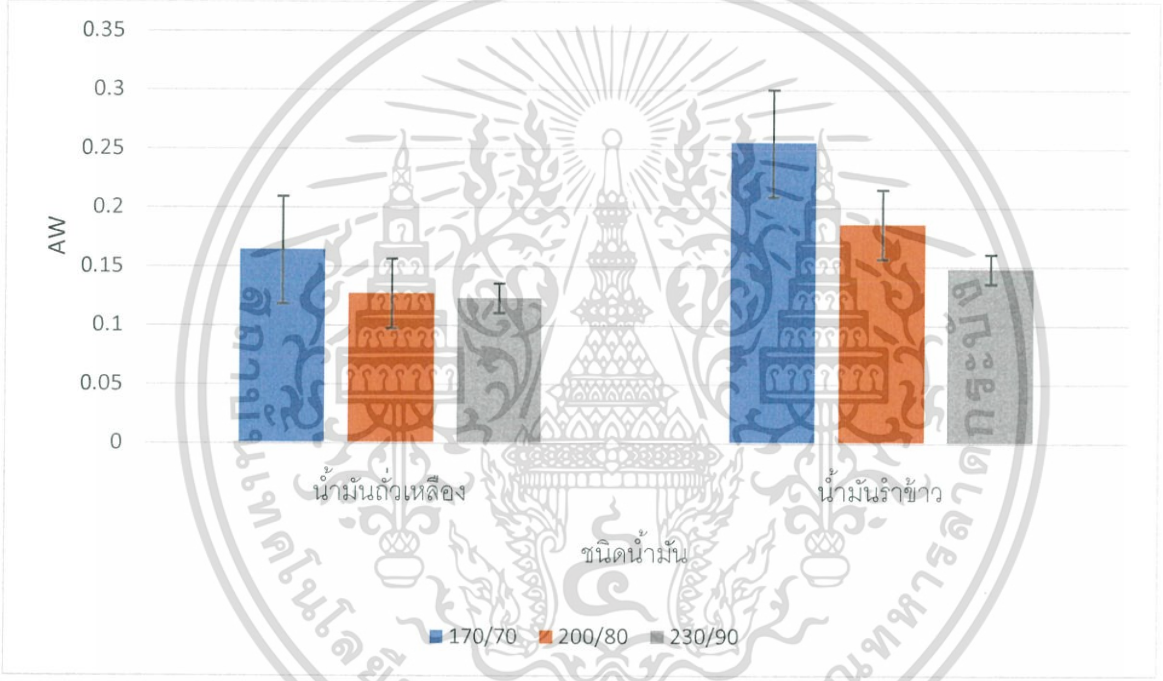
*ค่าในตารางในแถวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์น้ำมันพริกผงที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.121-0.253 ดังที่แสดงในตารางที่ 4.2 จากมาตรฐานที่ได้กำหนดปริมาณน้ำอิสระอยู่ที่น้อยกว่า 0.6 เนื่องจากถ้าหากปริมาณน้ำอิสระต่ำกว่า 0.6 จะถูกจัดเป็นอาหารแห้งและส่งผลให้เชื้อจุลินทรีย์ไม่เติบโต ซึ่งปรากฏว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันพริกผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุกสภาวะผ่านเกณฑ์ทุกสภาวะ จากกราฟการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณน้ำอิสระของผลิตภัณฑ์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออกในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น 170/70, 200/80 และ 230/90 องศาเซลเซียสตามลำดับ เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความสามารถในการระเหยน้ำและลดความชื้นได้ในปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95($p \leq 0.05$)

นอกจากนั้นชนิดของน้ำมันก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำอิสระ เมื่อทำการเปลี่ยนชนิดของน้ำมัน ปริมาณน้ำอิสระจะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าวนั้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิขาเข้า/ออกและชนิดน้ำมันต่อปริมาณน้ำอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละที่ผลิตได้

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละที่ผลิตได้

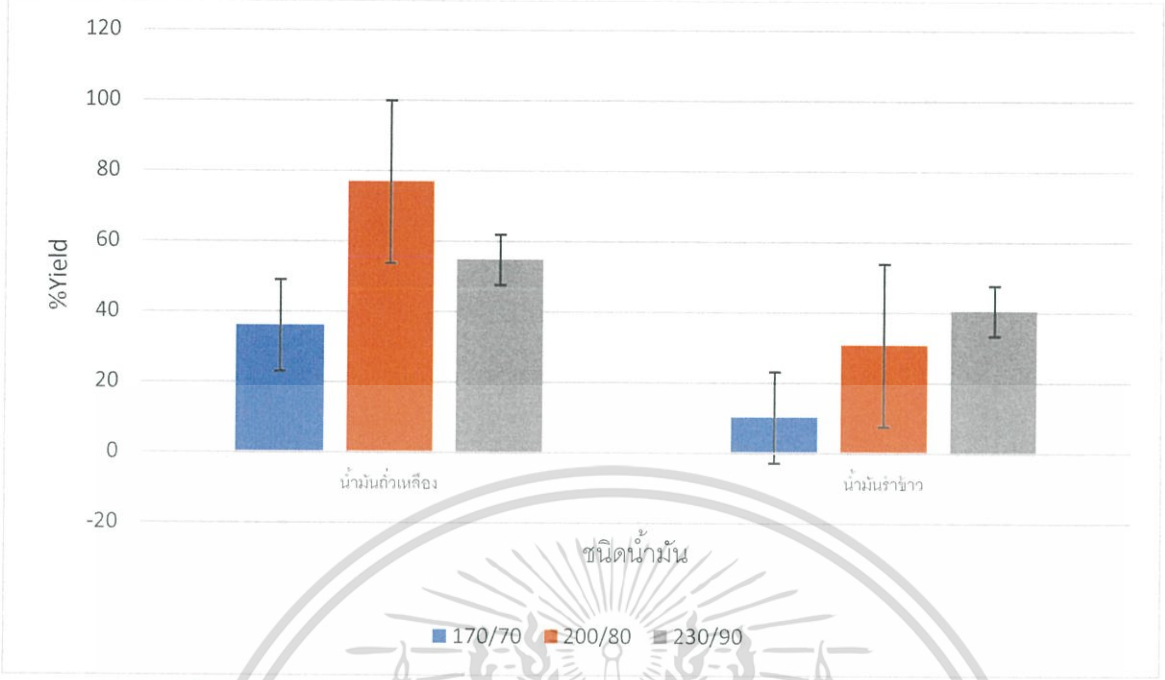
ชนิดน้ำมัน	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออก(องศาเซลเซียส)		
	170/70	200/80	230/90
น้ำมันถั่วเหลือง	36.02±1.87[a]	76.82±1.61[c]	54.75±1.34[b]
น้ำมันรำข้าว	10.11±1.28[a]	30.66±2.55[b]	40.44±3.74[c]

*ค่าในตารางในแถวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ปริมาณร้อยละที่ผลิตได้ของผลิตภัณฑ์น้ำมันพริกผงที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 10.11-76.82 ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3 จากกราฟการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ปริมาณร้อยละที่ผลิตได้ของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออกในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น 170/70, 200/80 และ 230/90 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความสามารถในการระเหยน้ำและลดความชื้นได้ในปริมาณมากกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95($p\leq0.05$)

นอกจากนั้นชนิดของน้ำมันก็มีความสัมพันธ์กับปริมาณร้อยละที่ผลิตได้ เมื่อทำการเปลี่ยนชนิดของน้ำมันปริมาณร้อยละที่ผลิตได้จะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าวนั้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p\leq0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิขาเข้า/ออกและชนิดน้ำมันต่อปริมาณร้อยละที่ผลิตได้

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์

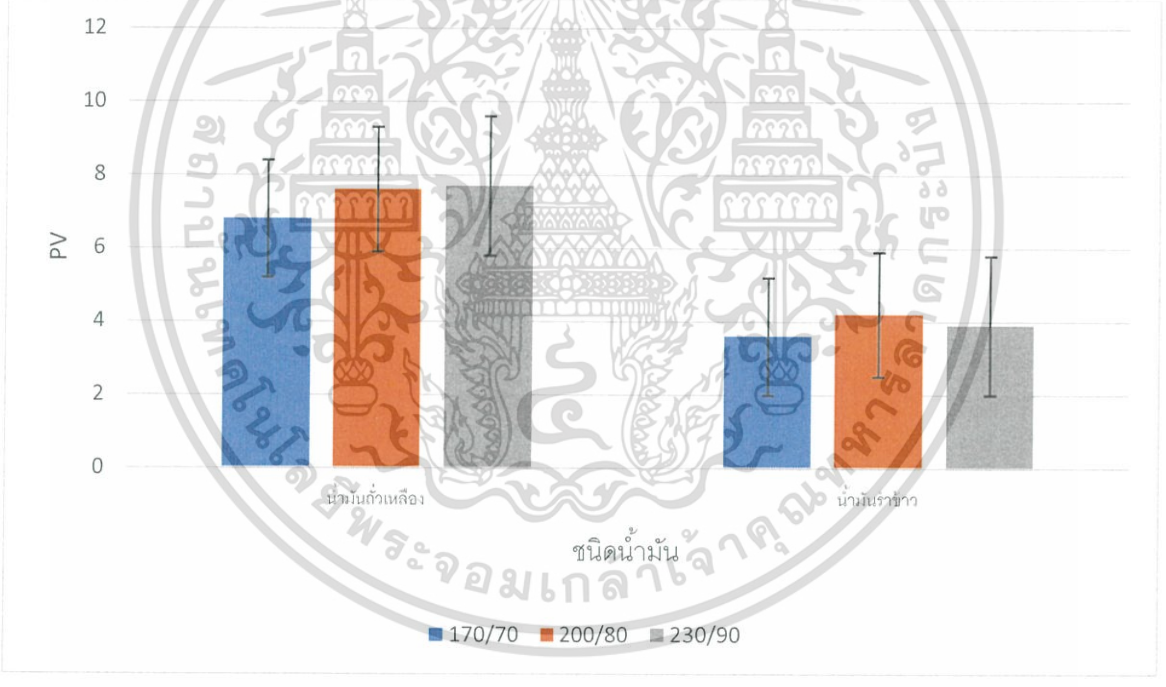
ชนิดน้ำมัน	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออก(องศาเซลเซียส)		
	170/70	200/80	230/90
น้ำมันถั่วเหลือง	6.8±0.7[a]	7.6±0.3[b]	7.7±0.2[c]
น้ำมันรำข้าว	3.6±0.4[a]	4.2±0.1[b]	3.9±1.3[c]

*ค่าในตารางในแถวนอนเดียวกันที่มีตัวอักษรแตกต่างกัน แสดงความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเพอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์น้ำมันพริกผงที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 3.6-7.7 ดังที่แสดงในตารางที่ 4.4 จากมาตรฐานของประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 205 ได้กำหนดค่าเพอร์ออกไซด์อยู่ที่น้อยกว่า 10 ซึ่งปรากฏว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันพริกผงทุกสภาวะผ่านเกณฑ์ทุกสภาวะ จากกราฟการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าค่าเพอร์ออกไซด์ของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออกในการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพิ่มขึ้น 170/70, 200/80 และ 230/90 องศาเซลเซียสตามลำดับ เนื่องจากลมร้อนที่ใช้ในการทำแห้งที่อุณหภูมิสูงจะมีความสามารถทำให้ค่าเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95($p \leq 0.05$)

นอกจากนั้นชนิดของน้ำมันก็มีความสัมพันธ์กับค่าเพอร์ออกไซด์ เมื่อทำการเปลี่ยนชนิดของน้ำมัน ค่าเพอร์ออกไซด์จะมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากน้ำมันรำข้าวสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันหลายชนิด ได้แก่ วิตามินอี และออริซานอล ซึ่งในระหว่างน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันรำข้าวนั้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.4 ผลของอุณหภูมิขาเข้า/ออกและชนิดน้ำมันต่อค่าเพอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและการวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการศึกษาผลของตัวแปรในการผลิตน้ำมันพริกผง พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการทำน้ำมันพริกผงมากที่สุดก็คือ ใช้น้ำมันถั่วเหลืองและอุณหภูมิขาเข้า/ขาออก 200/80 องศาเซลเซียส เนื่องจากมีปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระและค่าเพอร์ออกไซด์ ผ่านมาตรฐานที่กำหนดและมีปริมาณร้อยละที่ผลิตได้มากที่สุด และสามารถสรุปความสัมพันธ์ของปัจจัยการผลิตต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ได้ดังต่อไปนี้ ในด้านตัวแปรอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออก คือ ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของน้ำมันพริกผงมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออกเพิ่มขึ้น ปริมาณร้อยละที่ผลิตได้และค่าเพอร์ออกไซด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า/ออกเพิ่มขึ้น ในด้านตัวแปรชนิดน้ำมัน ในส่วนของปริมาณความชื้นและปริมาณอิสระ น้ำมันรำข้าวมีแนวโน้มมากกว่าน้ำมันถั่วเหลือง ในส่วนของปริมาณร้อยละที่ผลิตได้และค่าเพอร์ออกไซด์น้ำมันถั่วเหลืองมีแนวโน้มมากกว่าน้ำมันรำข้าว จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า แต่ทว่าค่าของปริมาณร้อยละที่ผลิตได้ของน้ำมันรำข้าวที่ได้ในปริมาณที่น้อยมากนั้นเกิดจากความชื้นที่ไม่สามารถควบคุมได้ อัตราการป้อนน้ำมันที่มากเกินไป และน้ำมันพริกที่เกิดการแยกชั้นหลังจากผ่านการโฮโมจีไนซ์ก่อนนำเข้าเครื่อง

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันพริกผงเป็นหลัก แต่ก็ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการผลิตน้ำมันพริกผงด้วย เช่น อัตราส่วนพริกและน้ำมัน อัตราส่วนมอลโตเด็กซ์ตริน อัตราการป้อนน้ำมันเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ความชื้นในการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆดังที่กล่าวมาสามารถนำไปศึกษาเพื่อต่อยอดในการพัฒนากระบวนการผลิตน้ำมันพริกผงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

จตุพร จันทสุรวงศ์, จรัสแสง เหลี่ยมบาง, ธนัญญา เทียนไชยและ วารุณี จำเริญพูน. 2557. **การศึกษาผลของกระบวนการที่มีต่อคุณสมบัติของเก๋ากี้ผง.** กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

จวงจันทร์ ดวงพัตรา. 2526. **คุณภาพของเมล็ดพันธุ์พืชและพืชน้ำมัน.** กรุงเทพฯ : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฉลวย ทับศรีม่วงพราน. 2555. **การศึกษาผลการบริโภคผลิตภัณฑ์เสริมอาหารน้ำมันรำข้าวและจมูกข้าว.** ปทุมธานี : วารสารวิจัยบริษัทปฐมสิทธิ จำกัด.

ณัฐกิตติ์ บุริศรี, วริศรา จันทรและ เอื้อการย์ ทองฤทธิ์. 2558. **การศึกษาผลกระทบของกระบวนการเอนแคปซูเลชันที่มีผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันรำข้าวโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย**. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ณัฐวุฒิ ซื่อเจริญกิจ, ลภัสญดา จิรเพียงทอง, ผัสพร ผ่องมาลัยและ ภัชรินทร์ ชูศรีทอง. 2551. **ผลกระทบของตัวแปรในการเอนแคปซูเลชันน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย**. กรุงเทพฯ : วิทยานพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธงไชย พิมพา, นิชาภา ทวีทรัพย์สุนทรและ พิชญา ศรีมงคล. 2556. **การศึกษาเทคนิคการห่อหุ้มสารต้านอนุมูลอิสระจากเก๋ากี่.** กรุงเทพฯ : วิทยานพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2548. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน**. กรุงเทพฯ : โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮ้าส์. หน้า 61-72.

นิสากร มีจั่น, สยุมพร ใจดีและ สุวิสาส์ กาญจนพิมล. 2553. **การศึกษาการผลิตเครื่องดื่มผงจากถั่วเหลืองที่ผ่านการเพราะงอก.** กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เบญจา ชุตินทราศรี. 2550. **เทคโนโลยีส่วนผสมอาหารสังเคราะห์.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ปริมานันท์ เชิญธงไชย. 2556. **การสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม**. เชียงใหม่ : วารสารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หน้า 12-15.

มณีฉัตร นิกรพันธุ์. 2541. **พริก**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โอเดียวสโตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยุพา แก้วดานา. 2556. **ศักยภาพในการกันหืนของสารสกัดจากพืชท้องถิ่นที่บริโภคได้ในน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันปาล์ม**. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาสุขาภิบาลอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2547. **โฮโมจีไนเซชัน.** วิศวกรรมอาหาร : หน่วยปฏิบัติการในอุตสหากรรม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ. หน้า 191-198

วิไล รังสาดทอง. 2546 **การลดขนาดในอาหารเหลว**. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. หน้า 94-97.

สุพรรณ กาญจนสุธรรมและ อาวุธ ณ ลำปาง. 2518. **อิทธิพลของการลดจำนวนใบที่มีต่อผลผลิตและคุณภาพของเมล็ดถั่วเหลือง**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมพร คุ้มชาติ, นฤมล จียโชคและ คณิต กฤษณังกูร. 2538. **การคัดเลือกเอนไซม์ฟอสโฟไลเปสเพื่อใช้ขจัดยางเหนียวในน้ำมันถั่วเหลือง.** กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ สาขาทรัพยากรและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. **Moisture content.**[ออนไลน์]แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0830/moisture-content. (สืบค้นเมื่อ 29 พฤษภาคม 2560)

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และ นิธิยา รัตนาปนนท์. 2553. **Peroxide Value.**[ออนไลน์]แหล่งที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1615/peroxide-value. (สืบค้นเมื่อ 29 พฤษภาคม 2560)

AOAC. 2005. **Official Method of analysis of AOAC International. 18th edition**. AOAC Official Method 925.10., AOAC Official Method 996.01., AOAC Official Method 965.33. chapter 41. P 11-35. USA.

Amarasinghe, B.M.W.P.K., Kumasasiri, M.P.M. and Gangodavilage, N. C.. 2009. **Effect of Method of stabilization on Aqueous Extraction of Rice Brain oil**. Food and Bioproducts Processing, 87. P 108-114.

Balachandran, C., Mayamol, P. N., Thomas, S., Sukumar, D., Sundaresan, A. and Arumughan, C.. 2008. **An Ecofriendly Approach to Process Rice Bran for High Quality Rice Bran Oil Using Supercritical Carbondioxide for Nutraceutical Applications**. Bioresource Technology, 99. P 2905-2912.

Fennema, O.R.. 1996. **Food Chemistry Third Editions University of Wisconsin Madison**. P.95-156. New York.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fush, M., Turchiuli, C., Cuvelier, M.E., Ordonnaud, C.. 2005. **Enacpsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration**. Journal of food engineering, 75. P 27-35.

Jimenez, M.T., Turchiuli, C., Hernandez Sanchez, M., Cortes Ferre, H., Dumoulin, E.. 2014 **Use of different support of oil encapsulation in powder by spray drying.** Powder technology, 255. P 103-108.

Laohosongkram, K., Mahamaktudsanee, T. and Chaiwanichsiri, S.. 2011. **Microencapsulation of Macadamia oil by spray drying.** Procedia Food Scienca. P. 1660-1665.

Jafari, S.M., Assadpoor, E., Bhandari, B. and He, Y.. 2008. **Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying**. Food Research International, 41. P. 172–183.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ผลของผลิตภัณฑ์น้ำมันพริกผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงผลของผลิตภัณฑ์น้ำมันพริกผง

การทดลองครั้งที่	ชนิดน้ำมัน	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	%RH (%)	Feed rate (kg/hr)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณน้ำอิสระ	ปริมาณร้อยละที่ผลิตได้ (ร้อยละ)	ค่าเพอร์ออกไซด์
1	น้ำมันถั่วเหลือง	170	39	0.49	2.61	0.164	35.16	6.8
2	น้ำมันถั่วเหลือง	170	40	0.47	2.61	0.163	38.17	6.1
3	น้ำมันถั่วเหลือง	170	40	0.48	2.61	0.164	34.74	7.4
4	น้ำมันถั่วเหลือง	200	41	0.51	1.81	0.128	78.09	7.3
5	น้ำมันถั่วเหลือง	200	44	0.55	1.81	0.126	77.35	7.8
6	น้ำมันถั่วเหลือง	200	42	0.54	1.81	0.127	75.01	7.7
7	น้ำมันถั่วเหลือง	230	42	0.65	1.27	0.123	55.95	7.7
8	น้ำมันถั่วเหลือง	230	40	0.67	1.24	0.122	55	7.5
9	น้ำมันถั่วเหลือง	230	47	0.63	1.26	0.125	53.3	7.9
10	น้ำมันรำข้าว	170	40	0.97	4.15	0.257	9.95	3.2
11	น้ำมันรำข้าว	170	39	1.07	4.16	0.253	8.92	3.6
12	น้ำมันรำข้าว	170	45	0.94	4.14	0.256	11.47	4
13	น้ำมันรำข้าว	200	40	1.25	2.77	0.186	33.03	4.2
14	น้ำมันรำข้าว	200	42	1.40	2.77	0.184	30.98	4.1
15	น้ำมันรำข้าว	200	46	1.22	2.77	0.187	27.97	4.3
16	น้ำมันรำข้าว	230	39	1.62	1.34	0.147	44.66	2.4
17	น้ำมันรำข้าว	230	43	1.77	1.20	0.143	39.1	4.5
18	น้ำมันรำข้าว	230	48	1.67	1.25	0.153	37.55	4.8

ภาคผนวก ข. ภาพอุปกรณ์ วัถตุดิบ และผลิตภัณฑ์ในการทดลอง

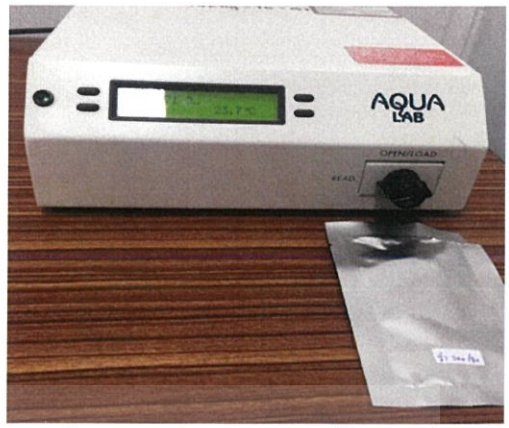
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย รุ่น JCM Minilab SDE-10

รูปที่ ข.2 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ รุ่น FT40 Multi-Purpose Processing Vessel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.3 ตู้อบลมร้อน รุ่น UN160 ยี่ห้อ Memmert, Germany



รูปที่ ข.4 เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระยี่ห้อ Aqua lab รุ่น Model SERIES 3TE

รูปที่ ข.5 ถ้วยอลูมิเนียม

รูปที่ ข.6 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น UX3200G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ข.7 หาค่าเพอร์ออกไซด์ (Peroxide Value)

รูปที่ ข.8 เครื่องปั่นอเนกประสงค์ PHILIPS รุ่น HR2115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค. ตารางการวิเคราะห์ทางสถิติของคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MC

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	18.435[a]	5	3.687	4538.510	.000
Intercept	96.133	1	96.133	118336.933	.000
OIL	3.151	1	3.151	3878.735	.000
TEMP	13.476	2	6.738	8294.144	.000
OIL * TEMP	1.808	2	.904	1112.762	.000
Error	.010	12	.001		
Total	114.578	18			
Corrected Total	18.445	17			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .999)

ตารางที่ ค.2 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AW

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.036[a]	5	.007	1215.536	.000
Intercept	.503	1	.503	84561.346	.000
OIL	.015	1	.015	2566.131	.000
TEMP	.017	2	.009	1469.729	.000
OIL * TEMP	.003	2	.002	286.047	.000
Error	7.133E-5	12	5.944E-6		
Total	.539	18			
Corrected Total	.036	17			

a. R Squared = .998 (Adjusted R Squared = .997)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณร้อยละผลผลิตที่ได้

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: YIELD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7669.727[a]	5	1533.945	306.901	.000
Intercept	30950.720	1	30950.720	6192.408	.000
OIL	3730.752	1	3730.752	746.423	.000
TEMP	3159.771	2	1579.886	316.093	.000
OIL * TEMP	779.204	2	389.602	77.949	.000
Error	59.978	12	4.998		
Total	38680.425	18			
Corrected Total	7729.705	17			

a. R Squared = .992 (Adjusted R Squared = .989)

ตารางที่ ค.4 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเพอร์ออกไซด์

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: PV

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	55.849[a]	5	11.170	27.770	.000	.920
Intercept	570.094	1	570.094	1417.360	.000	.992
OIL	53.734	1	53.734	133.593	.000	.918
TEMP	1.808	2	.904	2.247	.148	.272
OIL * TEMP	.308	2	.154	.383	.690	.060
Error	4.827	12	.402			
Total	630.770	18				
Corrected Total	60.676	17				

a. R Squared = .920 (Adjusted R Squared = .887)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้