การศึกษาผลกระทบจากการเติมเวย์โปรตีนและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนมมะละกอ

A Study of Effect of Addition of Whey Protein Isolate and Hot Air Inlet Temperature on Spray-Drying Behavior of Papaya milk

กษม ชุมคง
วนิสา สารการโกศล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี
สาขาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การศึกษาผลกระทบจากการเติมเวย์โปรตีนและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนมมะละกอ

A Study of Effect of Addition of Whey Protein Isolate and Hot Air Inlet Temperature on Spray-Drying Behavior of Papaya milk

กษม ชุมคง
วนิสา สารการโกศล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรี
สาขาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Study of Effect of Addition of Whey Protein Isolate and Hot Air Inlet Temperature on Spray-Drying Behavior of Papaya milk

Kasama Choomkong

Wanisa Sankrankosol

A THESIS SUMMITTED IN PARTIAL FUFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN FOOD ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาผลกระทบจากการเติมเวย์โปรตีนและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนมมะละกอ

A study of effect of additional of whey protein isolate and hot air inlet temperature on spray-drying behavior of papaya milk

ผู้จัดทำ

1. นายกษม ชุมคง 58010054
2. นางสาววนิสา สารการโกศล 58011090

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.วรีสา ชูวัฒนกูล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาผลกระทบจากการเติมเวย์โปรตีนและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนมมะละกอ

นักศึกษา นายกษม ชุมคง
นางสาววนิสา สารการโกศล
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วรีสา ชูวัฒนกูล
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอาหาร
พ.ศ. 2561

บทคัดย่อ

นมเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นโดยเฉพาะสำหรับเด็กทารก ในปัจจุบันได้มีการสร้างมูลค่าเพิ่มโดยการปรุงแต่งรสและกลิ่น โดยรสชาติที่นิยมได้แก่ รสช็อคโกแลต ละผลไม้ต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามน้ำนมเป็นอาหารที่เน่าเสียได้ง่าย จึงต้องได้มีการแปรรูปเพื่อยืดอายุของน้ำนม ซึ่งวิธีการที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่งคือการทำแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจากใช้เวลาในการทำแห้งน้อย และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีอายุการเก็บรักษาที่นาน งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (Hot air inlet temperature) และปริมาณ Whey Protein Isolate (WPI) ที่มีผลต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) ของนมมะละกอผง โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170°C ที่มี WPI อยู่ 10% สามารถให้ร้อยละของผลผลิตและคุณสมบัติทางกายภาพของนมมะละกอผงที่ดีสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	A study of effect of additional of whey protein isolate and hot air inlet temperature on spray-drying behavior of papaya milk
Student	Mr. Kasama Choomkong
	Ms. Wanisa Sankrankosol
Project Advisor	Dr. Varesa Chuwattanakul
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Food Engineering
Year	2018

ABSTRACT

Milk is a food that riches in essential nutrients, especially for babies. Currently, the value added of milk production was done by adding flavor. The most popular flavors are chocolate and various fruits. However, milk is easily spoiled. Therefore, it needs to be processed in order to preservation. One of the most effective methods is spray drying because of short time process and extended shelf life. Therefore, this research aims to study the effects of inlet air temperature and the amount of whey protein isolate (WPI) that affects spray drying of papaya milk powder. The results showed that 170°C of inlet air temperature and 10% of WPI affected the percentage of yield and papaya milk properties.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน โดยบุคคลแรกที่ทางคณะผู้จัดทำอยากกล่าวถึงเป็นอันดับแรกเนื่องจากเป็นบุคคลที่มีส่วนช่วยในการผลักดันและมอบความช่วยเหลือให้แก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างมาก คือ ดร.วรีสา ชูวัฒนกูล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งคอยช่วยเหลือ ดูแลเอาใจใส่ คอยให้คำชี้แนะ การวางแผนการดำเนินงาน รวมไปถึงคอยติดตามการดำเนินงานให้เป็นไปตามแผนการดำเนินงาน

ขอขอบคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ซึ่งคอยให้ความรู้ด้านอุปกรณ์และคอยให้ความรู้และคำปรึกษาด้านการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ รวมไปถึงเป็นผู้ที่คอยเตรียมวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ให้แก่ทางคณะผู้จัดทำเสมอมา

ขอขอบคุณ คุณ อำนาจ คูตะคุ เจ้าหน้าที่วิจัยประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร ผู้ซึ่งคอยให้คำแนะนำและคอยให้ความช่วยเหลือด้านการใช้เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย รวมไปถึงการช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองเสมอมา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ให้ความกรุณาประสิทธิ์ ประสาทวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์ให้กับคณะผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและบุคคลในครอบครัวของคณะผู้จัดทำ ผู้ซึ่งมอบโอกาสทางการศึกษาและการเลี้ยงดูอย่างดีพร้อมมาโดยตลอด และเหนือสิ่งอื่นใดคือการเป็นที่พึ่งทั้งทางกายและใจให้แก่คณะผู้จัดทำเสมอมา

นายกษม ชุมคง
นางสาววนิสา สารการโกศล
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูปภาพ	VIIII
บทที่ 1	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2	4
2.1 นม	4
2.2 มะละกอฮอลแลนด์	7
2.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย	9
2.4 ประเภทของตัวทำละออง	12
2.5 เอนแคปซูเลชัน	13
2.5 Glass transition temperature	18
2.6 หญ้าหวาน	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3	23
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ	23
3.2 การเตรียมการทดลอง	25
3.2.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ประกอบไปด้วย	25
3.2.2 ตัวแปรที่ศึกษาของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	26
3.3 แผนการทดลอง	27
3.3.1 การออกแบบแผนการทดลองของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	27
3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	28
3.4. วิธีการทดลอง	28
3.4.1 การเตรียมสาร	28
3.4.2 การทำแห้ง	29
3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะนมมะละกอผง	29
3.5.1 ร้อยละผลผลิตที่ได้ (%Yield)	29
3.5.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content, %)	30
3.5.3 ค่าสี (Color analysis)	30
3.5.4 ความสามารถในการละลาย (Solubility)	31
3.5.5 วอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity, a_w)	31
3.5.6 ความเป็นกรด – เบส (pH)	31
3.5.7 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids content)	32
บทที่ 4	33
4.1 คุณสมบัติวัตถุดิบของมะละกอ	33
4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย	34
4.2.1 ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% yield)	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความชื้น (Moisture content) 38

4.2.3 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) 39

4.2.4 ความสามารถในการละลาย (Solubility) 40

4.2.5 ความเป็นกรดด่าง (pH) 41

4.2.6 ค่าความสว่าง (L*) 42

4.2.7 ค่าความเป็นสีแดง (a*) 43

4.2.8 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*) 44

4.2.9 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid content) 45

4.3 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำนมมะละกอผง 46

บทที่ 5 47

5.1 สรุปผลการทดลองการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 47

5.2 ข้อเสนอแนะ 49

บรรณานุกรม 50

ภาคผนวก 52

ภาคผนวก ก. 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูเลท	23
3.1 เงื่อนไขในการดำเนินการทำแห้งแบบพ่นฝอย	26
4.1 คุณสมบัติเริ่มต้นนมมะละกอก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย	33
4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์นมมะละกอผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย	34
4.3 สัมประสิทธิ์ของสมการคุณสมบัติต่างๆ เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลกำลังสอง	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 นม	4
2.2 มะละกอฮอลแลนด์	7
2.3 ต้นมะละกอฮอลแลนด์	8
2.4 หลักการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย	10
2.5 โครงสร้างของไมโครแคปซูล	13
2.6 ไมโครแคปซูลแบบ Single core	14
2.7 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-core หรือ matrix encapsulation	14
2.8 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-wall หรือ control	15
2.9 การเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส	15
2.10 โครงสร้างเคมีของสตีวิออล ที่ R1 และ R2	20
2.11 ไร่หญ้าหวานบริเวณเขาใหญ่ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา	22
3.1 ขั้นตอนการเตรียมนมมะละกอในการทำแห้ง	24
4.1 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้	37
4.2 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และร้อยละความชื้น	38
4.3 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และปริมาณน้ำอิสระ	39
4.4 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และการละลาย	40
4.5 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และความเป็นกรดด่าง	41
4.6 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และค่าความสว่าง	42
4.7 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และค่าเป็นสีแดง	43
4.8 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และค่าความเป็นสีเหลือง	44
4.9 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และปริมาณแคโรทีนอยด์	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 สภาวะที่เหมาะสม	46
ก.1 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม Minitab 18	54
ก.2 หน้าต่างหลังจากใส่ข้อมูล	55
ก.3 เรียกใช้คำสั่ง Stat ในการวิเคราะห์ข้อมูล	55
ก.4 เรียกใช้คำสั่ง Analyze Response Surface Design	56
ก.5 ภาพแสดงของหน้าต่างหลังจากเรียกใช้ Analyze โดยที่ยังไม่ตั้งค่าตัวแปรต่างๆ	56
ก.6 ภาพแสดงหน้าต่างการตั้งค่าตัวแปร	57
ก.7 ภาพแสดงหลังจากตั้งค่าตัวแปร	57
ก.8 หน้าต่างแสดงการตั้งค่าช่วงของตัวแปร	58
ก.9 หน้าต่างหลังจากตั้งค่าตัวแปรทุกอย่างเรียบร้อย	58
ก.10 หน้าต่างหลังจากเลือกตัวแปรเสร็จ	59
ก.11 หน้าต่างตั้งค่าช่วงความเชื่อมั่น	59
ก.12 ตัวอย่างหน้าต่าง Session ที่แสดงข้อมูลหลังจากวิเคราะห์	60
ก.13 การเรียกใช้คำสั่ง Contour plot	61
ก.14 หน้าต่างของคำสั่ง Contour plot	61
ก.15 ตัวอย่างหน้าต่างของ Contour Plot	62
ก.16 หน้าต่างคำสั่งของ Surface plot	62
ก.17 ตัวอย่างของหน้าต่าง Surface Plot	63
ก.18 หน้าต่างคำสั่ง Response Optimizer	63
ก.19 หน้าต่าง Optimizer Plot	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

นมเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นสำหรับมนุษย์โดยเฉพาะในเด็กและทารก เนื่องจากนมเป็นแหล่งของโปรตีน แคลเซียม วิตามินบี2 และวิตามินบี12 ซึ่งมีส่วนช่วยในการซ่อมแซมระบบประสาทและกล้ามเนื้อ นอกจากนี้น้ำนมยังประกอบไปด้วยน้ำตาลแลคโทส ไขมันนม และน้ำ โดยน้ำคิดเป็นสัดส่วนมากถึงร้อยละ 85 สัดส่วนของน้ำที่มากนี้เองทำให้น้ำนมเป็นวัตถุดิบที่มีค่าแอคทิวิตี้ของน้ำสูง มี Enzyme และสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นการเก็บรักษาน้ำนมดิบจึงต้องมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูงและสร้างความไม่สะดวกต่อการขนส่ง จึงมีการแปรรูปน้ำนมดิบในหลากหลายรูปแบบ เช่น การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Dum drier), การทำให้เข้มข้นด้วยการระเหย (Evaporation) และการทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ซึ่งวิธีการที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทำแห้งสั้น ดังนั้นเพื่อเพิ่มมูลค่าจึงมีการปรุงแต่งรสและกลิ่นลงไป โดยรสชาติที่นิยมโดยทั่วไปมีหลากหลายรสชาติตั้งแต่รสช็อคโกแลต ตลอดจนรสผลไม้ต่างๆ เช่น สตรอว์เบอร์รี แคนตาลูป และ มะละกอ

มะละกอ (*Carica papaya L.*) เป็นผลไม้ที่จัดอยู่ในวงศ์ *Caricaceae* มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อนของทวีปอเมริกา เนื่องจากเป็นพืชเขตร้อนจึงสามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย มะละกอจัดเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญประเภทหนึ่ง ผลสุกของมะละกอจะมีสีเหลืองหรือสีส้มของแคโรทีนอยด์ (Carotenoid) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นทั้งสารต้านอนุมูลอิสระและสารต้านมะเร็งนอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของ pro-vitamin A (อุษาพร ภูคัสมาส, 2015)

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอยได้แก่ อัตราการไหลของอาหารเหลวขาเข้า (Feed rate), ความหนืดของอาหารเหลว(Viscosity), อุณหภูมิของลมร้อนขาเข้า (Inlet air temperature), ชนิดของสารที่ช่วยในการทำแห้ง (Carrier material) รวมทั้งส่วนประกอบหลักของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เช่น ห้องทำแห้ง ตัวทำละออง และอุปกรณ์แยกอนุภาคผงออกจากอากาศ ก็มีผลต่อการทำแห้งและร้อยละของผลผลิตที่ได้ (Percent yield) และคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เช่นกัน จากการทำการทดลองเบื้องต้นโดยการใช้ Maltose Dextrin เพียงชนิดเดียวเป็นสารช่วยในการทำแห้ง (Fang Y, 2012) พบว่าร้อยละของผลผลิตที่ได้มีค่าต่ำมาก (%yield = 3.75) จากศึกษางานวิจัย พบว่าปริมาณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ที่ได้(%yield) จากการเพิ่ม Whey Protein Isolated (WPI) เพียงเล็กน้อยสามารถเพิ่มปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ได้ประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณของแข็งเริ่มต้น(%yield>50) เนื่องจากคุณสมบัติในการลดแรงตึงผิวและการกระจายตัวที่ต่ำของโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงระหว่างกระบวนการทำแห้งซึ่งเกิดควบคู่ไปกับคุณสมบัติของการสร้างพื้นผิวระหว่างการทำแห้ง (Qilong Shi, 2013)

ดังนั้นในการเสนอหัวข้อโครงงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมุ่งเน้นการศึกษากรรมวิธีการทำแห้งนมมะละกอให้มีลักษณะเป็นผงโดยมุ่งเน้นการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งเป็นกระบวนการดึงความน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยการฉีดละอองของวัตถุดิบผ่านตัวทำละออง ส่งผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีลักษณะเป็นผง อย่างไรก็ตามคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ออกมาขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง รายงานฉบับนี้ได้มีการเปรียบเทียบการทำแห้งนมมะละกอผงด้วยการกำหนดตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลผลิตภัณฑ์ได้แก่ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (Inlet air temperature) และสัดส่วนของสารช่วยทำแห้งที่นำมาใช้ (Maltodextrin and Whey Protein Isolated) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษาได้แก่ ปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ คุณสมบัติการดูดความชื้น ความสามารถในการละลาย และคุณสมบัติทางเคมีได้แก่ ปริมาณแคโรทีนอยด์

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

1) เพื่อศึกษากระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยของนมมะละกอผง
2) เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและสัดส่วนของสารช่วยทำแห้งต่อกระบวนการทำแห้ง
3) เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของนมมะละกอผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1) วัตถุดิบที่ใช้คือเนื้อมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ (*Carica papaya L.*) จากตลาดหัวตะเข้ จังหวัดกรุงเทพมหานคร
2) ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย สัดส่วนของสารช่วยทำแห้งต่อของแข็งเริ่มต้น และ อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า
3) คุณสมบัติของนมมะละกอผงที่ศึกษาคือปริมาณผลผลิตที่ได้ ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ คุณสมบัติการดูดความชื้น ความสามารถในการละลาย และ ปริมาณแคโรทีนอยด์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เข้าใจกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
2) ทราบถึงผลกระทบของตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้
3) ทราบถึงผลกระทบของตัวแปรที่ส่งผลต่อเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
4) ได้แนวทางในการผลิตนมมะละกอผง ที่มีคุณลักษณะตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ตรวจเอกสาร

2.1 นม

นม (Milk) หมายถึง ของเหลวสีขาวที่มีลักษณะข้นกว่าน้ำเล็กน้อยที่ได้จากการรีดจากเต้านมของสัตว์ต่างๆ เช่น นมโค นมกระบือ นมแพะ นมแกะ นมม้า เป็นต้น น้ำนมที่รีดได้จากสัตว์ต่างๆโดยที่ยังไม่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยกรรมวิธีต่างๆเรียกว่า นมดิบน้ำนมประกอบด้วยสารอาหารต่างๆหลายชนิด เช่น

1. นมโค ประกอบด้วยมันเนย 4.0% โปรตีน 3.4% แลคโตส 4.9% เกลือแร่ 0.7% น้ำ 87.0%
2. นมกระบือ ประกอบด้วยมันเนย 12.5% โปรตีน 6.0% แลคโตส 3.7% เกลือแร่ 0.9% น้ำ 76.9%
3. นมแพะ ประกอบด้วยมันเนย 4.0% โปรตีน 3.7% แลคโตส 4.2% เกลือแร่ 0.8% น้ำ 87.3%
4. นมมารดา ประกอบด้วยมันเนย 3.7% โปรตีน 1.6% แลคโตส 6.9% เกลือแร่ 0.2% น้ำ 87.6%

นมโค เป็นนมที่รีดได้จากเต้านมของแม่โคหรือที่เรียกว่า นมสด ถือเป็นนมที่มีการผลิต และดื่มมากที่สุดในบรรดานมทั้งหมด เนื่องจากแม่โคหนึ่งตัวสามารถผลิตน้ำนม และรีดได้ในปริมาณมากกว่านมจากสัตว์อื่นๆ รวมถึงเป็นน้ำนมที่มีสารอาหารจำนวนมากเหมาะแก่การนำมาบริโภค และทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ (ศัลยา คงสมบูรณ์เวช, 2559)

รูปที่ 2.1 นม

(ที่มา : https://www.livescience.com/60997-udder-milk-raw-milk-cdc.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นมสดที่ผลิตในปัจจุบันแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

1. นมสดที่รีดได้จากแม่โคโดยไม่มีการเติมหรือแยกสิ่งใดออกจากน้ำนม

2. นมสดที่รีดได้จากแม่โค และมีการแยกมันเนยบางส่วนออกจากน้ำนมทำให้น้ำนมมีไขมันเนยน้อย เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการดื่มน้ำนมที่มีไขมันต่ำ

3. นมสดที่รีดได้จากแม่โคโดย และมีการแยกมันเนยทั้งหมดออกจากน้ำนมทำให้น้ำนมปราศจากไขมันเนย เหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการดื่มน้ำนมที่ไม่มีไขมัน

มาตรฐานของนมสด

1. ปราศจากเชื้อโรคทุกชนิดที่สามารถก่อโรคในคนได้

2. น้ำนมต้องไม่มีนมเหลืองเจือปน

3. ไม่มีสารพิษเจือปนที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ เช่น ยาฆ่าแมลง ยากำจัดวัชพืช เป็นต้น

4. นมสดต้องประกอบด้วยธาตุน้ำนม (ไม่รวมมันเนย) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 8.5 ของน้ำหนัก และมีมันเนยไม่ต่ำกว่าร้อยละ 3.2 ของน้ำหนัก

5. นมสดพร่องมันเนยต้องประกอบด้วยธาตุน้ำนม (ไม่รวมมันเนย) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 8.5 ของน้ำหนัก และมีมันเนยไม่ต่ำกว่าร้อยละ 0.1 แต่ไม่ถึงร้อยละ 3.2 ของน้ำหนัก

6. นมสดขาดมันเนยต้องประกอบด้วยธาตุน้ำนม (ไม่รวมมันเนย) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 8.8 ของน้ำหนัก และมีมันเนยไม่เกินร้อยละ 0.1 ของน้ำหนัก

7. ต้องผ่านความร้อนก่อนที่จะนำมาบริโภคหรือจำหน่ายแก่ผู้บริโภค

ลักษณะของนมโค

1. นมโคที่รีดได้จากแม่โคที่เป็นนมดิบจะมีสีขาวอมเหลืองเล็กน้อย โดยสีขาวเป็นสีของโปรตีนเคซีน (Casein) ส่วนสีเหลืองเป็นสีของคาโรตีน (Carotene)

2. นมโคมีค่าความเป็นกรด-ด่างประมาณ 6.6 จากคุณสมบัติของโปรตีน และเกลือแร่ที่เป็นองค์ประกอบของนม

3. นมโคมีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.032 ทำให้มีลักษณะหนืดกว่าน้ำเล็กน้อย

คุณภาพของนมโค

1. นมดิบเกรด เอ ที่ทำเป็นนมพาสเจอร์ไรซ์ เป็นนมที่ผลิตจากฟาร์มตามมาตรฐานทางด้านสุขาภิบาล โดยก่อนนำมาฆ่าเชื้อด้วยความร้อนต้องมีจุลินทรีย์ไม่เกิน 200,000 โคโลนี/นม 1 มิลลิเมตร นมเกรดนี้ใช้สำหรับการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์

2. นมดิบเกรด บี ที่ทำเป็นนมพาสเจอร์ไรซ์ เป็นนมที่ผลิตจากฟาร์มตามมาตรฐานทางด้านสุขาภิบาล โดยก่อนนำมาฆ่าเชื้อด้วยความร้อนต้องมีจุลินทรีย์ไม่เกิน 1,000,000 โคโลนี/นม 1 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรรมวิธีการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

1. นมพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurized milk) หมายถึง นมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 63 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 30 นาที หรือที่อุณหภูมิตั้งแต่ 72 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 16 นาที และเมื่อผ่าความร้อนแล้วต้องทำให้เย็นทันทีที่อุณหภูมิไม่สูงกว่า 5 องศาเซลเซียส

2. นมสเตอริไลซ์ (Sterilized milk) หมายถึง นมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาที่เหมาะสม

3. นม ยู เอส ที (Ultra high temperature milk : U.H.T) หมายถึง นมที่ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 1 นาที พร้อมบรรจุในภาชนะที่ปราศจากเชื้อโรค ทั้งนี้ นมทั้งสามชนิดจะต้องผ่านกระบวนการทำให้น้ำนมเป็นเนื้อเดียวกัน

สารอาหารในนมโค

1. โปรตีน

นมโคมีโปรตีนประมาณ 3.4 % ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็นสำหรับร่างกายครบถ้วน โดยเฉพาะกรดอะมิโนสำหรับการเจริญเติบโตของร่างกายที่เรียกว่า เอสเซนเชี่ยล อะมิโนเอสิด เช่น ลิวซีน เวลีน อาลานีน เมทีโอนีน ไอโซลิวซีน เป็นต้น

2. ไขมัน

ไขมันในน้ำนมโคหรือที่เรียกว่า มันเนย ประกอบด้วยไขมันชนิดอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว นิยมนำมาทำเป็นเนยเหลวสำหรับการใช้ประกอบอาหารหรือของหวานชนิดต่างๆในทุกวันนี้

3. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตในน้ำนมโคจะอยู่ในรูปของ น้ำตาลแลคโตส ที่เป็นองค์ประกอบของนมและเป็นน้ำตาลชนิดเดียวที่พบในน้ำนม น้ำตาลชนิดนี้มีคุณสมบัติในการควบคุมปริมาณของจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารจึงมีส่วนช่วยในระบบการขับถ่ายได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้น น้ำตาลแลคโตสยังเป็นสารสำคัญขององค์ประกอบนมที่สามารถนำนมมาผลิตเป็นโยเกิร์ตโดยกระบวนการหมักด้วยจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Lactobacillus* ที่กินน้ำตาลแลคโตสเป็นอาหาร

4. เกลือแร่

องค์ประกอบอื่นของน้ำนมนอกเหนือจากไขมัน โปรตีน และน้ำตาล แล้วยังประกอบด้วยเกลือแร่ชนิดต่างๆจำนวนหนึ่ง ได้แก่ แคลเซียม และฟอสฟอรัส จึงทำให้นมโคเหมาะสำหรับผู้หญิงตั้งครรภ์ เด็กที่กำลังเจริญเติบโต และผู้สูงอายุที่มีปัญหาในเรื่องกระดูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 มะละกอฮอลแลนด์

มะละกอฮอลแลนด์ (Holland Papaya) เป็นมะละกอสายพันธุ์หนึ่ง เป็นพืชล้มลุก เป็นผลไม้ที่รู้จักกันดี ผลเป็นผลเดี่ยว มีลักษณะทรงกรวย ไม่ยาวมาก มีเปลือกหนาผิวเรียบ ผลดิบมีสีเขียว มีน้ำยางสีขาวอยู่ที่เปลือก ผลสุกมีสีเหลืองเข้ม เนื้อหนานุ่มฉ่ำน้ำ เนื้อมีสีเหลืองอมส้ม มีรสชาติหวานอร่อย มีกลิ่นหอม มีถิ่นกำเนิดในประเทศไทย เป็นที่นิยมปลูกกันทั่วไปๆ ในประเทศ มีประโยชน์สรรพคุณทางยามากมาย นำมารักษาโรคต่างๆ ได้หลายอย่าง นิยมนำมารับประทานสุก นำมาประกอบอาหาร เมนูต่างๆ ได้หลายเมนู ใช้ทำเป็นเครื่องดื่มต่างๆได้

รูปที่ 2.2 มะละกอฮอลแลนด์

(ที่มา : https://www.organicfarmthailand.com/how-to-grow-papaya-holland/)

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Carica papaya* **อยู่ในวงศ์** : *Caricaceae*

มะละกอฮอลแลนด์ (Ma-la-kro-Holland) เป็นมะละกอสายพันธุ์หนึ่ง เป็นพืชล้มลุก เป็นผลไม้ชนิดหนึ่ง ลำต้นมีลักษณะกลมๆ ตรงใหญ่ ไม่มีแก่น ลำต้นอวบน้ำ ลำต้นมีตารอบๆ มีก้านใบล้อมรอบด้านบนต้น เปลือกต้นเรียบ แตกกิ่งก้านน้อย มียางขาวข้น มีรอยแผลเป็นของก้านใบที่หลุดร่วงไป มีสีเขียว ผลเป็นผลเดี่ยว มีลักษณะทรงกรวย ไม่ยาวมาก มีเปลือกหนาผิวเรียบ ผลดิบมีสีเขียว มีน้ำยางสีขาวอยู่ที่เปลือก ผลสุกมีสีเหลืองเข้ม เนื้อหนานุ่มฉ่ำน้ำ เนื้อมีสีเหลืองอมส้ม มีรสชาติหวานอร่อย มีกลิ่นหอม นิยมนำมารับประทานสุก นำมาประกอบอาหาร เมนูต่างๆ ได้หลายเมนู ใช้ทำเป็นเครื่องดื่มต่างๆได้

ลำต้น มีลักษณะกลมๆ ตรงใหญ่ ไม่มีแก่น ลำต้นอวบน้ำ ลำต้นมีตารอบๆ มีก้านใบล้อมรอบด้านบนต้น เปลือกต้นเรียบ แตกกิ่งก้านน้อย มียางขาวข้น มีรอยแผลเป็นของก้านใบที่หลุดร่วงไป มีสีเขียว

ราก มีระบบรากแก้ว แทงลึกลงในดิน มีลักษณะกลมๆ มีรากแขนง รากฝอยเล็กๆ มีสีน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบ เป็นใบเดี่ยว ก้านใบใหญ่ยาวเป็นหลอดกลวง ใบมีลักษณะใหญ่ยาว ขอบใบเว้าเป็นแฉกลึกถึงแกนก้าน มีรอยใบชัดเจน มีใบสีเขียว ภายในก้านใบ ใบมียางเหนียวสีขาวอยู่ ออกเรียงสลับรอบต้น ออกที่ปลายยอด ก้านใบเป็นหลอด มีลักษณะกลมกลวงยาว (ศัลยา คงสมบูรณ์เวช, 2559)

รูปที่ 2.3 ต้นมะละกอฮอลแลนด์

(ที่มา : http://www.nasithome.com)

ดอก จะออกตามซอกก้านใบ โดยสามารถแยกออกเป็นสองแบบ คือดอกเพศเมียและดอกเพศผู้

- ดอกเพศเมีย จะออกดอกเดี่ยวใหญ่ มีสีขาวนวล มีกลิ่นหอม ออกตามซอกใบ ดอกจะมีขนาดใหญ่กว่าดอกเพศผู้
- ดอกเพศผู้ ออกเป็นช่อ มีลักษณะยาวห้อยลง มีก้านดอกรองรับ ดอกมีสีขาว มีกลิ่นหอม ดอกเพศผู้เป็นดอกแยกเพศอยู่คนละต้น

ผล เป็นผลเดี่ยว มีลักษณะทรงกรวย ไม่ยาวมาก มีเปลือกหนาผิวเรียบ ผลดิบมีสีเขียว มีน้ำยางสีขาวอยู่ที่เปลือก ผลสุกมีสีเหลืองเข้ม เนื้อหนานุ่มฉ่ำน้ำ เนื้อมีสีเหลืองอมส้ม มีรสชาติหวานอร่อย มีกลิ่นหอม

เมล็ด อยู่ข้างในผล มีลักษณะทรงกลมรีเล็กๆ เมล็ดอ่อนมีสีขาว เมล็ดสุกมีสีดำ มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีขาวใส อยู่ภายในผลกินไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์และสรรพคุณมะละกอฮอลแลนด์

มีวิตามินซี มีวิตามินเอ มีโปรตีน มีวิตามินบี1 มีวิตามินบี2 มีวิตามินบี3 มีวิตามินบี5 มีวิตามินบี6 มีวิตามินบี9 มีแคลเซียม มีโซเดียม มีฟอสฟอรัส มีเหล็ก มีเบตาแคโรทีน มีคาร์โบไฮเดรต มีเส้นใย มีพลังงาน มีไลโคปีน มีน้ำตาล มีแมงกานีส มีโพเทสเซียม มีแมกนีเซียม มีสังกะสี

แก้อาการขัดเบา ช่วยขับปัสสาวะ เป็นยาระบายอ่อนๆ แก้ท้องผูก แก้โรคเลือดออกตามไรฟัน ใช้ทำน้ำยาขัดรองเท้าได้ ยางจากผลดิบ เป็นยาช่วยย่อยโปรตีน ใช้ฆ่าพยาธิ แก้โรคลักปิดลักเปิด ช่วยบำรุงผิวพรรณให้ความชุ่มชื้นแก่ผิว ช่วยบำรุงหัวใจ แก้ปวด ช่วยลดบวม ช่วยรักษาผดผื่นคัน ช่วยรักษาพุพอง ช่วยป้องกันโรคมะเร็ง ช่วยบำรุงประสาท ช่วยบำรุงสมอง

2.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย

เป็นเทคนิคการทำแห้งที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากเครื่องมือหาง่าย ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าวิธีการอื่น ๆ หลักการของระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอยเริ่มจากอากาศจะถูกดูดผ่านตัวกรองอากาศและผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศให้สูงขึ้นเป็นลมร้อนส่งเข้าห้องทำแห้ง ส่วนอาหารเหลวจะถูกดูดผ่านปั๊มไปยังหัวอัดฉีดภายในห้องอบแห้งเพื่อทำให้เป็นละอองฝอย ทำให้ละอองฝอยของอาหารสัมผัสกับลมร้อนเกิดการระเหยของน้ำในละอองฝอยอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่ากระเปาะเปียกเล็กน้อย อนุภาคที่แห้งของอาหารจะลอยกระจายในลมร้อนแล้วเข้าสู่เครื่องแยกไซโคลนออกจากเครื่องเป็นผลิตภัณฑ์ผง สำหรับตัวอย่างอาหารเหลวที่นำมาทำแห้งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Solution) หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-Homogeneous Solution) อาหารเหลวที่ป้อนเข้าไปจะถูกควบคุมให้เหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งปัจจัยที่ถูกควบคุมให้เหมาะสมกับคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ เช่น ความหนืด ความเข้มข้น องค์ประกอบทางเคมีของอาหาร ลักษณะการไหล ชนิดหัวอัดฉีด การส่งผ่านความร้อนและมวล การแยกอาหารแห้งออกจากกระแสลม เป็นต้น (วริพัสย์ อารีกุล, 2557)

1. หลักการของการทำแห้งแบบพ่นฝอย

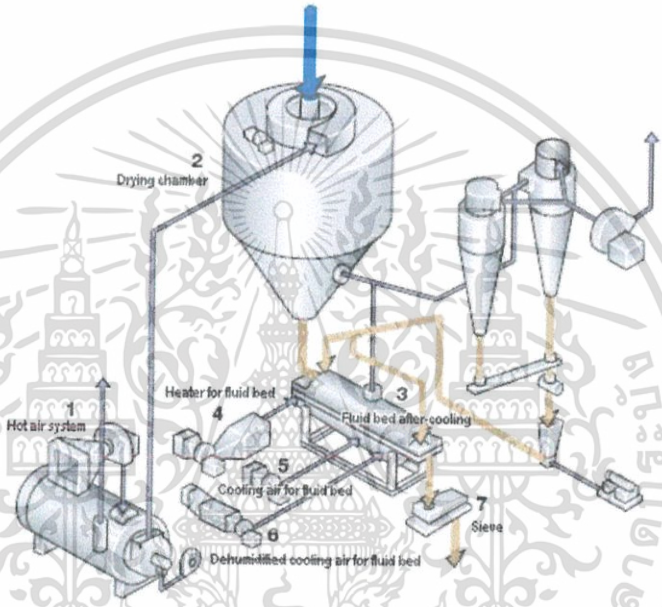
การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยใช้อากาศร้อน กระบวนการทำแห้งจะเกิดขึ้นโดยการทำให้ของเหลว(Feed) แตกเป็นละอองหรือหยดเล็กๆ ภายในห้องทำแห้งที่มีอากาศร้อนไหลผ่าน เนื่องจากของเหลวมีลักษณะเป็นหยดเล็กๆ พื้นที่ผิวของของเหลวที่จะสัมผัสกับลมร้อนจึงมีมาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในรูปของผงแห้ง สำหรับตัวอย่างของของเหลวที่นำมาใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้นสามารถเป็นได้ทั้งสารละลาย สารประเภทอิลมัลชัน (Emulsion) หรือสารแขวนลอยก็ได้

2. ขั้นตอนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

กระบวนการของ spray dryer เริ่มจาก อากาศจะถูกดูดผ่าน filter และผ่านตัวให้ความร้อนจากนั้นจึงเข้าสู่ห้องอบแห้ง (Drying chamber) ส่วนวัตถุดิบที่ใช้ (Feed) ควรมีลักษณะเหลวจากนั้นสารละลาย



รูปที่ 2.4 หลักการทำงานของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

(ที่มา : http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0971/spray-drier)

ของเหลวจะถูกดูดโดยปั๊มผ่านหัวฉีด(Atomizer) ภายในห้องอบและจุดสัมผัสกับอากาศร้อนทำให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกเล็กน้อย จะได้ผงผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่างของ drying chamber และผงบางส่วนที่หลุดมากับอากาศจะถูกแยกโดยใช้ cyclone จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายในกระบวนการอบด้วย spray dryer นั้นประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ

1. การทำให้ feed กระจายตัวเป็นละออง (Atomization of feed)

กระบวนนี้ทำให้ feed เป็นละอองโดยใช้ atomizer ซึ่งถือว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดของ spray dryer โดยลักษณะของ atomizer มี 3 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 Rotary Atomizer

Atomizer ชนิดนี้ feed จะไหลลงบนจานหมุน ซึ่งใกล้กับจุดศูนย์กลางโดยจานหมุนจะมีความเร็วรอบสูงประมาณ 5,000-10,000 รอบต่อนาที และ feed จะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองโดยขนาดเฉลี่ย 30-120 mm ซึ่งขนาดเฉลี่ยนี้จะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลของ feed ความหนืดและแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน

1.2 Pressure Nozzles

วิธีนี้ feed จะไหลผ่าน orifice ภายใต้ ความดันสูง ทำให้ของเหลวที่ออกมาจากหัวฉีดเป็นฝอยโดยไม่ใช้อากาศ อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ย 120-250 mm โดยขนาดอนุภาคจะแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลของ feed ความหนืด และแปรผกผันกับความดัน

1.3 Two-fluid Nozzle (Pneumatic Nozzle)

อุปกรณ์ชนิดนี้ feed และอากาศจะไหลผ่านหัวของ nozzle ซึ่งจะทำให้ feed แตกเป็นละอองฝอยเนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายใน nozzle การปรับอัตราการไหลของอากาศจะช่วยในการกระจายเป็นละอองของ feed วิธีนี้นิยมใช้กับ feed ที่มีความหนืดสูง อย่างไรก็ตามวิธีนี้ มีค่าดำเนินการที่สูงและให้ผลผลิตที่ต่ำ

2. การสัมผัสของละอองฝอยกับอากาศ

พิจารณาจากตำแหน่งของ atomizer กับอากาศแห้งขาเข้าโดยจะแบ่งเป็น

2.1 การไหลผ่านทางเดียวกัน (Co-current flow) อาหารเหลวและลมร้อนป้อนเข้าในทิศทางเดียวกัน อุณหภูมิลมร้อนจะลดลงระหว่างการทำแห้ง เหมาะกับอาหารที่ไวต่อความร้อน

2.2 การไหลผ่านสวนทางกัน (Counter-current flow) อาหารเหลวและลมร้อนจะถูกป้อนในทิศทางตรงกันข้าม อุณหภูมิของอาหารจะเพิ่มขึ้นจนเท่ากับอุณหภูมิของลมร้อน เหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนและต้องการความร้อนมาก

2.3 การไหลผ่านแบบผสม (Mixed flow) ลมร้อนถูกป้อนเข้าทั้งด้านบนและด้านล่าง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพขอการทำแห้ง

3. การระเหยของละอองฝอย

เมื่อละอองสัมผัสกับอากาศแห้งร้อน จะเกิดการระเหยชั้นไออิ่มตัวบริเวณผิวของละอองอย่างรวดเร็ว โดยจะมีอุณหภูมิที่ผิวละอองที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอุณหภูมิอากาศแห้งจะแพร่สู่ผิวหนังซึ่งอยู่ในสภาวะอิ่มตัว ช่วงนี้จึงเป็นช่วงที่อัตราระเหยคงที่ จนกระทั่งความชื้นต่ำไม่มีการแพร่สู่ผิวหน้า ทำให้เกิดชั้นแห้งหนาขึ้นตามเวลา ช่วงนี้อัตราการระเหยจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ขั้นตอนการแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากอากาศ

การแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอากาศนั้น โดยทั่วไปนิยมใช้ cyclone เป็นตัวเก็บผลผลิตภัณฑ์ที่ตกลงสู่ด้านล่างของ cyclone ส่วนลมที่ออกจากด้านบนของ cyclone จะผ่านไปยังตัวเก็บขั้นสุดท้ายทั้งนี้อาจเป็น wet scrubber หรือ bag filter หรือ electrostatic precipitator ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณผง ที่มีและประสิทธิภาพการนำกลับมา

2.4 ประเภทของตัวทำละออง

หัวอัดฉีด มีหน้าที่ทำให้อาหารเหลวแตกตัวเป็นละอองฝอย เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับความร้อนให้มากขึ้นและยังเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลของอาหารเหลวไปยังห้องอบแห้ง ซึ่งเป็นทั้งตัวกำหนดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ผงที่ได้และขนาดอีกด้วย ในเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยหัวอัดฉีด หรือหัวอัดฉีดมีหลายระบบด้วยกัน ซึ่งในแต่ละระบบนั้นมีผลของคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันการเลือกชนิดของตัวทำละออกนั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของเหลวเริ่มต้น เช่นความหนืด และคุณสมบัติของอาหารผงที่ต้องการ เช่น ขนาดของอนุภาค การละลาย ความหนาแน่น การเปียกน้ำ เป็นต้น หัวอัดฉีดที่นิยมใช้ได้แก่

1) หัวฉีดแรงดันสูง (Centrifugal Pressure Nozzle)

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

2) หัวฉีดแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizers)

หัวฉีดชนิดนี้จะฉีดอาหารเหลวลงบนจานหมุนใกล้กับจุดศูนย์กลางจานหมุนจะหมุนด้วยความเร็วรอบ 5,000–10,000 รอบต่อนาที สารละลายจะถูกเหวี่ยงและกระจายออกเป็นแผ่น หัวฉีดประเภทนี้สามารถใช้กับอัตราการป้อนและคุณสมบัติของเหลวได้ในช่วงกว้าง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของจานหมุนและอัตราการป้อน

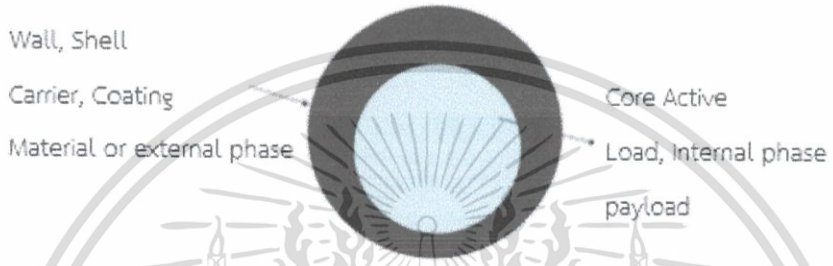
3) หัวฉีดแบบของไหลสองชนิด (Two – Fluid Atomizers)

เป็นการใช้กระแสก๊าซความแรงสูงเพื่อให้กระทบอาหารเหลวที่ความเร็วต่ำ และจึงแตกออกเป็นละอองฝอย โดยทั่วไปหัวฉีดเหล่านี้มักใช้กำลังมากและอาจไม่ประหยัดที่ความจุสูง หยดของเหลวละเอียดเล็ก ๆ สามารถเกิดขึ้นที่อัตราการไหลต่ำและใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ความหนืดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เอนแคปซูเลชัน

เอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการที่สารหรือส่วนผสมของสารถูกเคลือบด้วยสาร ชนิดอื่น สารที่ถูกเคลือบ (Coated) หรือ ถูกยึดจับไว้ (Entrapped) ส่วนใหญ่จะเป็น ของเหลว แต่บางครั้งอาจเป็นอนุภาคของแข็งหรือก๊าซซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันไปเช่น core material หรือ internal phase สารที่นำมาเคลือบจะเรียกว่า wall material, carrier, membrane, shell หรือ coating



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไมโครแคปซูล

(ที่มา : http://e-book.ram.edu/)

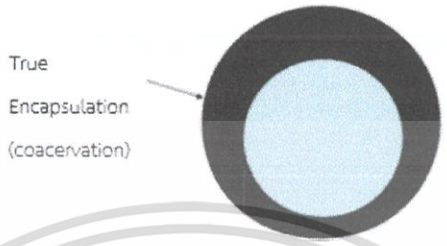
จุดประสงค์ของการเอนแคปซูเลชั่น

1. ป้องกันการสลายตัวของสารที่ถูกกักเก็บไว้ โดยลดการทำปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อมเช่น ความร้อน แสง ความชื้น และอากาศ
2. ช่วยรักษากลิ่น
3. ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
4. ลดการระเหยหรืออัตราการถ่ายเทมวลสารที่ถูกกักเก็บกับสิ่งแวดล้อมภายนอก
5. เพิ่มอายุการเก็บรักษา
6. ความคุมการปลดปล่อยของสารที่ถูกกักเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของไมโครแคปซูลที่ผลิตโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชัน

1. Single core (True encapsulation) เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลท โดยใช้เทคนิค coacervation



รูปที่ 2.6 ไมโครแคปซูลแบบ Single core

(ที่มา : http://e-book.ram.edu/)

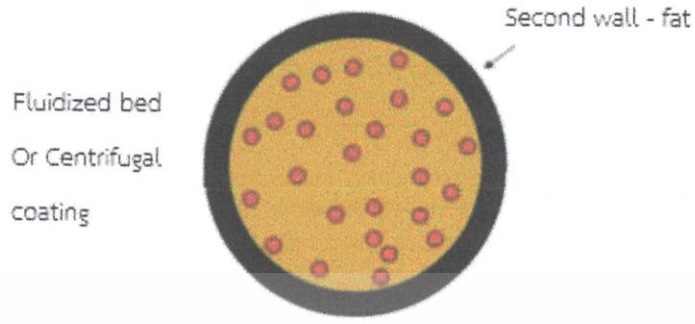
2. Multi-core หรือ matrix encapsulation เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสส่วนใหญ่ที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย สเปรย์ชิลลิง สเปรย์คูลลิง เอ็กซ์ทรูชันในการเอน แคปซูเลท

รูปที่ 2.7 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-core หรือ matrix encapsulation

(ที่มา : http://e-book.ram.edu/)

3. Multi-wall หรือ control release เป็นรูปแบบของไมโครแคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่มีการเคลือบผิวครั้งที่สองโดยใช้ เทคนิค fluidized bed หรือ centrifugal coating ทำให้สามารถควบคุมการปลดปล่อยสาร ให้กลิ่นรสในสภาวะที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

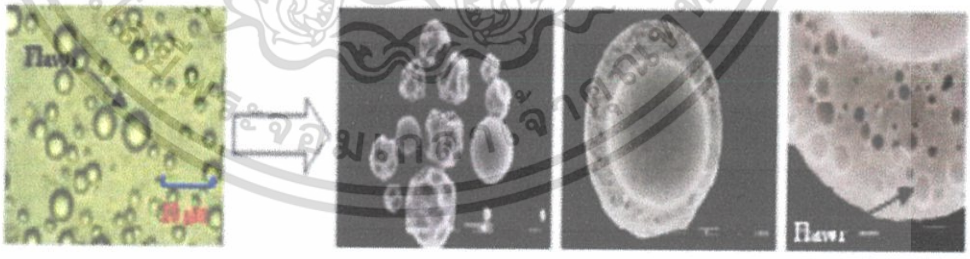


รูปที่ 2.8 ไมโครแคปซูลแบบ Multi-wall หรือ control

(ที่มา : http://e-book.ram.edu/)

การเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสสามารถปกป้องสารให้กลิ่นรสที่อาจทำปฏิกิริยา กับส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหาร ลดการเกิดกลิ่นแปลกปลอมที่เกิดจากสารให้กลิ่นรสทำ ปฏิกิริยากัน ปกป้องสารให้กลิ่นรสจากแสงและ/หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยืดอายุการเก็บ รักษาสารให้กลิ่นรส หรือ ควบคุมการปลดปล่อยสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหาร (Reineccius, 1991; Tari & Singhal, 2002)

โดยทั่วไปการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการ 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกจะเป็นการทำให้เกิดอิมัลชันของสารแกนกลางและ สารเคลือบโดยสารเคลือบที่ใช้ได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) หรือ โปรตีน ขั้นตอนที่ 2 เป็นขั้นตอนของการอบแห้งหรือทำให้อิมัลชันเย็นตัวลง เทคนิคการเอนแคปซูเลทที่เลือกใช้จะมีอิทธิพลต่อการแพร่กระจายของสารให้กลิ่นรส และความเสถียรของสารให้กลิ่นรสในผลิตภัณฑ์อาหารระหว่างการเก็บรักษา



รูปที่ 2.9 การเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรส

(ที่มา : Madene et al., 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลท

1. สตาร์ช (Starch) และ ingredients ที่ผลิตได้จากสตาร์ช เช่น สตาร์ชดัดแปร (modified starch), มอลโตเดกซ์ทริน และ บีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน (Beta–cyclodextrin) ถูกนำมาใช้ เป็นสารเคลือบในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อกักเก็บและ ปกป้องสารให้กลิ่นรส กลไกการจับตัวระหว่างสารให้กลิ่นรสและสตาร์ชแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบโดย รูปแบบแรก สารให้กลิ่นรสจะถูกล้อมรอบด้วย amylase helix โดยการจับกันเป็นแบบ hydrophobic bonding ซึ่งสตาร์ชจะกักสารให้กลิ่นรสไว้ภายในโมเลกุล (Inclusion complex) รูปแบบที่สองจะเกิด polar interaction โดยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) ระหว่าง hydroxyl groups ของสตาร์ชและ สารให้กลิ่นรส

2. มอลโตเดกซ์ทริน มอลโตเดกซ์ทรินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายแป้งข้าวโพดบางส่วนโดยการใช้กรดหรือเอนไซม์ โดยผลิตจำหน่ายในรูป Dextrose Equivalent (DEs) DE value เป็นการวัดระดับ (Degree) ของการย่อยสลายพอลิเมอร์ของสตาร์ชซึ่ง เป็นดัชนีบ่งบอกความสามารถในการทำให้เกิดเมทริกซ์ซึ่งมีส่วนสำคัญในการทำให้เกิด การเคลือบผิว

3. กัม (Gum) Gum arabic เป็นกัมที่ถูกนำมาใช้ในรูปของสารเคลือบเนื่องจากสามารถละลาย ได้ดี มีความหนืดต่ำ มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และ สามารถกักเก็บสารให้ กลิ่นรสได้ดี ไมโครแคปซูลที่ได้จากการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสโดยใช้เทคนิคการ อบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray-dried particles) โดยใช้ส่วนผสมของมอลโตเดกซ์ทริน และ gum arabic เป็นสารเคลือบ จะมีขนาดตั้งแต่ 10-200 ไมครอน และ สามารถกักเก็บสาร ให้กลิ่นรส ได้ > 80% ขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่อุณหภูมิขาเข้าของอากาศร้อน, ความเข้มข้นของอิมัลชัน ความหนืด และสัดส่วน ของ gum arabic และ มอลโตเดกซ์ทริน

4. โปรตีน (Protein) โปรตีนจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติทางหน้าที่ของสารเคลือบ เช่น ค่าการละลาย (Solubility), ความหนืด (Viscosity), emulsification และ คุณสมบัติของการทำให้เกิด ฟิลม์ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้ดีในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน ระหว่างการเกิดอิมัลชัน โมเลกุลของโปรตีนจะดูดซับที่บริเวณ oil-water interface อย่างรวดเร็วทำให้เกิด stericstabilizing layer ขึ้นทันทีจึงสามารถปกป้องหยดน้ำมัน (Oil droplets)จากการกลับมา รวมตัวอีกครั้ง (Recoalescence) ทำให้เกิดความเสถียรทางกายภาพของอิมัลชันระหว่าง กระบวนการผลิตและการเก็บรักษา

4.1. เวย์โปรตีน (Whey protein)

1. เวย์โปรตีนจะให้คุณสมบัติทางหน้าที่ (Functional properties) ที่ต้องการในการ ใช้เป็นสารเคลือบ (Amrita et al., 1999) เวย์โปรตีนที่จัดจำหน่ายใน international market จะอยู่ในรูปของ whey protein isolates (มีปริมาณโปรตีน 95-96%) หรือ whey protein concentrate (WPC-50, WPC-70) powderเวย์โปรตีนเป็นสารเคลือบที่สามารถต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการ เอนแคปซู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลทน้ำมันส้ม (Microencapsulated orange oil) โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบ พ่นฝอย (Kim & Morr, 1996) การใช้เวย์โปรตีนร่วมกับคาร์โบไฮเดรตสามารถใช้เป็น สารเคลือบในการเอนแคปซูเลท สารให้กลิ่นรส (Young et al., 1993b; Sheu & Rosenberg, 1995)โดยเวย์โปรตีนจะทำหน้าที่เป็น อิมัลซิไฟเออร์และทำให้เกิดฟิล์มใน ขณะที่คาร์โบไฮเดรต (มอลโตเดกซ์ทริน หรือ corn syrup solids) จะทำหน้าที่เป็นสารที่ ทำให้เกิดเมทริกซ์

2. โปรตีนชนิดอื่นๆ Protein-based material เช่น polypeptone, โปรตีนถั่วเหลือง (Soy protein) หรือ อนุพันธุ์ของเจลาทิน (Gelatin derivative) มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดอิมัลชันที่เสถียร กับสารให้กลิ่นรส
3. เจลาทินเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายคอลลาเจน (Collagen) ถูกนำมาใช้ ในรูปของสารเคลือบในการเอนแคปซูเลทสารให้กลิ่นรสโดยเทคนิค complex coacervation และ เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เนื่องจาก สามารถละลายน้ำได้ดีและมีคุณสมบัติในการเคลือบผิว (ไมโคร แคปซูลของสารให้กลิ่นรสที่ได้โดยใช้เจลาทินเป็นสารเคลือบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ใน ผลิตภัณฑ์เครื่องปรุงรส (Seasoning)

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะเฉพาะของสารเคลือบแต่ละชนิดที่ใช้ในการเอนแคปซูเลท

สารให้กลิ่นรส ชนิดของสารเคลือบ	คุณลักษณะเฉพาะ
Maltodextrin (DE<20)	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Glass transition temperature

2.5.1 การเกิดกลาสทรานซิชันกับกระบวนการอบแห้งอาหาร

กลาสทรานซิชัน (Glass Transition) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะลำดับที่สอง (Second-order Transition)ของวัสดุ ซึ่งพบได้ในวัสดุที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานหรือกึ่งผลึก (Amorphous or Semi-crystalline Material) เช่น สารโพลีเมอร์ นมผง น้ำตาล แป้ง เป็นต้น โดยเมื่อวัสดุมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่เรียกว่าอุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานซิชัน (Glass Transition Temperature)ส่วนที่มีโครงสร้างเป็นอสัณฐานในวัสดุจะเปลี่ยนสถานะจากสถานะคล้ายแก้ว (Solid-like Glassy State) ซึ่งมีลักษณะแข็งเปราะ มีความหนืดประมาณ 10 ปาสคาล.วินาทีและมีโครงสร้างจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ แต่เป็นระเบียบน้อยกว่าของแข็ง กลายเป็นสถานะคล้ายยาง (Liquid-like Rubbery State) ซึ่งมีลักษณะเหนียวหนืบ โครงสร้างจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ โดยโครงสร้างจะไม่เป็นระเบียบน้อยกว่าของเหลว และมีความหนืดประมาณ 10 ถึง 10 ปาสคาล.วินาที โดยที่อุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานซิชันนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของวัสดุ น้ำหนักโมเลกุลของวัสดุ ความชื้นของวัสดุ เป็นต้น โดยเฉพาะความชื้นของวัสดุ หรือปริมาณน้ำในวัสดุ เนื่องจากน้ำสามารถทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ซึ่งมีหน้าที่ทำให้โครงสร้างของวัสดุนุ่ม และง่ายต่อการเกิดกลาสทรานซิชันมากขึ้น วัสดุที่มีน้ำมากหรือมีความชื้นสูงจึงมีอุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานซิชันต่ำลงโดยที่อุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานซิชันที่แปรผันตามความชื้นหรือปริมาณน้ำในวัสดุนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการของ Gordon-Taylor ดังสมการที่ (1) หรือสามารถคำนวณได้จากสมการของCouchmann-Karasz ดังสมการที่ (2) รวมทั้งยังสามารถหาได้จากการวิเคราะห์วัสดุที่มีความชื้นในระดับต่างๆ ด้วยเครื่องที่มีชื่อว่าDifferential Scanning Calorimeter (DSC) (สวนิต อิชยาวณิชย์, 2555)

$$T_g = \frac{w_1 T_{g1} + k T_{g2} w_2}{w_1 + k w_2} \quad (1)$$

เมื่อ Tg คืออุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานซิชันของวัสดุ(องศาเซลเซียส)
w1 คือสัดส่วนโดยน้ำหนักของวัสดุ
w2 คือสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำในวัสดุ
Tg1 คืออุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานซิชันของวัสดุแห้ง (ความชื้นร้อยละ 0) (องศาเซลเซียส)
Tg2 คืออุณหภูมิในการเกิดกลาสทรานซิชันของน้ำซึ่งเท่ากับ -135 องศาเซลเซียส
k คือค่าคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_g = \frac{w_1 T_{g1} + \left(\frac{\Delta C_{p2}}{\Delta C_{p1}}\right) T_{g2} w_2}{w_1 + \left(\frac{\Delta C_{p2}}{\Delta C_{p1}}\right) w_2} \quad (2)$$

เมื่อ ΔCp1 คือความแตต่างระหว่างความจุความร้อนของน้ำในสถานะคล้ายแก้วและสถานะคล้ายยาง (จูล/กิโลกรัมองศาเซลเซียส)

ΔCp2 คือความแตกต่างระหว่างความจุความร้อนของวัสดุในสถานะคล้ายแก้วและสถานะคล้ายยาง(จูล/กิโลกรัม.องศาเซลเซียส)

การอบแห้งอาหารเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถทำให้เกิดกลาสทรานซิชันในอาหารได้ เนื่องจากหลักการสำคัญของการอบแห้ง คือให้ความร้อนกับอาหาร เพื่อกำจัดน้ำ ซึ่งเป็นปัจจัยในการดำรงชีวิตที่สำคัญของจุลินทรีย์และเป็นปัจจัยสำคัญในการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสียของอาหาร ซึ่งในระหว่างกระบวนการอบแห้ง จะมีตัวกลาง เช่น ลมร้อน หรือไอน้ำ ทำหน้าที่ในการถ่ายเทความร้อนให้กับอาหาร ทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น และน้ำในอาหารได้รับความร้อนจนสามารถระเหยออกจากชิ้นอาหารได้ ดังนั้นในระหว่างการอบแห้งอุณหภูมิและความชื้นของอาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และเนื่องจากอาหารส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นกึ่งอสัณฐาน ทำให้สภาวะเหมาะสมแก่การเกิดกลาสทรานซิชันซึ่งการเกิดกลาสทรานซิชันนี้ส่งผลให้อาหารมีสถานะที่แตกต่างกันไปในระหว่างการอบแห้ง โดยการที่อาหารมีสถานะแตกต่างกันระหว่างการอบแห้งนี้ พบว่ามีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหารระหว่างการอบแห้ง ซึ่งโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหารนี้เป็นส่วนสำคัญในการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางกายภาพของอาหารที่เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารแห้งที่ผลิตได้

2.5.2 ผลกระทบของการเกิดกลาสทรานซิชันระหว่างการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพอาหาร

คุณลักษณะทางกายภาพ เช่น สี กลิ่น รส ลักษณะปรากฏเป็นลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งในการกำหนดคุณภาพของอาหาร เนื่องจากคุณลักษณะเหล่านี้เป็นคุณลักษณะที่ผู้บริโภคสัมผัสได้ตั้งแต่แรกเห็นอาหารชนิดนั้นๆ และคุณลักษณะทางกายภาพมักใช้เป็นเกณฑ์สำคัญในการตัดสินใจเลือกซื้ออาหาร คุณลักษณะทางกายภาพสามารถแปรเปลี่ยนได้จากหลายปัจจัย แต่ปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหารที่เกิดขึ้นระหว่ากระบวนการแปรรูป โดยกระบวนการแปรรูปที่ส่งผลต่อโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหารอย่างชัดเจนกระบวนการหนึ่ง คือ การอบแห้งอาหาร โดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหารระหว่างการอบแห้งบางอย่างนั้นเกิดจากการที่อาหารเกิดกลาสทรานซิชันหรือมีการเปลี่ยนสถานะ ส่งผลให้กระบวนการต่างๆ ที่มีกลไกเกี่ยวข้องกับโครงสร้างและคุณสมบัติของอาหาร อาทิเช่น การสูญเสียกลิ่นของอาหาร การหดตัวของชิ้นอาหาร การเกาะตัวกันของชิ้นหรืออนุภาคอาหาร และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี เกิดขึ้นได้ในระดับที่แตกต่างกันไป

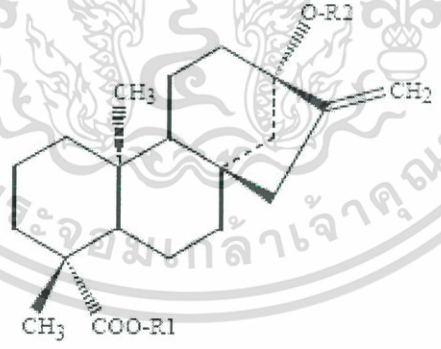
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดกลาสทรานซิชันและกระบวนการการสูญเสียกลิ่นของอาหาร การหดตัวของชิ้นอาหารการเกาะตัวกันของชิ้นหรืออนุภาคอาหาร และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี

2.6 หญ้าหวาน

หญ้าหวานเป็นพืชที่ให้ความหวานโดยธรรมชาติ ประเทศไทยอนุญาตให้ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับชาสมุนไพรตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2553 (ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่อง กำหนดรายชื่อพืชหรือส่วนของพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับชาสมุนไพร ประกาศ ณ วันที่ 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553) หญ้าหวานมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Stevia Rebaudiana Bertoni* หรือที่เรียกสั้นๆว่า Stevia อยู่ในวงศ์ Asteraceae (Compositae) หญ้าหวานเป็นไม้ล้มลุกขนาดเล็กสูงประมาณ 30 - 90 เซนติเมตร ใบเดี่ยว รูปใบหอกกลับ ขอบใบหยัก มีดอกช่อสีขาว ลักษณะคล้ายต้นโหระพา ชอบอากาศค่อนข้างเย็นอุณหภูมิประมาณ 20 - 26 องศาเซลเซียส และขึ้นได้ดีเมื่อปลูกในพื้นที่สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 600 - 700 เมตร มีการนำมาปลูกในประเทศไทยตั้ง แต่ปี พ.ศ. 2518 โดยพื้นที่ปลูกที่เหมาะสมคือทางภาคเหนือ ใบหญ้าหวานแห้ง สกัดด้วยน้ำได้สารหวานประมาณร้อยละหนึ่ง ซึ่งสารหวานเหล่านี้มีความหวานมากกว่าน้ำตาลทราย 150 - 300 เท่า มีความคงตัวสูงทั้ง ในตัวทำละลาย กรดอ่อน เบสอ่อน และทนความร้อนได้ถึง 200 องศาเซลเซียส จึงไม่สลายตัวหรือเปลี่ยนสภาพจากความร้อนในการปรุงอาหารใช้ในปริมาณน้อยไม่มีพิษและปลอดภัยในการบริโภค (พิสมัย กุลกาญจนาธร, 2557)

สารสกัดบริสุทธิ์จากใบหญ้าหวาน: สตีวิออลไกลโคไซด์



รูปที่ 2.10 โครงสร้างเคมีของสตีวิออล ที่ R1 และ R2 คือ H ซึ่งเป็นอะไกลโคนของสตีวิออลไกลโคไซด์ สารประกอบสตีวิออลไกลโคไซด์ จะแตกต่างกันที่หมู่น้ำตาล กลูโคส และแรมโนส ที่ตำแหน่ง R1และ R2 (ที่มา : พิสมัย กุลกาญจนาธร., 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารสกัดธรรมชาติบริสุทธิ์จากใบหญ้าหวาน เป็นสารประกอบไกลโคไซด์ของสารกลุ่มไดเทอพีนที่เรียกว่า สติวิออลไกลโคไซด์ มีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงสีเหลืองอ่อน มีความคงตัวสูงในตัวทำละลาย กรดอ่อน เบสอ่อน และทนความร้อน

มีการอนุญาตให้ใช้สารสกัดจากหญ้าหวานเป็นสารทดแทนน้ำตาลในประเทศต่างๆ ไม่น้อยกว่า 30 ประเทศ เช่น ญี่ปุ่น จีน เกาหลี แคนนาดา ออสเตเลีย นิวซีแลนด์ มาเลเซีย อินโดนีเซีย และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาและกลุ่มประเทศในยุโรปอนุญาตให้มีการใช้สารหวานจากหญ้าหวานเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่ม ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2551 และ พ.ศ. 2554 ตามลำดับ ประเทศไทยโดยกระทรวงสาธารณสุขประกาศอนุญาตให้มีการผลิต และจำหน่ายหญ้าหวานในประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2545 (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 262) พ.ศ. 2545 เรื่อง สตีวิโอไซด์และอาหารที่มีส่วนผสมของสตีวิโอไซด์) และประกาศให้สารสกัดสติวิออลไกลโคไซด์เป็นวัตถุเจือปนอาหารตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 360) พ.ศ. 2556 เรื่อง สตีวิออลไกลโคไซด์)โดยอ้างอิงข้อมูลของคณะกรรมการผู้เชี่ยวชาญว่าด้วยวัตถุเจือปนอาหารขององค์การอาหารและเกษตรและองค์การอนามัยโลกแห่งสหประชาชาติ (The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA) ซึ่งได้ประเมินและกำหนดค่าความปลอดภัย (Acceptable Daily Intake, ADI) แล้ว ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขดังกล่าว สตีวิออลไกลโคไซด์ หมายความว่า สารสกัดบริสุทธิ์จากใบหญ้าหวาน ซึ่งประกอบด้วย สตีวิโอไซด์ รีบาวดิโอไซด์ เอ รีบาวดิโอไซด์ บี รีบาวดิโอไซด์ ซี รีบาวดิโอไซด์ ดี รีบาวดิโอไซด์ โคไซด์ เอ รูบุโซไซด์ และ สตีวิออลไบโอไซด์ สารสกัดจากหญ้าหวานที่อนุญาตให้ใช้เป็นส่วนประกอบอาหารต้องมีปริมาณสารในกลุ่มสตีวิออลไกลโคไซด์ รวมทั้ง หมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งอ้างอิงจากมาตรฐาน องค์การอาหารและเกษตร และองค์การอนามัยโลก แห่งสหประชาชาติ (Codex)2010: JECFA Monograph (2010) INS no. 960)

ปัจจุบันในประเทศไทยมีการผลิตสารสตีวิออลไกลโคไซด์ในระดับอุตสาหกรรม เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งกระบวนการผลิตได้จากการวิจัยอย่างครบวงจร ตั้ง แต่การคัดเลือกและปรับปรุงพันธ์ มีโครงการส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกไร่หญ้าหวานให้มากขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่บริเวณเขาใหญ่ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยรับซื้อหญ้าหวานสดหรือแห้ง นำมาเป็นวัตถุดิบในการสกัดสารหวานบริสุทธิ์ในระดับอุตสาหกรรม จำหน่ายแก่ผู้ผลิตอาหารและเครื่องดื่มทั้งในและต่างประเทศและผู้บริโภคโดยตรงเพื่อใช้ประกอบอาหารและเครื่องดื่มในครัวเรือน ช่วยลดการนำเข้าและผลักดันให้หญ้าหวานเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรมีรายได้ที่มั่นคงและเติบโตอย่างยั่งยืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 ไร่หญ้าหวานบริเวณเขาใหญ่ อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา (ภาพจากบริษัท ชูกาเวีย จำกัด)

(ที่มา : พิสมัย กุลกาญจนาธร., 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
อุปกรณ์และการทำทดลอง

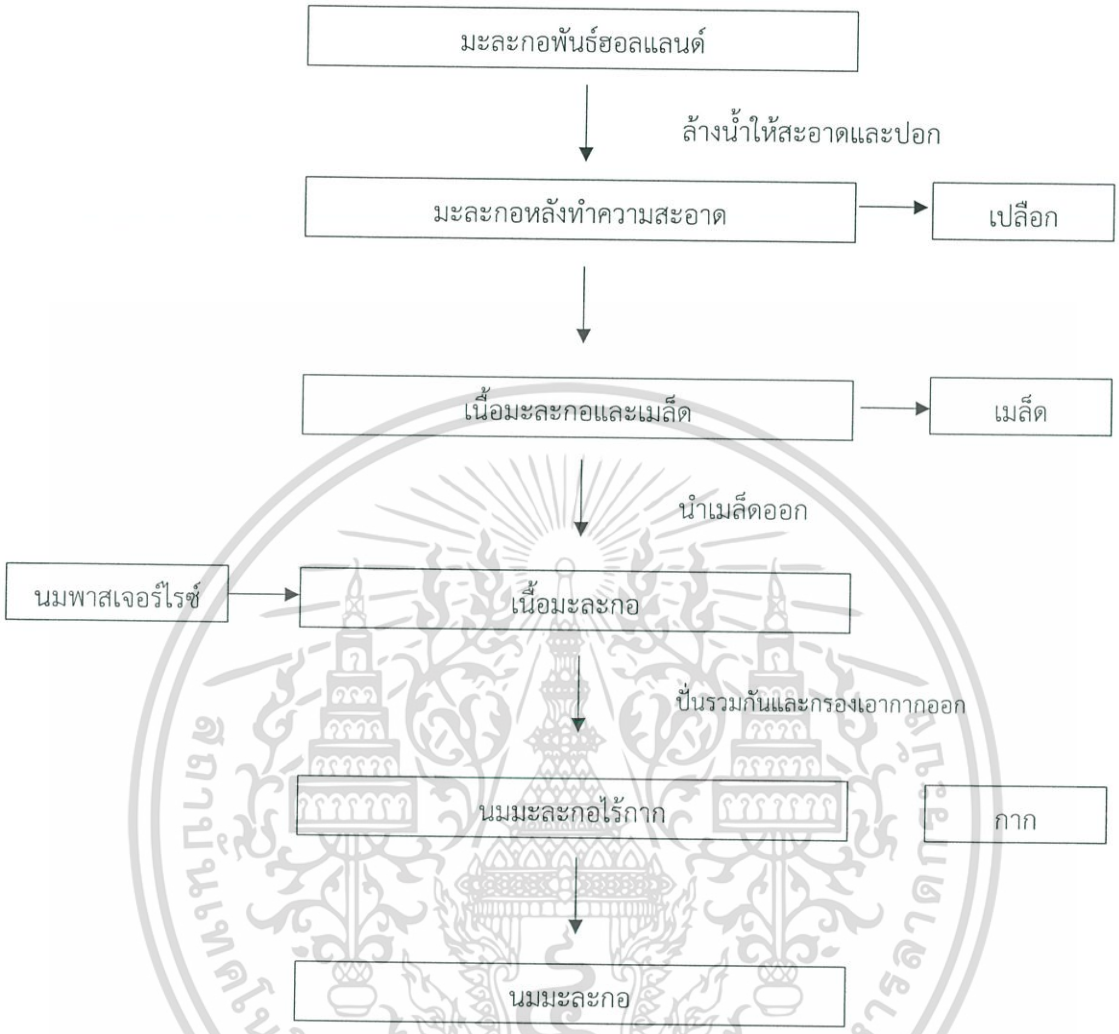
ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตนมมะละกอผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ อุณหภูมิอากาศขาเข้า (150, 170, 190°c), ปริมาณของโปรตีน (0, 1, 10% ของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้) โดยการออกแบบการทดลองแบบ 3^k full factorial design จากนั้นจะนำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้มาวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้คือ เนื้อของมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์ จากตลาดหัวตะเข้ นำมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และนำเมล็ดออก โดยชั่งน้ำหนักเนื้อ 400 กรัม ปั่นรวมกับนมสดพาสเจอไรส์ 500 มิลลิลิตรและน้ำ 100 มิลลิลิตรจากนั้นใช้ผ้าขาวบางกรองกากของมะละกอออก และบรรจุถุงสุญญากาศ ถุงละ 800 มิลลิลิตร ซึ่งมีค่าบริกซ์ 12 โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัตถุดิบคือ

1) เครื่องปั่น
2) เครื่องชั่ง
3) เครื่องวัด pH
4) บีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร
5) ผ้าขาวบาง
6) รีแฟคโตมิเตอร์
7) กะละมัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมนมมะละกอในการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมการทดลอง

3.2.1 เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ประกอบไปด้วย

1. ห้องอบแห้ง (Drying chamber)
2. ตัวทำละอองชนิดหัวฉีดของไหล 2 ชนิด (Two-fluid nozzle)
3. ไซโคลน (Cyclone)
4. ชุดทำความร้อน (Heater)
5. ปั๊ม Peristatic
6. ชุดแมคเนติกสเตอเรอร์

นำส่วนประกอบทั้งหมดมาประกอบเพื่อให้ได้ชุดเครื่องมือทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังขั้นตอนดังนี้

1. เปิดเบรกเกอร์ตัวจ่ายไฟให้กับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และปั๊มลม
2. เปิดเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย, ปั๊มลม และตัวจ่ายไฟให้กับเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
3. เปิดอุปกรณ์เป่าลม (Blower) เพื่อให้เกิดการดูดผลิตภัณฑ์ผงที่เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
4. ทำการตั้งค่าความเร็วรอบของอุปกรณ์เป่า ที่ 2500 rpm
5. นำ Peristatic pump มาเสียบปลั๊กเข้ากับตัวจ่ายไฟของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย
6. ตั้งค่าความเร็วรอบ Peristatic pump ไว้ที่ 19 รอบ/นาที
7. นำสายลมต่อเข้ากับปั๊มลม และเสียบสายลมเข้ากับหัวตัวทำละอองฝอย
8. นำสายยาง Feed นมมะละกอต่อเข้ากับหัวทำละอองฝอยและต่อกับ Peristatic pump
9. นำแมคเนติกบาร์ใส่ลงในบีกเกอร์นมมะละกอที่เตรียมไว้เพื่อทำการคนไม่ให้ตกตะกอน
10. เปิดปั๊มลม
11. จากนั้นกดปุ่ม Pump ที่เครื่อง Spray dryer เพื่อเริ่มรันกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ตัวแปรที่ศึกษาของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. อุณหภูมิอากาศขาเข้า 150, 170 และ 190 °c
2. ปริมาณโปรตีนที่ใส่เข้าไป 0, 1 และ 10% ของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการดำเนินการทำแห้งแบบพ่นฝอย

อุปกรณ์	ตัวแปรควบคุม
อุณหภูมิลมร้อนขาออก	80 °c
อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า	150-190 °c
อัตราเร็วลมที่ใช้ในการดูดผลิตภัณฑ์ออกจากห้องอบแห้ง	2,500 rpm
อุณหภูมิของวัตถุดิบที่ป้อน	30 °c
ความเข้มข้นของสารละลาย	20 °Brix
อัตราการป้อน	19 kg/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 แผนการทดลอง

3.3.1 การออกแบบแผนการทดลองของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

แผนการทดลองที่ใช้เป็นแบบ 3^k full factorial design โดยทำการทดลองซ้ำทุกๆการทดลอง จากตัวแปรที่ต้องศึกษามี 2 ตัวแปร นั่นคือ อุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณโปรตีนทั้งหมด 3 ระดับ ดังนั้นจะได้การทดลองเท่ากับ $3^2 = 9$ แผนการทดลอง ทำซ้ำอย่างละ 3 ครั้งทั้งหมด 27 การทดลอง

Code Standardization

การทดลอง	ปริมาณโปรตีน (X_2) (%)	อุณหภูมิอากาศขาเข้า (X_1) (°c)
1	-1	-1
2	0	-1
3	1	-1
4	-1	0
5	0	0
6	1	0
7	-1	1
8	0	1
9	1	1

การทดลอง	ปริมาณโปรตีน (X_2) (%)	อุณหภูมิอากาศขาเข้า (X_1) (°c)
1	0	150
2	1	150
3	10	150
4	0	170
5	1	170
6	10	170
7	0	190
8	1	190
9	10	190

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติถูกนำมาใช้เพื่อหาคำตอบของสมการการทดลองที่ประกอบด้วยปัจจัยร่วมการทดลองหลายปัจจัย โดยใช้การวิเคราะห์ Response surface และสมการ Multiple linear regression เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษาและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์นมมะละกอผง ได้แก่ ร้อยละผลผลิตที่ได้ (%Yield), ปริมาณความชื้น (Moisture content), ความหนาแน่นรวม (Bulk density), การดูดซับความชื้น (Hygroscopicity), ความสามารถในการละลาย (Solubility) และ ค่าสี

1. เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

สมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_{12} + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 \quad (3)$$

เมื่อ Y = คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์นมมะละกอผง

X_1 = อุณหภูมิอากาศขาเข้า, องศาเซลซียส (T_a)

X_2 = ปริมาณโปรตีน, กรัม (PT_1)

X_{12} = ผลคูณระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณโปรตีน (T_a* PT_1)

X_1^2 = อุณหภูมิอากาศขาเข้ายกกำลังสอง, องศาเซลซียส (T_a^2)

X_2^2 = ปริมาณโปรตีนยกกำลังสอง, กรัม (PT_1^2)

หมายเหตุ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}, \beta_{11}, \beta_{22}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_1, X_2, X_{12}, X_1^2 และ X_2^2 ตามลำดับ

3.4. วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมสาร

1. นำมะละกอมาล้างด้วยน้ำสะอาด ปอกเปลือก แยกเปลือก เนื้อมะละกอ และเมล็ดออกจากกัน
2. นำเนื้อมะละกอและนมสดพาสเจอร์ไรซ์ มาปั่นรวมกันและกรองด้วยผ้าขาวบางแยกกากออก
3. นำนมมะละกอที่ได้ปรับความเข้มข้นให้ได้ 20 °Brix ชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าที่ชั่ง
4. เติมสารช่วยทำแห้งลงไปในนมมะละกอที่อัตราส่วนต่างๆ
5. ชั่งน้ำหนัก วัดความเป็นกรดด่าง ให้เป็นไปตามเงื่อนไขการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การทำแห้ง

การทำแห้งแบบพ่นฝอย

1. ทำการกำหนดค่าต่างๆ ของเครื่องทำแห้งให้ไปเป็นตามเงื่อนไขที่วางแผนการทดลอง และรอจนได้สภาวะดำเนินการคงที่
2. ป้อนสารละลายที่เตรียมไว้โดยใช้ปั๊มเป็นอุปกรณ์การป้อน
3. สารละลายจะถูกส่งผ่านท่อลำเลียงสารไปยังหัวฉีดแบบของไหล 2 ชนิด เพื่อทำการผสม และอาศัยลมที่มาจากท่อลมที่ต่อเข้ากับหัวฉีดแบบของไหล2ชนิด เกิดการดันสารละลายออกจากรูของหัวฉีดกลายเป็นลักษณะละอองฝอย
4. อากาศภายนอกจะดูดผ่านเครื่องทำความร้อนโดยผ่านตัวกรองเพื่องกรองฝุ่นออก และถูกทำให้ร้อนด้วยขดลวดที่ถูกทำให้ร้อนด้วยกระแสไฟฟ้า ลมร้อนที่ได้จะถูกส่งผ่านท่อลมร้อนไปยังช่องทางออกที่อยู่บริเวณฝาปิดของเครื่องทำละอองแบบพ่นฝอย
5. ลมร้อนและละอองฝอยทำการผสมกันในห้องอบแห้ง น้ำที่อยู่ภายในละอองฝอยจะระเหยออกมาทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีความชื้นค่าหนึ่ง
6. อุปกรณ์เป่าลมจะทำการดูดผลิตภัณฑ์ผงจากก้นห้องอบแห้งไปยังไซโคลน เมื่อผลิตภัณฑ์ผงลงมายังไซโคลนจะเกิดการหมุนวนอยู่ภายในไซโคลน ผลิตภัณฑ์ผงจะตกไปยังภาชนะที่ใช้ใส่ผลิตภัณฑ์ผง ส่วนลมร้อนจะลอยออกขึ้นไปทางด้านบนไซโคลนละออกไปทางลมร้อนขาออก
7. ทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ตามคุณลักษณะที่กำหนดไว้

3.5 การวิเคราะห์คุณลักษณะนมมะละกอผง

3.5.1 ร้อยละผลผลิตที่ได้ (%Yield)

อุปกรณ์ที่ใช้ 1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

ร้อยละของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการสามารถคำนวณได้จากการชั่งน้ำหนักของผลผลิตที่เก็บได้และคำนวณน้ำหนักของแข็งเริ่มต้นจากการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ โดยสามารถหาร้อยละของผลผลิตที่ได้จากสมการ

$$\%Yield = \frac{Powder\ collected}{Total\ soild\ content} \times 100 \qquad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 ปริมาณความชื้น (Moisture content, %)

อุปกรณ์ที่ใช้ 1. เครื่องอบ

2. ถ้วยอะลูมิเนียม

3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

4. โถดูดความชื้น (Desiccator)

การวัดความชื้นในงานวิจัยนี้ใช้การวัดความชื้นฐานแห้งในวิเคราะห์และเก็บข้อมูล เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารมีค่าคงที่ ต่างจากการคำนวณโดยใช้ค่าความชื้นฐานเปียกที่น้ำหนักของอาหารมีค่าไม่แน่นอนไปตามปริมาณน้ำที่มีอยู่ภายใน โดยการวิเคราะห์ความชื้นทำได้โดยนำสารตัวอย่าง 1-3 กรัมใส่ในถ้วยอะลูมิเนียม แล้วนำไปอบในตู้อบความร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักของตัวอย่างคงที่ นำไปใส่ไว้ใน โถดูดความชื้นทิ้งไว้ในอุณหภูมิเย็นลง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่ง 4 ตำแหน่ง

$$\%Moisture\ content = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 \quad (5)$$

m_1 คือน้ำหนักของตัวอย่างก่อนอบแห้ง

m_2 คือน้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง

ปริมาณความชื้นของอาหารมีความสำคัญอย่างมากต่ออายุการเก็บรักษา เนื่องจากการลดปริมาณความชื้นจะช่วยหยุดการทำงานของเอนไซม์ และชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเกิดการเน่าเสียได้ โดยอาหารแห้งจะมีปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 15

3.5.3 ค่าสี (Color analysis)

บรรจุนมมะละกอผงลงในถ้วยกระบอก และวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter บันทึกค่าสีระบบ CIE ในเทอมของ L*,a* และ b* แล้วนำค่ามาคำนวณค่าความแตกต่างของสีจากสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2} \quad (6)$$

เมื่อ L* คือ ค่าความสว่าง

a* คือ ค่าความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียว

b* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองหรือความเป็นสีน้ำเงิน

หมายเหตุ L* มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า L* เท่ากับ 0 เป็นสีที่มืดที่สุด และ L* เท่ากับ 100 เป็นสีที่สว่างที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a* เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีแดง และค่า a*เป็นลบจะแสดงความเป็นสีเขียว

b* เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีเหลือง และค่า b* เป็นลบจะแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

3.5.4 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

อุปกรณ์ที่ใช้ 1. Magnetic stirrer และ Magnetic bar

2. บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร

3. เครื่องชั่ง

การวิเคราะห์

ชั่งน้ำหนักผงตัวอย่าง 40 กรัม นำมาละลายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้อง ปริมาตร 200 มิลลิลิตร กวนของผสมทั้งหมดด้วย Magnetic stirrer ที่ความเร็วคงที่ จากนั้นวัดเวลาที่ใช้ในการละลายตัวอย่างสมบูรณ์

$$\text{Solubility} = \text{เวลาที่ใช้ในการละลายตัวอย่างจนสมบูรณ์ (s)} \quad (7)$$

3.5.5 วอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity: a_w)

ใช้เครื่องวัดค่า a_w โดยอัตโนมัติยี่ห้อ อ่านค่า a_w โดยทำการหาค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3.5.6 ความเป็นกรด – เบส (pH)

อุปกรณ์ที่ใช้ 1. pH meter

2. บีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร

3. น้ำกลั่น

การวิเคราะห์

ชั่งผงตัวอย่าง 10 กรัม ผสมกับน้ำ 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสแล้ววัดค่าด้วย pH meter แล้วบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.7 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoids content)

นำนมมะละกอผง 1 กรัม ผสมสารละลายอะซิโตน 40 มิลลิลิตร วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 nm, 645 nm และ 663 nm ด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยคำนวณหาปริมาณ คลอโรฟิลล์ เอ และ คลอโรฟิลล์ บี เนื่องจากการทำงานการทำงานของแคโรทีนอยด์ที่อยู่ในพืชมีความเกี่ยวข้องกับรงควัตถุสีเขียว จากสูตร

$$Chlorophyll\ a\ = \frac{[12.7(A663) - 2.69(A645)]\ x\ V}{(1000xW)} \quad (8)$$

$$Chlorophyll\ b\ = \frac{[22.9(A645) - 4.68(A663)]\ x\ V}{(1000xW)} \quad (9)$$

และจากนั้นบันทึกค่าที่ได้คำนวณไปหาค่าปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดจากสูตร

$$Total\ Carotenoid = \frac{[1000(A470) + 3.27\{(chlorophyll\ a) - (chlorophyll\ b)\}]\ x\ V}{(W\ x\ 229)} \quad (10)$$

A = ค่าการดูดกลืนแสง (Abs)

V = ปริมาตรอะซิโตน (ml)

W = น้ำหนักของตัวอย่าง (g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติวัตถุดิบของมะละกอ

เมื่อได้รับมะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์จาดตลาดหัวตะเข้แล้ว นำมาล้างให้สะอาดปอกเปลือกและเอาเมล็ดออก จากนั้นนำเนื้อมะละกอกับนมมาปั่นรวมกันตามอัตราส่วน ซึ่งมีค่าบริกซ์เฉลี่ยเท่ากับ 12 หลังจากนั้นจึงเริ่มทำการเติมน้ำเพื่อลดความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ (Total soluble solid) ซึ่งคุณสมบัติต่างๆของวัตถุดิบเริ่มต้นขณะเริ่มทำการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติเริ่มต้นนมมะละกอก่อนการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Total soluble solid (Brix)	12
pH	6.48
Color parameters	
L* (lightness-darkness)	89.53
a* (redness-greenness)	15.92
b* (blueness-yellowness)	21.40

จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าวัตถุดิบเริ่มต้นของนมมะละกอมีของแข็งเริ่มต้นอยู่ที่ 12 บริกซ์ ความเป็นกรด-เบสของวัตถุดิบที่ใช้ทำแห้งแบบพ่นฝอยเท่ากับ 6.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

มะละกอที่ถูกปั่นนั้นจะต้องผ่านการกรองกากออกเพื่อลดการอุดตันที่ตัวทำละออง หลังจากนั้นเติมนมจนมีความเข้มข้น 6 °brix ทำการผสมสารช่วยทำแห้งที่อัตราส่วนต่างๆ และนำมาทำแห้งตามสภาวะที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์นมมะละกอผงด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Inlet air temperature (°c)	% WPI	% yield	Moisture (%d.b)	Water activity	Solubility (sec)	pH	L*	a*	b*	Carotenoid (mg/L)
150	0	25.14	6.60	0.40	107.50	6.25	83.77	10.22	26.34	11.34
	10	35.44	10.44	0.42	127.00	6.34	86.70	1.53	15.78	10.96
	20	39.87	10.83	0.43	135.00	6.41	86.82	2.92	17.50	11.02
170	0	41.22	4.47	0.35	109.50	6.22	85.32	4.81	19.47	10.61
	10	64.72	5.06	0.36	130.00	6.38	86.78	4.08	15.48	11.13
	20	69.06	7.16	0.37	137.50	6.35	86.64	3.92	15.32	10.91
190	0	26.16	3.64	0.33	113.00	6.19	84.13	6.19	22.98	8.87
	10	55.23	4.51	0.35	131.50	6.26	83.76	6.97	23.84	9.46
	20	61.02	5.36	0.35	135.50	6.30	87.63	3.75	16.87	10.39

สมการโพลิโนเมียลกำลังสอง

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติถูกนำมาใช้เพื่อหาคำตอบของสมการการทดลองที่ประกอบด้วยปัจจัยร่วมการทดลองหลายปัจจัย โดยใช้การวิเคราะห์การตอบสนองพื้นผิว (Response surface) และสมการ Multiple linear regression ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ศึกษา และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์นมมะละกอผง

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_{12} + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 \quad (11)$$

เมื่อ Y = คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์นมมะละกอผง

X_1 = อุณหภูมิอากาศขาเข้า, องศาเซลซียส (T_a)

X_2 = ปริมาณโปรตีน, กรัม (PT_1)

X_{12} = ผลคูณระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณโปรตีน (T_a* PT_1)

X_1^2 = อุณหภูมิอากาศขาเข้ายกกำลังสอง, องศาเซลซียส (T_a^2)

X_2^2 = ปริมาณโปรตีนยกกำลังสอง, กรัม (PT_1^2)

หมายเหตุ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}, \beta_{11}, \beta_{22}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร X_1, X_2, X_{12}, X_1^2 และ X_2^2 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.3 ในการทำนายผลกระทบของตัวแปรอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณสารช่วยทำแห้งต่อคุณสมบัติต่างๆ ของมะละกอผงโดยใช้สมการโพลิโนเมียลกำลังสอง จะพบว่า ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผง, ความชื้น, ค่าปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณแคโรทีนอยด์ ตัวแปรมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) ส่วนคุณสมบัติอื่นๆ นั้นตัวแปรไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

หมายเหตุ * ค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ < 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 สัมประสิทธิ์ของสมการคุณสมบัติต่างๆ เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบโพลิโนเมียลกำลังสอง

Coefficients	%yield (%)	Moisture (%)	Aw	Solubility (sec.)	pH	L* value	a* value	b* value	Carotenoid (mg/L)
B_0	-1264.00	115.4	3.1950	30.80	4.23	32.00	77.00	295.00	-18.20
B_1	12.28	1.2220	-0.0317	0.7870	0.0255	0.6430	-0.79	-3.23	0.4010
B_2	1.38	0.7430	-0.0025	3.6620	0.0139	0.0410	-1.57	-1.18	-0.3670
B_{11}	-0.0446	0.0033	0.0001	-0.0019	0.0001	-0.002	0.0022	0.0095	-0.0014
B_{22}	-0.0805	0.0033	0.0001	-0.0650	0.0001	-0.0003	0.0099	0.0138	0.0001
B_{12}	0.0252	0.0031	0.0001	-0.0063	0.0001	0.0006	0.0070	0.0034	0.0023
R^2	0.9860	0.9599	0.9345	0.9967	0.7752	0.6684	0.6123	0.7272	0.9687
SE.	3.1982	0.8519	0.0146	1.1180	0.0516	1.4162	2.6861	3.5415	0.2399
p-Value	*	*	*	ns($p<0.1$)	ns($p<0.6$)	ns($p<0.8$)	ns($p<0.3$)	ns($p<0.7$)	*

4.2.1 ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ (% yield)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 25.14% ถึง 69.06%

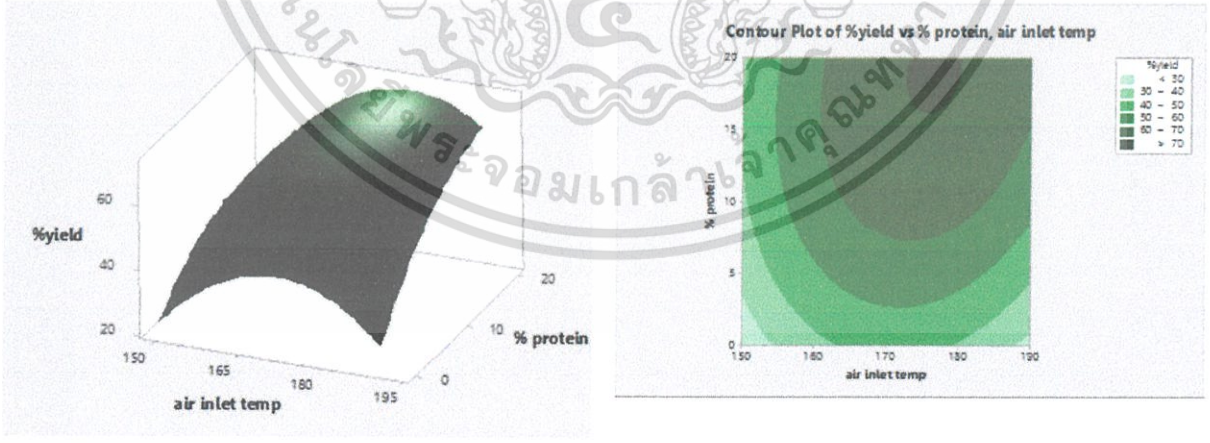
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสองจะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆในนี้

$$\text{Yield (\%)} = -1264 + 1.222X_1 + 0.743X_2 + 0.00314X_1X_2 + 0.003333X_1^2 + 0.00327X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.9860$, S.E. = 3.1982, $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R2,S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีนัยสำคัญนอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรปริมาณสารช่วยทำแห้ง และตัวแปรร่วมระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณสารช่วยทำแห้ง มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละผลิตภัณฑ์ผงที่ได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละของผลิตภัณฑ์ผงลดลง เพราะยิ่งอุณหภูมิในการทำแห้งสูงกว่า glass temperature ของสารละลาย โดย%WPI 20% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 170 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงสูงสุดเท่ากับ 69.06 %



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ความชื้น (Moisture content)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าความชื้นที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 3.64% ถึง 10.83%

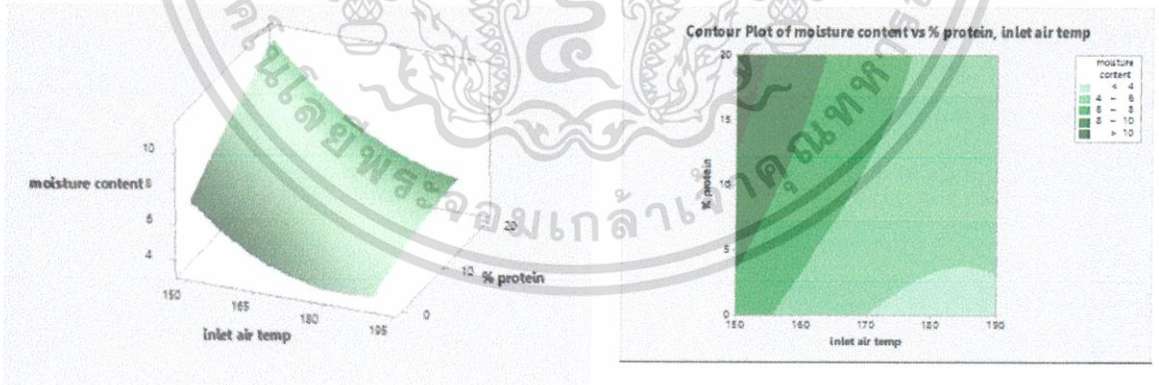
เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสองจะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆในนี้

$$\text{Moisture content} = 115.4 + 12.28X_1 + 1.38X_2 + 0.02516X_1X_2 - 0.04464X_1^2 - 0.0805X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.9599$, S.E. = 0.8519, $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R2,S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีนัยสำคัญนอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรปริมาณสารช่วยทำแห้ง และตัวแปรร่วมระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณสารช่วยทำแห้ง มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่ได้

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นที่ได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นลดลง โดย%WPI 0% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศาเซลเซียส จะมีค่าความชื้นต่ำสุดเท่ากับ 3.64 %



รูปที่ 4.2 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และร้อยละความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity)

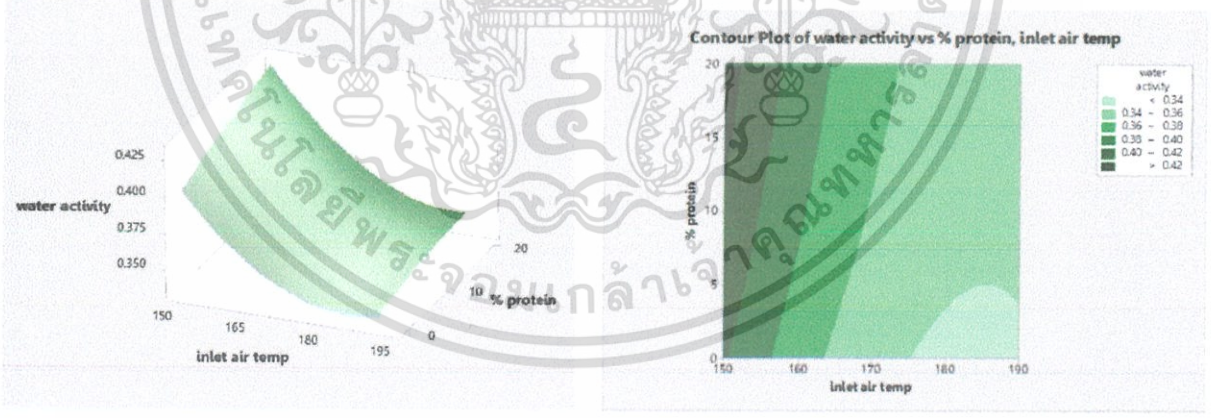
จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าปริมาณน้ำอิสระที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.3340% ถึง 0.4305% เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสองจะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆในนี้

$$Aw = 3.195 - 0.03168X_1 - 0.00254X_2 + 0.000009X_1X_2 + 0.000088X_1^2 + 0.000012X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.9345$, S.E. = 0.01457, $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R2,S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีนัยสำคัญนอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรปริมาณสารช่วยทำแห้ง และตัวแปรร่วมระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณสารช่วยทำแห้ง มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระที่ได้

จากรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นที่ได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นลดลง โดย%WPI 0% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณน้ำอิสระต่ำสุดเท่ากับ 0.3340 %



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และปริมาณน้ำอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

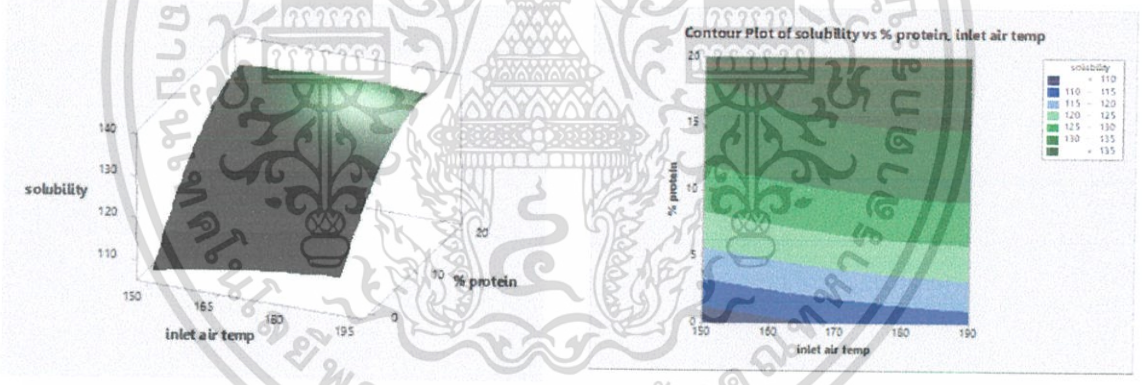
จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าความสามารถในการละลายที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 107.5 ถึง 137.5 วินาที เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสองจะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆในนี้

$$\text{Solubility} = 30.8 + 0.787X_1 + 3.662X_2 - 0.00625X_1X_2 - 0.00187X_1^2 - 0.06500X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.9967$, S.E. = 1.11803, $p < 0.1$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R2,S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

จากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้การละลายที่ได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นลดลง โดย%WPI 0% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะมีการละลายเร็วสุดเท่ากับ 107.5 วินาที



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และการละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 ความเป็นกรดด่าง (pH)

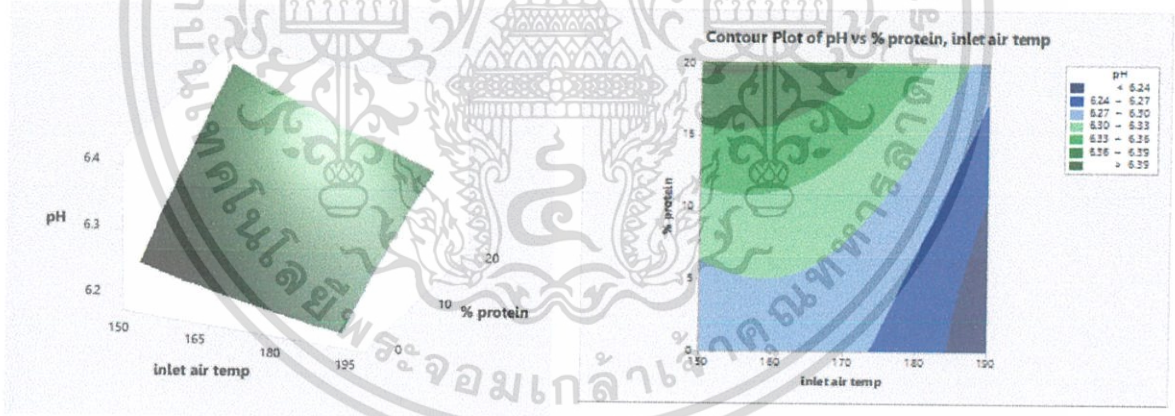
จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าความเป็นกรดด่างที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 6.185 ถึง 6.410เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสองจะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆในนี้

$$pH = 4.23 + 0.0255X_1 + 0.0139X_2 + 0.000069X_1X_2 + 0.000079X_1^2 + 0.000133X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.7752$, S.E. = 0.0516, $p < 0.6$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R2,S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

จากรูปที่ 4.5 พบว่าเมื่อปริมาณสารช่วยทำแห้งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเป็นกรดด่างที่ได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าเมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเป็นกรดลดลง โดย%WPI 0% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศาเซลเซียส จะมีความเป็นกรดด่างน้อยที่สุดเท่ากับ 6.185 และที่%WPI 20% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะมีความเป็นกรดด่างมากที่สุดเท่ากับ 6.410



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และความเป็นกรดด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 ค่าความสว่าง (L*)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าค่าความสว่างที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 83.760 ถึง 87.630เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสองจะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆในนี้

$$L^* = 32 + 0.643X_1 + 0.041X_2 + 0.00057X_1X_2 - 0.00195X_1^2 - 0.0003X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.6684$, S.E. = 1.41617, $p < 0.8$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R2,S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

จากรูปที่ 4.6 จากกราฟอุณหภูมิขาเข้าไม่ได้มีผลต่อค่าความสว่าง แต่พบว่าเมื่อปริมาณ %WPI เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าความสว่างมีค่ามากเนื่องจากสารทำแห้งที่เติมเข้าไปมีสีขาวซึ่งมีผลอย่างมากต่อค่าความสว่าง โดย%WPI 20% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 190 องศาเซลเซียส จะมีค่าความสว่างมากที่สุดเท่ากับ 87.630

รูปที่ 4.6 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และค่าความสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 ค่าความเป็นสีแดง (a*)

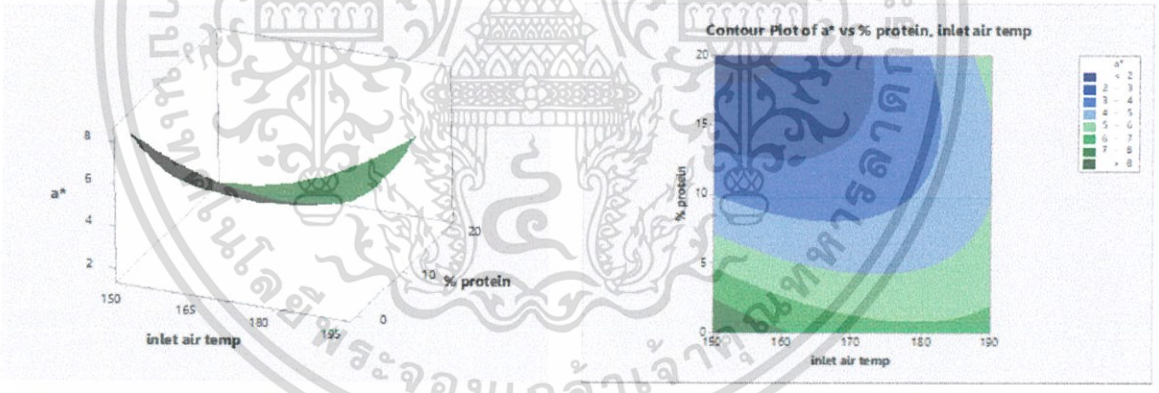
จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าค่าความเป็นสีแดงที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 1.525 ถึง 10.215 เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสองจะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆในนี้

$$a^* = 77 - 0.79X_1 - 1.57X_2 + 0.00697X_1X_2 + 0.00218X_1^2\ 0.0099X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.6123$, S.E. = 2.68603, $p < 0.3$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R2,S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

จากรูปที่ 4.7 จากกราฟอุณหภูมิขาเข้าไม่ได้มีผลต่อค่าความเป็นสีแดง แต่พบว่าเมื่อปริมาณ %WPI เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าความเป็นสีแดงมีค่ามากเนื่องจากสารทำแห้งที่เติมเข้าไปมีสีขาวซึ่งมีผลอย่างมากต่อสีของผลิตภัณฑ์ โดย%WPI 0% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเป็นสีแดงมากที่สุดเท่ากับ 10.215



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และค่าเป็นสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 ค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

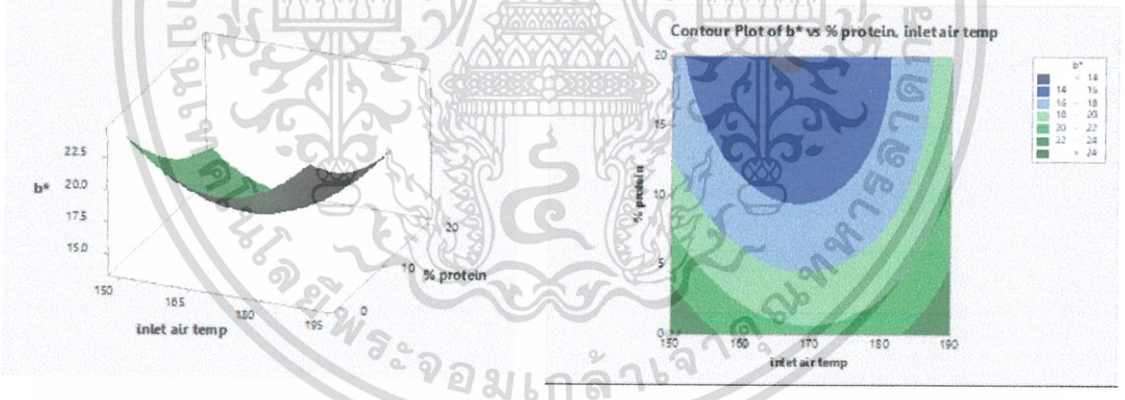
จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าค่าความเป็นสีเหลืองที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 15.315 ถึง 26.340 เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสองจะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆในนี้

$$b^* = 295 - 3.23X_1 - 1.18X_2 + 0.00343X_1X_2 + 0.00949X_1^2 + 0.0138X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.7272$, S.E. = 3.514147, $p < 0.7$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R2,S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรต่างๆ จะพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติแต่อย่างใด

จากรูปที่ 4.8 จากกราฟอุณหภูมิขาเข้าไม่ได้มีผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองแต่พบว่าเมื่อปริมาณ %WPI เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าความเป็นสีเหลืองมีค่ามากเนื่องจากสารทำแห้งที่เติมเข้าไปมีสีขาวซึ่งมีผลอย่างมากต่อค่าสีของผงผลิตภัณฑ์ โดย%WPI 0% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเป็นสีเหลืองที่สุดเท่ากับ 26.340



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และค่าความเป็นสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.9 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid content)

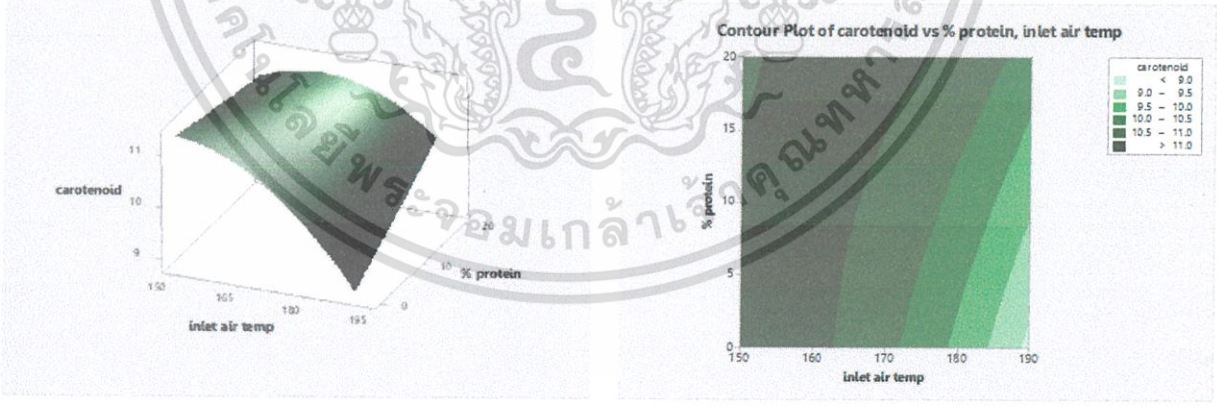
จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้พบว่าค่าความสว่างที่ได้จากการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 8.87 ถึง 11.34 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติในรูปแบบความสัมพันธ์โพลิโนเมียลกำลังสองจะได้สมการและค่าสหสัมพันธ์ต่างๆในนี้

$$b^* = -18.2 + 0.401X_1 - 0.367X_2 + 0.002300X_1X_2 - 0.001358X_1^2 + 0.00007X_2^2$$

ค่า $R^2 = 0.9687$, S.E. = 0.239938, $p < 0.05$

จากการศึกษาพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ R2,S.E. และ P-value อยู่ในเกณฑ์ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งมีนัยสำคัญนอกจากนี้ผลกระทบของตัวแปรปริมาณสารช่วยทำแห้ง และตัวแปรร่วมระหว่างอุณหภูมิอากาศขาเข้าและปริมาณสารช่วยทำแห้ง มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้

จากรูปที่ 4.8 จากกราฟอุณหภูมิขาเข้าส่งผลให้ปริมาณแครอทีนอยด์ลดลงโดยอุณหภูมิที่พบแคโรทีนอยด์มากสุดคือ 150 องศาเซลเซียสที่เป็นอุณหภูมิต่ำสุดแต่พบว่าเมื่อปริมาณ %WPI ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแคโรทีนอยด์ โดย%WPI 0% และอุณหภูมิอากาศขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเป็นสีเหลืองที่สุดเท่ากับ 11.34 มิลลิกรัมต่อลิตร



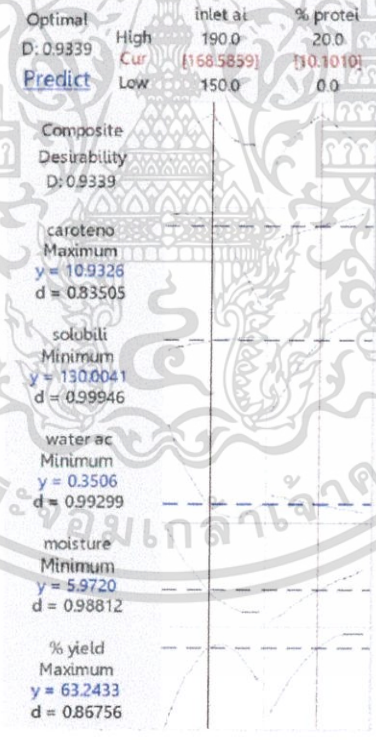
รูปที่ 4.9 อุณหภูมิอากาศขาเข้า อัตราส่วนของ WPI และปริมาณแคโรทีนอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำนมมะละกอผง

เมื่อนำกราฟพื้นผิว (Response surface) ของคุณสมบัติต่างๆ มาพล็อตรวมกัน โดยใช้เกณฑ์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

เกณฑ์	ค่า
ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง	มากที่สุด
ปริมาณแคโรทีนอยด์	มากที่สุด
การละลาย	เร็วที่สุด
ความชื้น	น้อยที่สุด
ปริมาณน้ำอิสระ	น้อยที่สุด



รูปที่ 4.10 สภาวะที่เหมาะสม

จากรูปที่ 4.10 จะได้สภาวะที่เหมาะสมนั่นคือที่ อุณหภูมิขาเข้าอยู่ที่ 168.5859 °c และที่ปริมาณ %WPI ที่ 10.1010%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย

จากการศึกษาการทำแห้งนมมะละกอผงด้วยกรรมวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยควบคุมสภาวะของเครื่องทำแห้งดังนี้ อุณหภูมิอากาศขาออก 75 องศาเซลเซียส, อัตราเร็วปั๊ม 40 ml/s โดยปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และปริมาณ%WPI

จากการทดลองพบว่า เมื่ออุณหภูมิอากาศขาเข้าที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อความชื้น,ปริมาณน้ำอิสระ, ความเป็นกรดด่าง และปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยจะส่งผลให้มีค่าลดลง ในขณะที่การละลายจะมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงช่วง 170 องศาเซลเซียสจะมีร้อยละปริมาณมากที่สุด และจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่อไป และสำหรับค่าความสว่าง, ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองนั้นอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไม่มีผลกระทบ

ปริมาณ%WPI ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผง, ความชื้น, ปริมาณน้ำอิสระ, การละลาย, ความเป็นกรดด่าง และค่าความสว่างโดยจะส่งผลให้มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองจะมีค่าลดลง นอกจากนี้พบว่าปริมาณ%WPI ไม่มีส่งผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์

โดยอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณ%WPIมีผลต่อคุณภาพของนมมะละกอผงดังนี้

5.1.1 ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (%yield) พบว่าเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้นส่งผลให้ร้อยละปริมาณเพิ่มขึ้นจนเมื่อเลย 170 องศาเซลเซียสจะมีค่าลดลง และปริมาณ%WPI ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงเพิ่มขึ้น โดยปริมาณ%WPI 20% ของของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 170 องศาเซลเซียส จะมีค่าร้อยละปริมาณผลิตภัณฑ์ผงสูงสุด

5.1.2 ความชื้น (Moisture content) พบว่าความชื้นมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น แต่ความชื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณ%WPI เพิ่มขึ้น โดยปริมาณ%WPI 0% ของของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 190 องศาเซลเซียส จะมีความชื้นต่ำที่สุด

5.1.3 ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) พบว่าปริมาณน้ำอิสระมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณน้ำอิสระจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณ%WPI เพิ่มขึ้น โดยปริมาณ%WPI 0% ของของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 190 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณน้ำอิสระที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 การละลาย (Solubility) พบว่าการละลายมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น แต่การละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณ%WPI เพิ่มขึ้น โดยปริมาณ%WPI 0% ของของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 190 องศาเซลเซียส จะมีการละลายเร็วที่สุด

5.1.5 ความเป็นกรดด่าง (pH) พบว่าความเป็นกรดด่างมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น แต่ความเป็นกรดด่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณ%WPI เพิ่มขึ้น โดยปริมาณ%WPI 20% ของของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะมีความเป็นกรดด่างมากที่สุด

5.1.6 ค่าความสว่าง (L* value) พบว่าค่าความสว่างมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิลมร้อนขาเข้าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณ%WPI เพิ่มขึ้นเนื่องจากสารช่วยทำแห้งมีสีขาว โดยปริมาณ%WPI 20% ของของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะมีค่าความสว่างสูงที่สุด

5.1.7 ค่าความเป็นสีแดง (a* value) พบว่าค่าความเป็นสีแดงจะลดลงเมื่อมีปริมาณ%WPI เพิ่มขึ้น แต่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นสีแดง โดยปริมาณ%WPI 0% ของของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเป็นสีแดงสูงที่สุด

5.1.8 ค่าความเป็นสีเหลือง (b* value) พบว่าค่าความเป็นสีเหลืองจะลดลงเมื่อมีปริมาณ%WPI เพิ่มขึ้นแต่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นสีแดง โดยปริมาณ%WPI 0% ของของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะมีค่าความเป็นสีเหลืองสูงที่สุด

5.1.9 ปริมาณแคโรทีนอยด์ (Carotenoid content) พบว่าปริมาณแครอทีนอยด์จะลดลงเมื่อมีอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า เพิ่มขึ้น แต่ปริมาณ%WPI ไม่ส่งผลต่อค่าความเป็นสีแดง โดยปริมาณ%WPI 0% ของของแข็งที่ละลายได้และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 150 องศาเซลเซียส จะมีค่าปริมาณแคโรทีนอยด์มากที่สุด

โดยเมื่อนำค่าต่างๆ ที่ได้มาสรุปเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดโดยใช้วิธี Response surface พบว่าที่อุณหภูมิอากาศขาเข้าที่ 168.5859 องศาเซลเซียส และปริมาณ%WPI 10.1010% ของของแข็งที่ละลายได้ คือสภาวะที่ดีที่สุดในการทำแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. การต่อเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยต้องตรวจสอบโดยละเอียดเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการทำแห้งของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ควรทำความสะอาดทุกครั้งหลังการทำแห้งเพื่อป้องกันการปนเปื้อน

5.2.2. การเก็บรักษาผงนมมะละกอควรเก็บในถุงสุญญากาศที่มิดชิดเพื่อป้องกันความชื้นซึ่งส่งผลต่อคุณภาพและอายุของผลิตภัณฑ์อย่างสูง

5.2.3. ถ้าอุณหภูมิในการทำแห้งสูงเกินไปจะเกิดการติดของผงที่ตัวทำละอองทำให้เกิดการอุดตัน และปริมาณ%WPI ที่มากเกินไปจะส่งผลให้มีความหนืด เวลาป้อนเข้าตัวทำละอองจะเป็นไปได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

Amdadul M. Haque and Benu Adhikari., 2015. Drying and Denaturation of Proteins in Spray Drying Process., Researchgate, 971-981

Bindu B. and Pradyuman K., 2016. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. Food Bioscience, 14, 21–27.

e-book.ram., "Encapsulation and Control Release of Food Flavoring," [Online]. Available : http://e-book.ram.edu/e-book/f/FY463(50)/FY463-4.pdf.

Fang Y., Rogers S., Selomulya C and Chen D.X., 2012, Functionality of milk protein concentrate: Effect of spray drying temperature., Biochemical Engineering Journal, 62 ,101–105

Madan S, Ahmad S; Singh G.N, Kohli, Kanchan, Kumar Y, Singh R, Garg M. Stevia rebaudiana (Bert.) Bertoni-A review. Indian Journal of Natural Products and Resources 2010, 1, 267-286.

Rajab R., Mohankumar C., Murugan K., Harish M. and Mohanan PV. Purification and toxicity studies of stevioside from *Stevia rebaudiana* Bertoni., Article. 2009, 16(1), 49-54.

Shi Q., Fang Z. and Bhandari B., 2013. Effect of Addition of Whey Protein Isolate on Spray-Drying Behavior of Honey with Maltodextrin as a Carrier Material., An International Journal, 31:13-14, 1681-1692

Zhongxiang Fang., 2012. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice., Food Research International, 48, 478–483.

ธีรนาถ สุวรรณเรือง., 2017, ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในผลไม้ ตลาดจังหวัดกาฬสินธุ์, 2563-2569

ธีรนาถ สุวรรณเรือง., 2017, ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในผักสด, RAJABHAT AGRIC. 16 (2), 40-45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาฤดี ผ่องพิพัฒน์พงศ์ เกษณี มานะโรจน์กิจ จารุรัตน์ จูตะเสน ชัยวัฒน์ คูสิทธิผล และ กรุณา วงษ์กระจ่าง (2552) “ผลกระทบของการปรับสภาพและอุณหภูมิลมร้อนต่อการทำแห้งและคุณภาพของผักหวานผง” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 10, มหาวิทยาลัยสุรนารี นครสวรรค์

สวนิต อิชยาวณิชย์., 2556. ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดกลาสทรานซิชันระหว่างการอบแห้งกับคุณภาพของอาหารแห้งที่ผลิตได้., วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, (23)1, 241-249

สโรบล สโรชวิกสิต., 2554, ผลของอุณหภูมิการอบแห้งและสารช่วยอบแห้งต่อคุณภาพของน้ำสับปะรดผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย., วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., (34)3, 203-215

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ,. “มะละกอพันธุ์ฮอลแลนด์” [Online]. http://www.agi.nu.ac.th/postharvest/downloads/upload_file/281118135609_180314151633_%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%81%E0%B8%AD.pdf

อุษาพร ภูคัสมาส., 2015, แคโรทีนอยด์สารสีในอาหาร., อาหาร ปีที่ 45 ฉบับที่ 2 เมษายน-มิถุนายน, 47-49.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

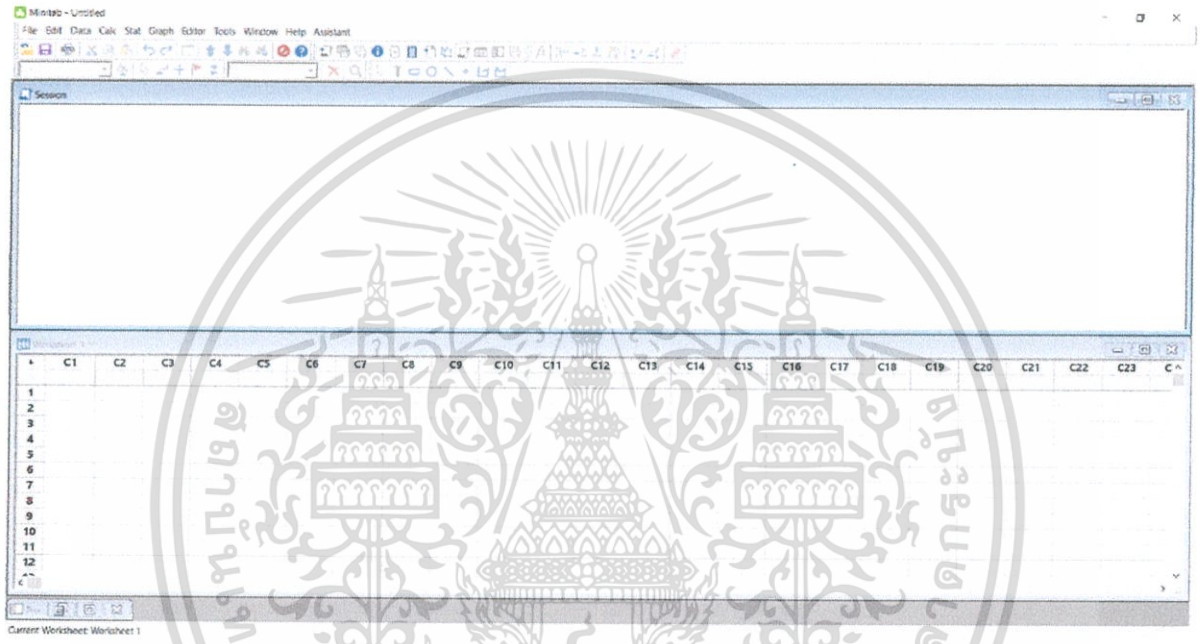
ภาคผนวก ก.

โปรแกรม Minitab 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

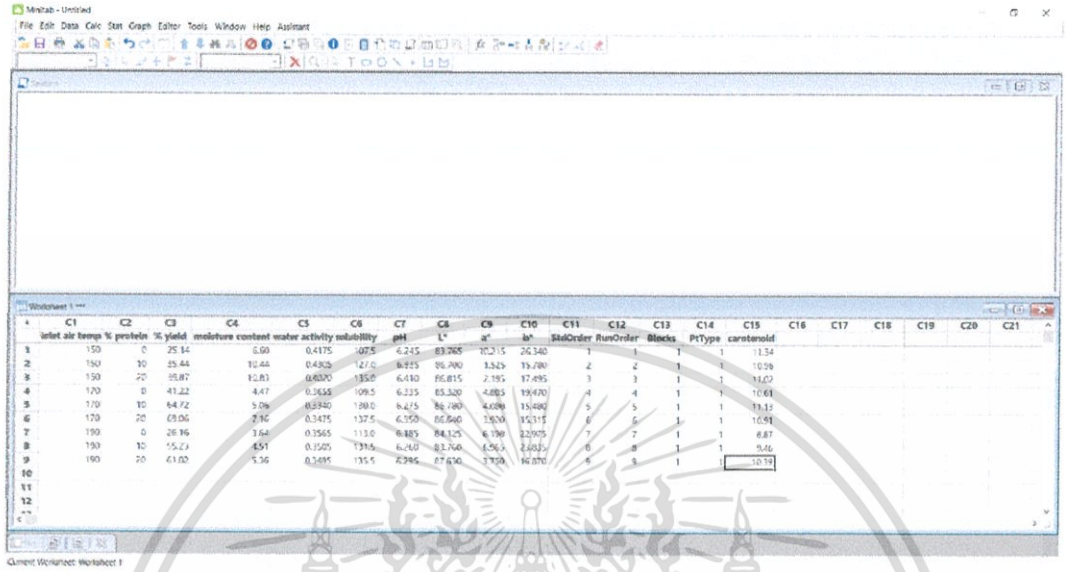
โปรแกรม Minitab 18



รูปที่ ก.1 หน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม Minitab 18

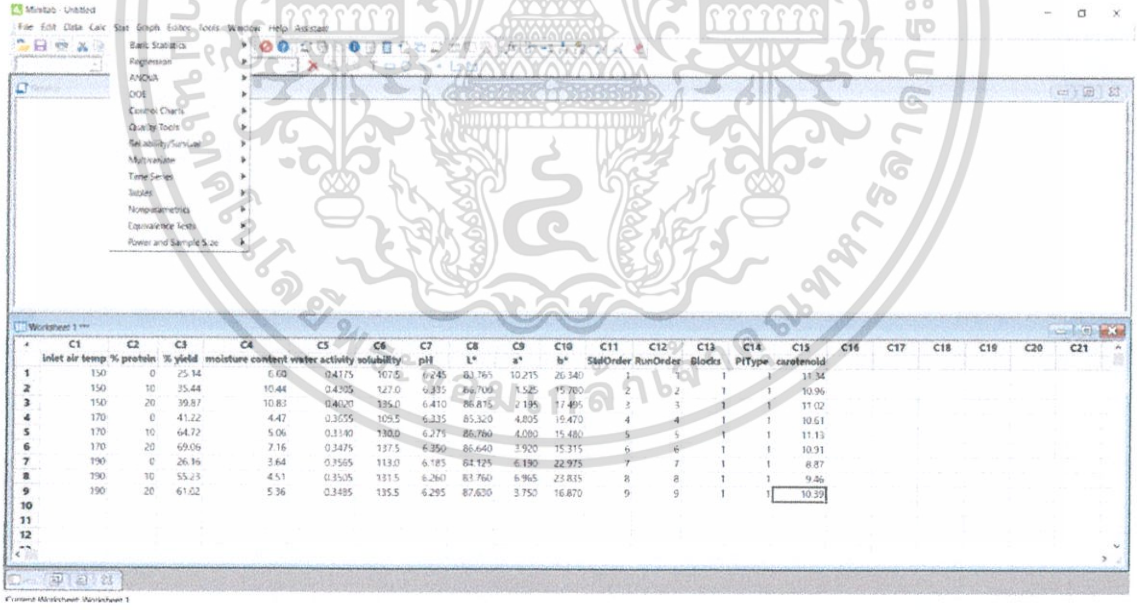
เมื่อเราทำการเปิดโปรแกรม Minitab 18 เราจะพบหน้าต่างเริ่มต้นของโปรแกรม แบ่งเป็น 4 ส่วน ประกอบด้วย 1.Program tabs ที่รวบรวมคำสั่งต่างๆที่เราสามารถใช้ได้ 2.Session ซึ่งเป็นส่วนแสดงผลข้อมูลที่โปรแกรมวิเคราะห์ให้ 3.Worksheet เป็นส่วนของตารางที่ให้เรานำข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ไปใส่ และ 4.Project manager เป็นส่วนให้เราเรียกดูข้อมูลหรือการทำงานต่างๆของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



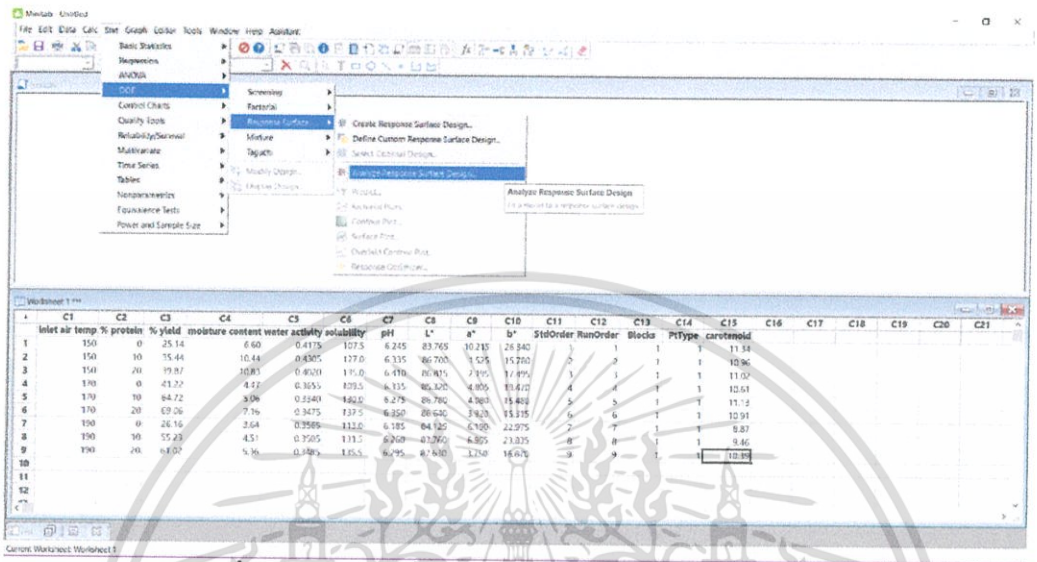
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15
	inlet air temp	% protein	% yield	moisture content	water activity	solubility	pH	L*	a*	b*	StdOrder	RunOrder	Blocks	PtType	carotenoid
1	150	0	25.14	6.60	0.4175	107.5	6.245	83.765	10.215	26.340	1	1	1	1	11.34
2	150	10	35.44	10.44	0.4305	127.0	6.335	86.700	9.525	15.780	2	2	1	1	10.96
3	150	20	39.87	10.83	0.4020	135.0	6.410	86.815	2.195	17.495	3	3	1	1	11.02
4	170	0	41.22	4.47	0.3655	105.5	6.235	85.320	4.805	19.470	4	4	1	1	10.61
5	170	10	64.72	5.06	0.3140	130.0	6.275	86.760	4.080	15.480	5	5	1	1	11.13
6	170	20	69.06	7.16	0.3475	137.5	6.350	86.640	3.920	15.315	6	6	1	1	10.91
7	190	0	26.16	3.64	0.3565	113.0	6.185	84.125	6.190	22.975	7	7	1	1	8.87
8	190	10	55.23	4.51	0.3505	131.5	6.260	83.760	6.965	23.835	8	8	1	1	9.46
9	190	20	61.02	5.36	0.3485	135.5	6.295	87.630	3.750	16.870	9	9	1	1	10.39

รูปที่ ก.2 หน้าต่างหลังจากใส่ข้อมูล



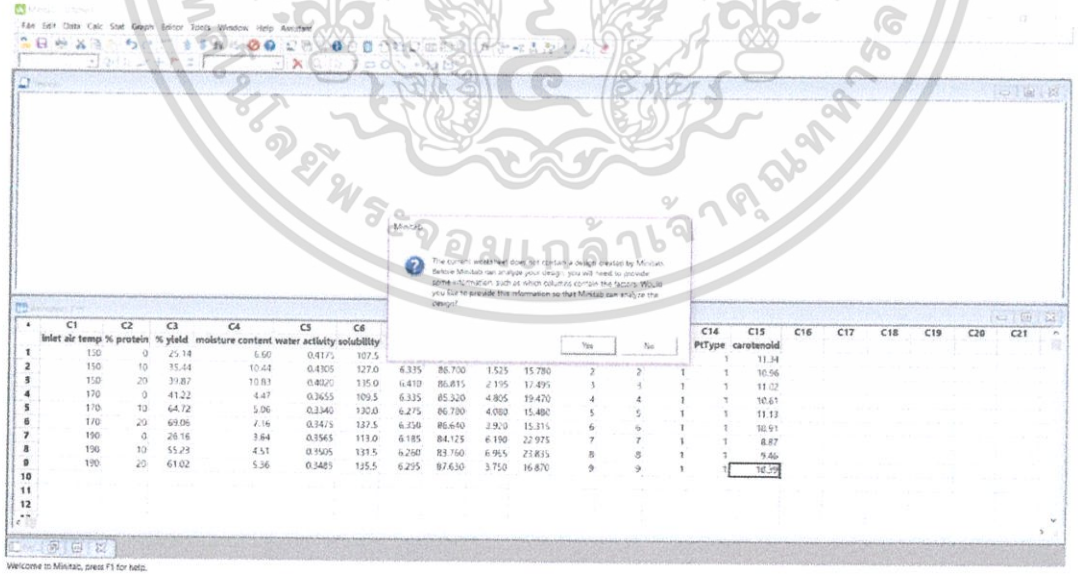
รูปที่ ก.3 เรียกใช้คำสั่ง Stat ในการวิเคราะห์ข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 เรียกใช้คำสั่ง Analyze Response Surface Design

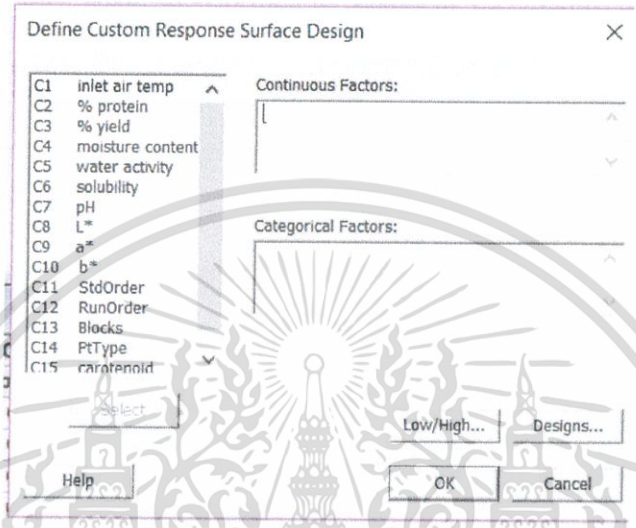
ในการวิเคราะห์ครั้งนี้เราใช้แผนภูมิ Response Surface ในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยก่อนที่เราจะสามารถวิเคราะห์ได้ เราต้องให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่เราใส่ก่อน โดยไปที่ Stat > DOE > Response Surface > Analyze Response Surface Designs



รูปที่ ก.5 ภาพแสดงของหน้าต่างหลังจากเรียกใช้ Analyze โดยที่ยังไม่ตั้งค่าตัวแปรต่างๆ

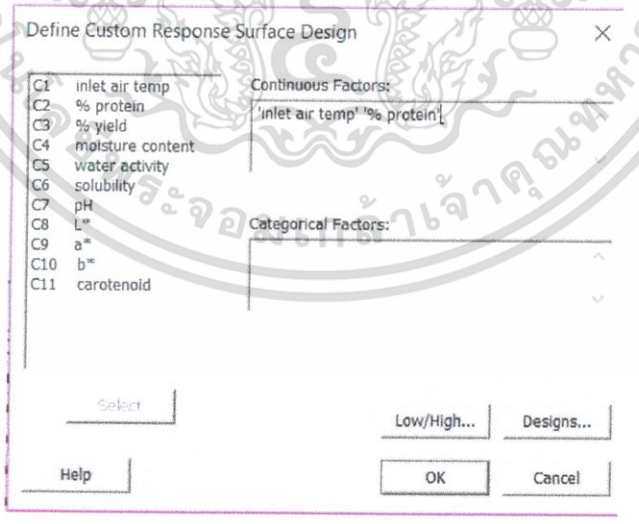
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเรายังไม่ได้ตั้งค่าตัวแปรต่างๆในการวิเคราะห์ โปรแกรมจึงต้องการให้เราตั้งค่าตัวแปรก่อน โดยกด Yes ที่หน้าต่างที่ขึ้นมา



รูปที่ ก.6 ภาพแสดงหน้าต่างการตั้งค่าตัวแปร

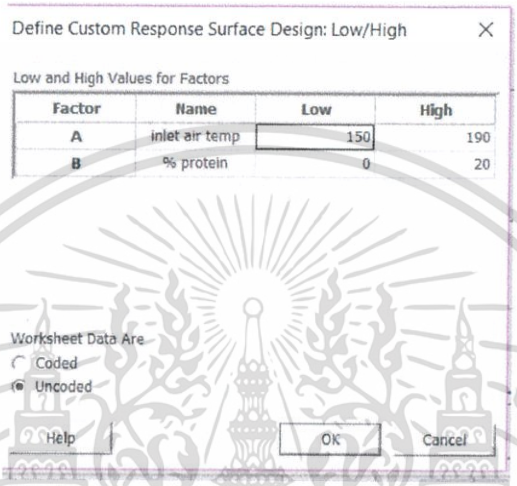
หลังจากนั้นจะปรากฏหน้าต่างดังรูปก.6 ขึ้นมาเพื่อให้เราตั้งค่าตัวแปรต่างๆ โดยที่เราจะตั้งให้ C1 และ C2 เป็น Continuous Factors เนื่องจากเป็นค่าที่เราศึกษา ดังรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.7 ภาพแสดงหลังจากตั้งค่าตัวแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากทำการตั้งค่าเสร็จเราต้องกำหนดช่วงระดับของตัวแปรที่เอามาใช้วิเคราะห์ ในที่นี้จะกำหนดแค่ของ Continuous Factors โดยกดไปที่ Low/High ที่มุมขวาล่างของหน้าต่าง โดยเราสามารถกด OK ได้เลย

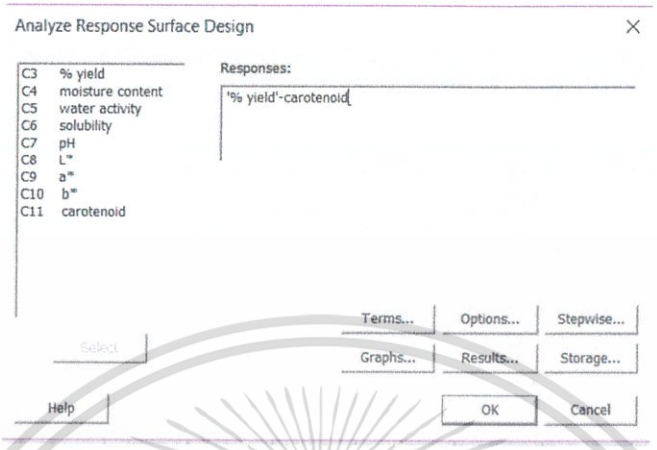


รูปที่ ก.8 หน้าต่างแสดงการตั้งค่าช่วงของตัวแปร

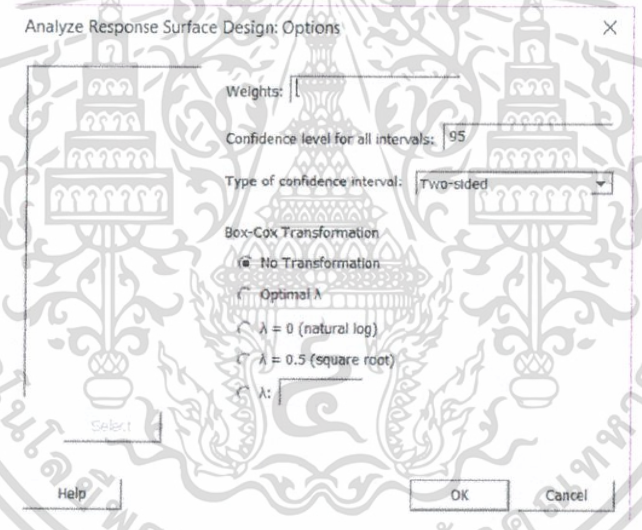
รูปที่ ก.9 หน้าต่างหลังจากตั้งค่าตัวแปรทุกอย่างเรียบร้อย

หลังจากที่เราตั้งค่าทุกอย่าง จะปรากฏหน้าต่างดังรูป ก.9 ให้เราทำการเลือกตัวแปรที่เราต้องการวิเคราะห์ ซึ่งในที่นี้เราจะเลือกตัวแปรทุกตัวให้วิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



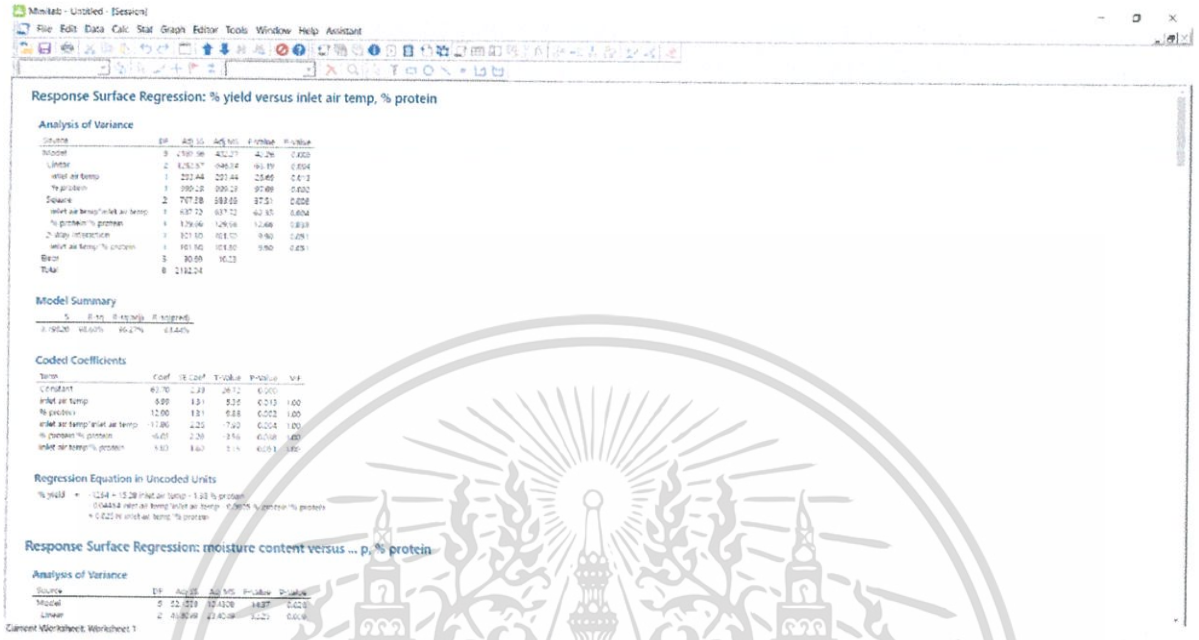
รูปที่ ก.10 หน้าต่างหลังจากเลือกตัวแปรเสร็จ



รูปที่ ก.11 หน้าต่างตั้งค่าช่วงความเชื่อมั่น

หลังจากเลือกตัวแปรสำเร็จเราจะเข้าไปที่ Options แล้วตั้งค่าช่วงความเชื่อมั่น ในที่นี้เราใช้ที่ช่วง 95 เมื่อตั้งค่าเสร็จ กด OK โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลหลังจากนั้น ส่วนของ Session จะแสดงผลให้เรา โดยที่ข้อมูลมีได้จะเหมือนกันทุกตัวแปร ดังรูปที่ ก.12

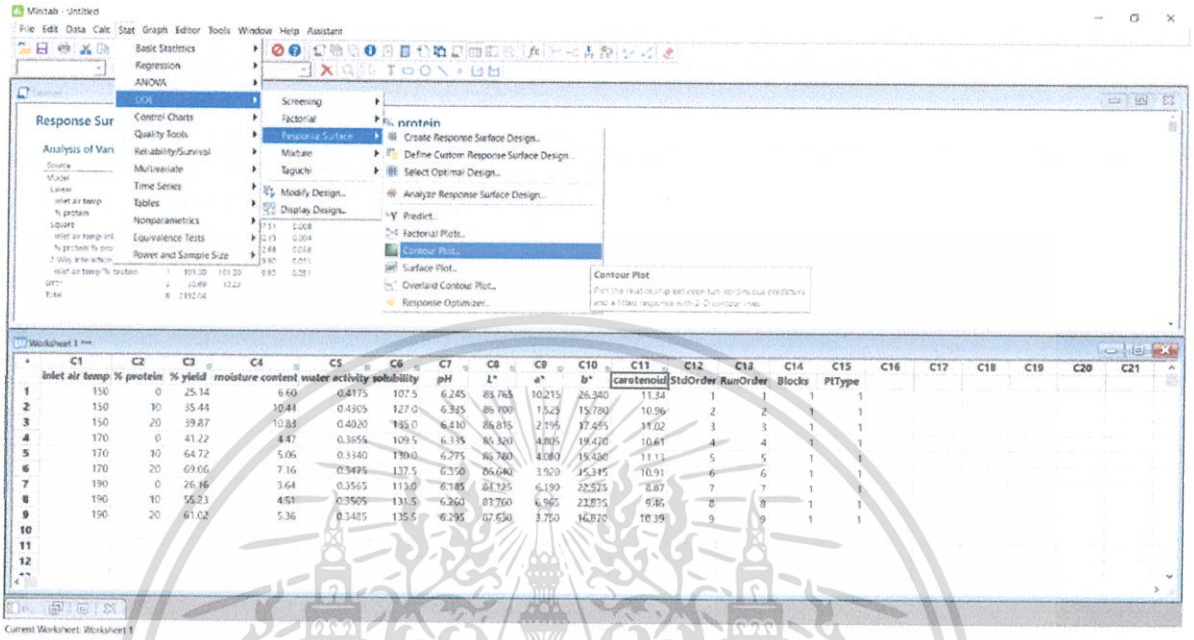
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



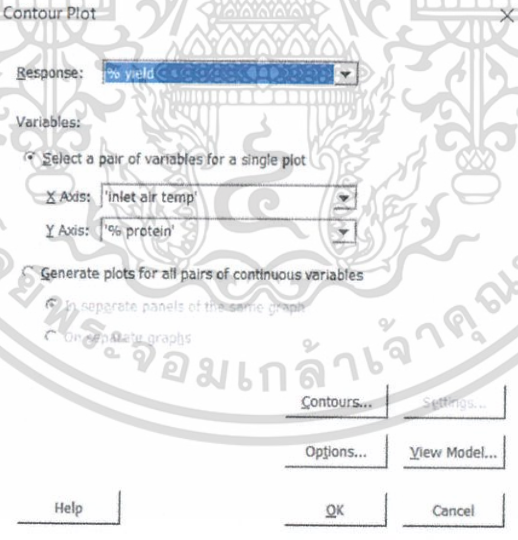
รูปที่ ก.12 ตัวอย่างหน้าต่าง Session ที่แสดงข้อมูลหลังจากวิเคราะห์

หลังจากนี้เราสามารถให้โปรแกรมแสดงผลออกมาในรูปของกราฟได้ ในที่นี้จะให้แสดงกราฟ 2 แบบ ทั้ง Contour plot และ Surface plot โดยแบบแรก Contour plot โดยไปที่ Stat > DOE > Response Surface > Contour plot ดังรูป ก.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



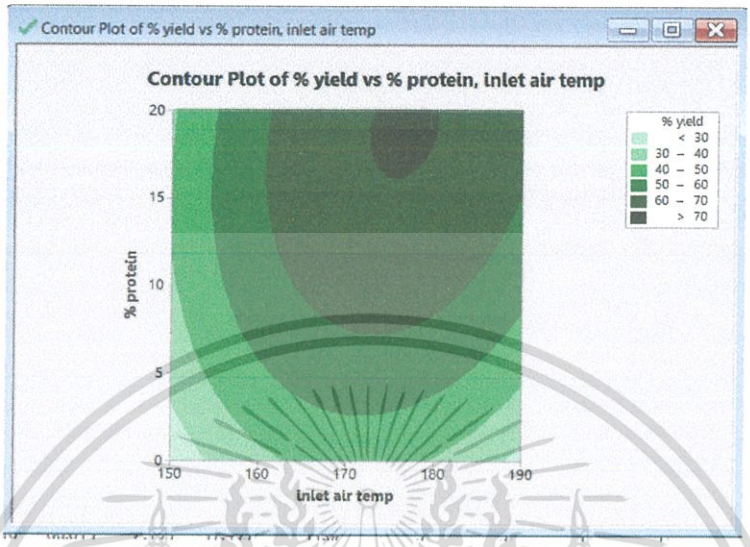
รูปที่ ก.13 การเรียกใช้คำสั่ง Contour plot



รูปที่ ก.14 หน้าต่างของคำสั่ง Contour plot

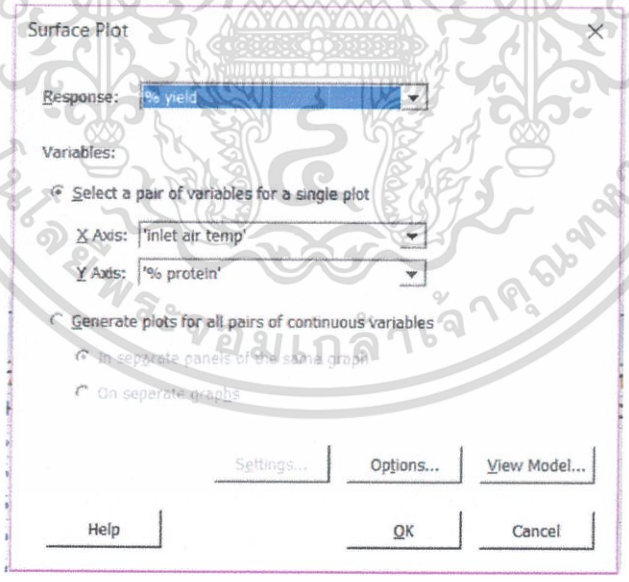
หลังจากเรียกใช้ Contour plot จะขึ้นหน้าต่างดังรูป ก.14 โดยเราทำการเลือกตัวแปรที่เราต้องการและตั้งค่าแกน X และแกน Y โดยในที่นี้ แกนX คืออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และแกนY คือ %โปรตีน หลังจากนั้นกดOK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.15 ตัวอย่างหน้าต่างของ Contour Plot

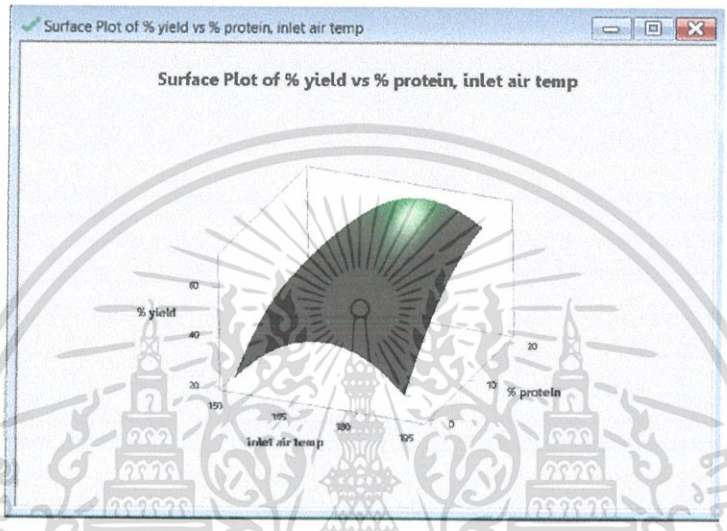
ต่อมาเป็นกราฟแบบ Surface Plot โดยเราจะสามารถเรียกใช้คำสั่งได้จาก Stat > DOE > Response Surface > Surface Plot ดังรูป ก.16



รูปที่ ก.16 หน้าต่างคำสั่งของ Surface plot

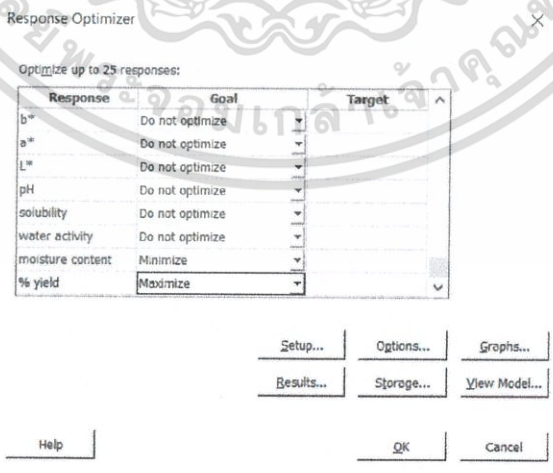
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเรียกใช้ Contour plot จะขึ้นหน้าต่างดังรูป ก.14 โดยเราทำการเลือกตัวแปรที่เราต้องการและตั้งค่าแกน X และแกน Y โดยในที่นี้ แกนX คืออุณหภูมิลมร้อนขาเข้า และแกนY คือ %โปรตีน หลังจากนั้นกดOK



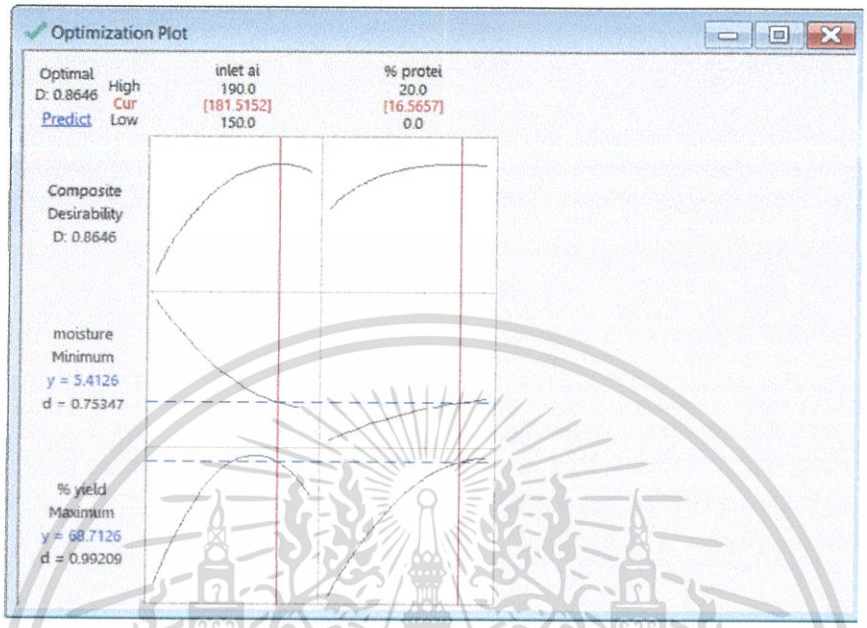
รูปที่ ก.17 ตัวอย่างของหน้าต่าง Surface Plot

เราสามารถทำนายช่วงสภาวะที่เราวิเคราะห์ได้ จากการตั้งเกณฑ์ว่าเราต้องการให้ผลที่ออกมานั้นเป็นอย่างไร โดยในที่นี้เราจะตั้งให้ มี %yield มากที่สุด และMoisture content น้อยที่สุด จากคำสั่ง Response Optimizer ดังรูป ก.18 จากนั้น กด OK



รูปที่ ก.18 หน้าต่างคำสั่ง Response Optimizer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.19 หน้าต่าง Optimizer Plot

โปรแกรมจะแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟ ซึ่งค่าที่เหมาะสมกับสภาวะที่ตั้งไว้จะอยู่ใน cur ที่อยู่ระหว่างHigh กับ Low

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้