

ผลของการใช้เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะใน
ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย) ต่ออัตรา
การทำแห้งและคุณภาพของกุ้งแห้ง

THE EFFECT OF USING A HOT AIR DRYER (INTELLIGENT DRYING
CONTROL SYSTEM IN DRY FOOD PRODUCTH for SME, RESEARCH
FUND OFFICE) ON DRYING RATE AND QUALITY OF DRIED SHRIMP.

นางสาวจนิศตา สํารานู

นางสาวบงกช ทวีสุวรรณไกร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลของการใช้เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะใน
ผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย) ต่้อัตรา
การทำแห้งและคุณภาพของกุ้งแห้ง

THE EFFECT OF USING A HOT AIR DRYER (INTELLIGENT DRYING
CONTROL SYSTEM IN DRY FOOD PRODUCTH for SME, RESEARCH
FUND OFFICE) ON DRYING RATE AND QUALITY OF DRIED SHRIMP.

นางสาวจนิศตา สําราย

นางสาวบงกช ทวีสุวรรณไกร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

THE EFFECT OF USING A HOT AIR DRYER (INTELLIGENT DRYING CONTROL SYSTEM IN DRY FOOD PRODUCTH for SME, RESEARCH FUND OFFICE) ON DRYING RATE AND QUALITY OF DRIED SHRIMP.



SCHOOL OF ENGINEERING

KINGMONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลของการใช้เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง สำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย) ต่ออัตราการทำแห้ง และคุณภาพของกุ้งแห้ง

The effect of using a hot air dryer (Intelligent drying control system in dry food products for SME, Research Fund Office) on drying rate and quality of dried shrimp.

ผู้จัดทำ

นางสาวจณิสตา สำราญ

นางสาวบงกช ทวีสุวรรณไกร



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.วรีสา ชูวัฒน์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อโครงการ	ผลของการใช้เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย) ต่ออัตราการทำแห้งและคุณภาพของกึ่งแห้ง
จัดทำโดย	นางสาวจณิสตา สำราญ นางสาวบงกช ทวีสุวรรณไกร
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วริสา ชูวัฒนกุล สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาานิพนธ์	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอาหาร

บทคัดย่อ

การทำแห้งกึ่งส่วนใหญ่เป็นการตากแดด ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการทำแห้งกึ่งโดยใช้ตู้อบแทน แต่การที่จะให้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ได้มีคุณภาพตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 7012-2551) คือมีความชื้นไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ในการใช้ตู้อบทั่วไบนั้นทำได้ยาก ถึงแม้จะมีการกำหนดอุณหภูมิและเวลาในการอบ แต่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของแต่ละวันนั้นไม่เท่ากัน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ได้ในแต่ละวันมีความชื้นไม่สม่ำเสมอ หรืออาจไม่เป็นไปตามมาตรฐาน โครงการวิจัยนี้จึงได้ทดลองอบแห้งกึ่งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งคุณภาพชั้นพรีเมียมสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย) ซึ่งสามารถกำหนดความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ได้ โดยกำหนดความชื้นสุดท้ายที่ 13 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เพื่อศึกษาอัตราการทำแห้งและคุณภาพของกึ่งแห้ง โดยทำการศึกษากการทำแห้งแบบอุณหภูมิผิวผลิตภัณฑ์ที่ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองพบว่ามีอัตราการทำแห้งคือ 0.3021 และคุณภาพของกึ่งแห้งที่ได้มีดังนี้ ค่าความชื้น 9.3946 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.480 ค่าสีซึ่งมีค่า L^* เท่ากับ 42.75 ค่า a^* เท่ากับ 10.69 ค่า b^* เท่ากับ 18.96 และค่าการหดตัวมีค่า 42.84 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Project title	The effect of using a hot air dryer (Intelligent drying control system in dry food products for SME, Research Fund Office) on drying rate and quality of dried shrimp.
By	MISS JANISTA SAMRAN MISS BONGKOT TAWESUWANNAKRAI
Advisor	Dr. Varesa Chuwattanakul Department of Food Engineering Faculty of Food Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic year	2020

Abstract

Most shrimp drying is done in the sun. Currently, shrimp drying has been developed using an incubator instead. But to provide quality dried shrimp products according to community product standards. (Chor. 309/2549) is moisture not more than 20 percent wet base. It is difficult to use a conventional incubator. Although the temperature and baking time are set. But the relative humidity in the air each day is not the same. As a result, the dried shrimp products obtained each day have uneven moisture Or may not meet the standard This research project was experimented with drying shrimp with a hot air dryer. (Intelligent drying control system in premium quality dry food products for SME, Research Fund Office), which can determine the final moisture content of the product. The final moisture content is set at 13 percent on the wet base. To study the drying rate and quality of dried shrimp. By studying the drying of the product surface temperature at 60 degrees Celsius, the results showed that the drying rate was 0. The quality of the dried shrimp were as follows: Moisture content 9.3946 percent wet base. Water activity value 0.480, color value which is L * value is 42.75, a * value is 10.69, b * value is 18.96 and shrinkage value is 42.84%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วรีสา ชูวิฒนกุล คณะผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่างๆ จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมือ รวมไปถึงข้อแนะนำเกี่ยวกับการทำโครงการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำ factory Classroom ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องอบแห้ง

ขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งความห่วงใยและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณวราภรณ์ มาไพศาลทรัพย์ และคุณบุญนำ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการและธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในด้านการดำเนินงานวิจัยและข้อมูลด้านเอกสารทำงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่ดูแลช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยสอบถามความก้าวหน้าของโครงการ สุดท้ายนี้คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากปริญญาบัตรเล่มนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวจนิστα สำราญ

นางสาวบงกช ทวีสุวรรณไกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญ (ต่อ)	V
สารบัญ (ต่อ)	VI
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ตรวจสอบเอกสาร	3
2.1 กุ้งแชบ๊วย	3
2.1.2 วงจรชีวิตและระยะของกุ้งแชบ๊วย	4
2.1.3 คุณค่าทางโภชนาการ	4
2.2 กุ้งแห้ง	5
2.2.1 กระบวนการผลิตกุ้งแห้ง	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
2.2.3 ปัจจัยคุณภาพ	5
2.2.4 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน	6
2.2.5 สุขลักษณะ	6
2.3 การทำแห้ง	6
2.3.1 วิธีการทำแห้ง	7
2.4 ทฤษฎีการอบแห้ง	8
2.4.1 หลักการอบแห้งอาหาร	9
2.4.2 ความชื้นและความชื้นสมดุล	10
2.4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง	11
2.5 การแช่แข็ง	12
2.5.1 หลักการ	12
2.5.2 ทฤษฎีการแช่แข็ง	13
2.5.3 ประเภทของการแช่แข็งอาหาร	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 อุปกรณ์และการทำการทดลอง	18
3.1 วัสดุดิบ เครื่องมือ และอุปกรณ์	18
3.1.1 วัสดุดิบ	18
3.1.2 สารเคมี	18
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์	18
3.2 การเตรียมตัวอย่าง	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การเตรียมตัวอย่าง การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
3.3 การทำกรรมวิธีก่อนการอบแห้ง	20
3.3.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง	20
3.4 การทดลองอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน	20
3.4.1 เตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง	20
3.4.2 วิธีการอบแห้งแบบลมร้อน	21
3.5 การวิเคราะห์คุณภาพของกุ้งแห้ง	23
3.5.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)	23
3.5.2 วอเตอร์แอกติวิตี (Water activity : a_w)	23
3.5.3 ค่าสี (Color)	24
3.5.4 การหดตัว	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	25
4.1 คุณภาพเริ่มต้นของกุ้งแช่บ๊วยสด	25
4.2 สภาวะเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน	25
4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้ง	26
4.3.1 คุณภาพผลิตภัณฑ์กุ้งแห้ง	26
4.3.2 อัตราการทำแห้ง (Drying rate)	31
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุป	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
บรรณานุกรม	35

เอกสารนี้เป็นภาคผนวกที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 กุ้งแชบ๊วย	3
รูปที่ 2.2 วงจรชีวิตและระยะของกุ้งแชบ๊วย	4
รูปที่ 2.3 กราฟแสดงอัตราการอบแห้งกับความชื้น	10
รูปที่ 2.4 แผนภาพการแช่เยือกแข็งอาหาร	13
รูปที่ 2.5 ลำดับการเปลี่ยนแปลงลักษณะ ขนาดและตำแหน่งของผลึกน้ำแข็ง ของกระบวนการแช่เยือกแข็งแบบช้าและเร็ว	15
รูปที่ 3.1 กุ้งแชบ๊วย	19
รูปที่ 3.2 (ก) เต็ดหัวและล้างทำความสะอาด (ข) บรรจุกุ้งในถุงลามิเนต (ค) การเก็บรักษาตัวอย่างกุ้งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสตลอดการทดลอง	19
รูปที่ 3.3 การเรียงตัวอย่างกุ้งก่อนอบแห้ง	21
รูปที่ 3.4 เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน	22
รูปที่ 3.5 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการวัดอุณหภูมิผิวและชั่งน้ำหนักตัวอย่างกุ้ง	22
รูปที่ 3.6 เครื่อง Aqua lab	24
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวเฉลี่ย และเวลาตลอดการทดลอง	26
รูปที่ 4.2 (ก) (ข) และ (ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของ ผลิตภัณฑ์กับเวลาในการอบแห้ง จากการทดลองครั้งที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ	27
รูปที่ 4.3 ความแตกต่างของค่าความสว่างระหว่างกุ้งสด การทดลองครั้งที่ 1 2 และ 3	29
รูปที่ 4.4 ความแตกต่างของค่าความเป็นสีเหลืองระหว่างกุ้งสด การทดลองครั้งที่ 1 2 และ 3	30
รูปที่ 4.5 (ก) (ข) และ(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทำแห้ง และความชื้น จากการทดลองครั้งที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณค่าโภชนาการของกุ้งหนัก 100 กรัม	4
ตารางที่ 2.2 ขนาดของกุ้งแห้ง	6
ตารางที่ 2.3 จุดเยือกแข็งของอาหารบาง	14
ตารางที่ 4.1 คุณภาพเริ่มต้นของกุ้งแช่เบียร์	25
ตารางที่ 4.2 สภาวะเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน	25
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์กุ้งแห้ง	26
ตารางที่ 4.4 ค่าของ L^* a^* และ b^* ในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง	29
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์อัตราการทำแห้ง	31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การทำแห้งกึ่งส่วนใหญ่เป็นการตากแดด ซึ่งกระบวนการผลิตนี้ต้องอาศัยปัจจัยหลายอย่าง เช่น แสงแดด ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ อุณหภูมิของอากาศที่ไม่เท่ากันในแต่ละเวลาหรือถ้าเป็นฤดูฝนก็ไม่สามารถทำแห้งโดยการตากแดดได้ ทำให้ได้ผลผลิตที่น้อย ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังมีคุณภาพไม่คงที่ และใช้เวลานาน ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีการพัฒนาการทำแห้งกึ่งโดยใช้ตู้อบ แต่การที่จะให้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ได้มีคุณภาพตามมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 7012-2551) คือมีความชื้นไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ในการใช้ตู้อบทั่วไปนั้นทำได้ยาก ถึงแม้จะมีการกำหนดอุณหภูมิและเวลาในการอบ แต่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศของแต่ละวันนั้นไม่เท่ากัน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ได้ในแต่ละวันมีความชื้นไม่สม่ำเสมอ หรืออาจไม่เป็นไปตามมาตรฐาน

เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งคุณภาพ ชั้นพรีเมียมสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย) เป็นเครื่องทำแห้งอัจฉริยะที่สามารถทำแห้งได้ทั้งแบบสภาวะคงที่และแบบหลายขั้นตอนแบบอัตโนมัติ สามารถควบคุมอุณหภูมิในการทำแห้ง และสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ผิวผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถระบุความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ได้ โดยภายในเครื่องจะมีการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์ทุก 10 นาที เพื่อนำไปคำนวณความชื้นในระหว่างการอบ เมื่อได้ความชื้นตามที่ตั้งค่าไว้เครื่องจะหยุดการทำงานและบันทึกเวลาการอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละครั้งมีความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานและสม่ำเสมอ โดยทำการศึกษการทำแห้งแบบอุณหภูมิผิวผลิตภัณฑ์ที่ 60 องศาเซลเซียส และตั้งค่าความชื้นที่ 13 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาอัตราการทำแห้งและคุณภาพของกึ่งแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย)

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาอัตราการทำแห้งและคุณภาพของกึ่งแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบ

ควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 กุ้งแชบ๊วย (*Fenneropenaeus merguensis*) จากอำเภอบางแพะ จังหวัดราชบุรี ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิผิวผลิตภัณฑ์ 60 องศาเซลเซียส

1.3.2 เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย)

1.3.3 ปัจจัยที่ศึกษา ประกอบด้วย

- อัตราการทำแห้ง

1.3.4 คุณภาพของกุ้งแห้งประกอบด้วย

- ความชื้นไม่เกิน 13%
- วอเตอร์แอกติวิตี (a_w) ไม่เกิน 0.6
- ค่าสี
- ค่าการหดตัว

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ผลิตภัณฑ์กุ้งแห้งที่ได้ตามมาตรฐาน และมีคุณภาพคงที่

1.4.2 กระบวนการทำแห้งกุ้งที่มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 กุ้งแชบ๊วย

กุ้งแชบ๊วยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Fenneropenaeus merguensis* อดีตใช้ *Penaeus merguensis* เป็นกุ้งธรรมชาติ ที่เติบโตในทะเล แต่สามารถกักเก็บได้ตามริมชายฝั่ง เราเรียกว่า วังกุ้ง บริเวณ มหาชัย แม่กลอง สมุทรปราการ เป็นต้น กินแพลงตอนเป็นอาหาร กุ้งแชบ๊วยมีลำตัวค่อนข้างเรียวยาว หัวค่อนข้างเล็ก ความยาวของหัวประมาณครึ่งหนึ่งของลำตัว นัยน์ตาโต กริมมีปลายเรียวยาวแหลม โคนกริมมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยม ปลายกริมมียาวเลยปลายก้านหนวดคู่ที่ 1 เล็กน้อย ขอบบนและล่างหักเป็นฟันเลื่อย ขอบด้านบนมีฟัน 7-8 ซี่ ขอบด้านล่างมีฟัน 4-5 ซี่ ลำตัวมีสีขาวอมเหลืองอ่อน และมีจุดสีน้ำตาล สีเขียวแก และเขียวอ่อน กระจายอยู่ทั่วไปสันบนปล้องท้องและกริมมีสีน้ำตาลปนแดง โคนกริมมีสีดำ หนวดคู่ที่ 2 มีสีน้ำตาลแดงไม่มีลายน ขาเดินและรยางค์ว่ายน้ำมีสีเหลืองออกน้ำตาล ปลายของขาว่ายน้ำสีแดงเรื่อ ๆ แพนหางใหญ่มีสีแดง แหล่งอาศัยมักอยู่บริเวณพื้นทะเลที่เป็นดินโคลน ความลึกของน้ำระหว่าง 16-25 เมตร (กรมประมง, 2559)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 กุ้งแชบ๊วย (Source : www4.fisheries.go.th)

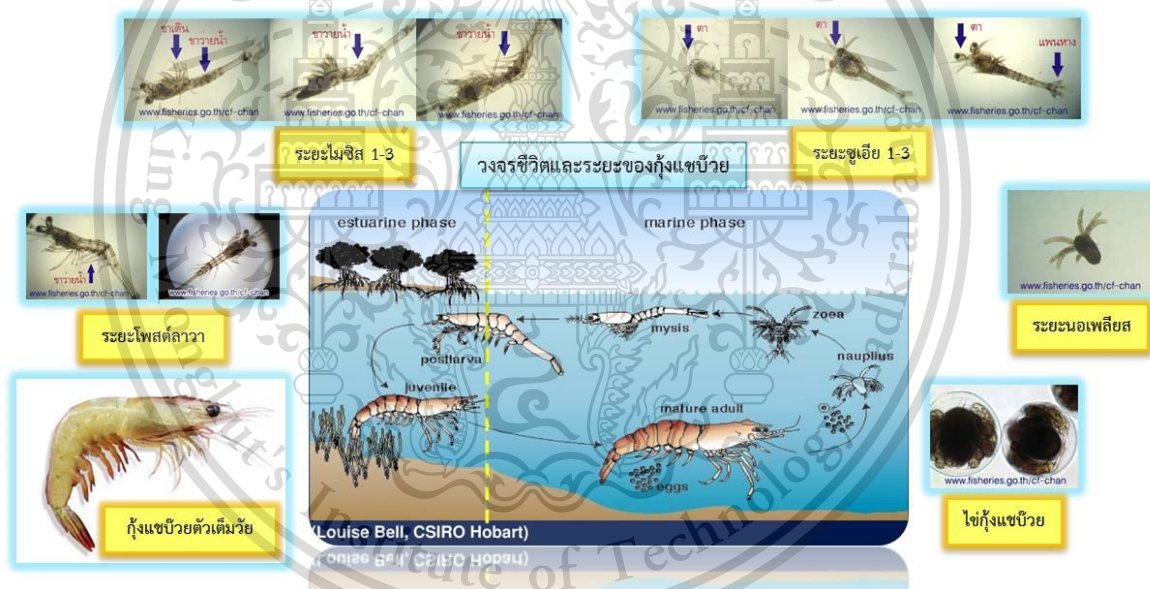
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2 วงจรชีวิตและระยะของกุ้งแชบ๊วย

การเจริญพัฒนาของลูกกุ้งแชบ๊วยตั้งแต่แม่กุ้งวางไข่จนถึงระยะโพสต์ลารวา (First postlarva) ใช้ระยะเวลาประมาณ 10 วัน ประกอบด้วย 4 ระยะใหญ่ คือ นอเพลียส (Nauplius) ซูเอีย (Zoea) ไมซิส (Mysis) และโพสต์ลารวา (Postlarva) จะย้ายเข้ามาอาศัยอยู่บริเวณป่าชายเลนประมาณ 1-2 เดือน ขึ้นกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่จนถึงระยะวัยรุ่น (Juvenile) อายุประมาณ 2-3 เดือน จะเคลื่อนย้ายออกสู่บริเวณชายฝั่งน้ำตื้นจนเจริญเข้าสู่ระยะก่อนวัยเจริญพันธุ์ (Subadult) ซึ่งมีอายุประมาณ 3-4 เดือน จึงเคลื่อนย้ายออกสู่ทะเลเปิด และเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะเจริญพันธุ์ (Mature adult) เพื่อแพร่ขยายพันธุ์ต่อไป (กรมประมง, 2559)



รูปที่ 2.2 วงจรชีวิตและระยะของกุ้งแชบ๊วย (Source : www4.fisheries.go.th)

2.1.3 คุณค่าทางโภชนาการ

ตารางที่ 2.1 คุณค่าโภชนาการของกุ้งหนัก 100 กรัม

คุณค่าทางโภชนาการของกุ้ง 100 กรัม	
พลังงาน	106 Kcal
โปรตีน	20.3 g

ไขมัน	1.77 g
คาร์โบไฮเดรต	0.88 g
แคลเซียม	53 mg
เหล็ก	1.59 mg
โซเดียม	150 mg
คอเลสเตอรอล	150 mg

แหล่งข้อมูล: *USDA Nutrient database

2.2 กุ้งแห้ง (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551)

กุ้งแห้ง (dried shrimp) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำกุ้งสดที่อยู่ในวงศ์พีเนียดี (Penaeidae) และ พาเลโมนีดี (Palaemonidae) นำมาผ่านกระบวนการผลิตกุ้งแห้ง แล้วนำมาทำให้แห้ง อาจเอาเปลือกออกหรือไม่ก็ได้และอาจมีสากหรือหางติดอยู่หรือไม่ก็ได้

2.2.1 กระบวนการผลิตกุ้งแห้ง

กระบวนการผลิตกุ้งแห้ง หมายถึง การนำกุ้งสดมาล้างทำความสะอาด แล้วให้ความร้อนในช่วงเวลาสั้น (precook) เช่น การต้มหรือนึ่ง พอที่จะทำให้เนื้อกุ้งหดตัว หลุดออกจากเปลือก ทำให้แกะเปลือกได้ง่าย แล้วนำไปลดความชื้น อาจนำเปลือกออกก่อนหรือหลังลดความชื้น โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือ แหล่งพลังงานความร้อนอื่น คัดขนาด แล้วบรรจุ

2.2.2 แบบของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์กุ้งแห้งมี 3 แบบ ดังนี้

- 1) แบบมีเปลือก ได้แก่ กุ้งที่ไม่เอาเปลือกออก
- 2) แบบไม่มีเปลือก ได้แก่ กุ้งที่เอาเปลือกออกจากตัวก่อนหรือหลังทำแห้งก็ได้
- 3) แบบกะเทาะเปลือก ได้แก่ กุ้งที่เอาเปลือกออกจากตัวหลังจากการทำแห้งซึ่งอาจมีเปลือกติดกับลำตัวได้บ้าง

2.2.3 ปัจจัยคุณภาพ

- 1) ความชื้นโดยน้ำหนักต้องไม่เกิน 30 %

- 2) วอเตอร์แอกติวิตีต้องไม่เกิน 0.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 3) เกลือโดยน้ำหนักต้องไม่เกิน 7%
- 4) ต้องมีสีตามธรรมชาติของกุ้งแห้ง ขึ้นกับชนิดของกุ้งที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบ
- 5) ต้องมีกลิ่นและกลิ่นรสปกติของกุ้งแห้ง ปราศจากกลิ่นหรือกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน กลิ่นแอมโมเนีย

2.2.3 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 2.2 ขนาดของกุ้งแห้ง

ขนาด	จำนวนกุ้งแห้ง (ตัวต่อ 100 g)
พิเศษ	ไม่เกิน 50
ใหญ่	51 ถึง 250
กลาง	251 ถึง 500
เล็ก	มากกว่า 501 ขึ้นไป

กุ้งแห้งแต่ละขนาดในตารางที่ 2.2 มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 15%

2.2.4 สู่ลักษณะ

ชนิดและปริมาณจุลินทรีย์ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดดังนี้

- (1) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องไม่เกิน 10^5 cfu/g
- (2) ยีสต์และเชื้อรา ต้องไม่เกิน 5×10^2 cfu/g
- (3) แซลโมเนลลา (Salmonella spp.) ต้องไม่พบใน 25 g
- (4) สตาฟีโลค็อกคัส ออเรียส (Staphylococcus aureus) ต้องไม่เกิน 10^2 cfu/g
- (5) เอสเคอริเชีย โคลิ (Escherichia coli) น้อยกว่า 3 MPN/g
- (6) คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ (Clostridium perfringens) ต้องไม่เกิน 10^2 cfu/g

2.3 การทำแห้ง (อาทิตยา พัฒนิบูลย์ และ ดร.อมรชัย อารณวิธานพ, 2557)

การทำแห้ง (dehydration) เป็นวิธีการถนอมอาหาร (food preservation) ที่นิยมใช้มานาน โดยลดความชื้น (moisture content) ของอาหารด้วยการระเหยน้ำด้วยการอบแห้ง (dehydration) การ

ทอด (frying) หรือการระเหิดน้ำส่วนใหญ่ในอาหารออก ทำให้ช่วยลดการเติบโตของจุลินทรีย์ที่มีในอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ส่วนน้ำที่เหลือจากการทำแห้งเป็น น้ำที่ถูกยึดไว้กับองค์ประกอบของอาหาร (bound water) อยู่ในไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โครงสร้างหรือในเซลล์ที่ประกอบเป็นกล้ามเนื้อสัตว์ โดยทั่วไป เนื้อ สัตว์เป็นแหล่งอาหารที่ดีสำหรับ จุลินทรีย์ เนื่องจากมีสารอาหารครบ ถ้วน และมีน้ำอยู่ในเนื้อเยื่อปริมาณสูง โดยในเนื้อสัตว์มีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ถึงประมาณร้อยละ 70 จุลินทรีย์ในเนื้อสัตว์สามารถเจริญเติบโตได้และเอนไซม์ในเนื้อจะทำงานได้ดีเมื่อมีน้ำเพียงพอ ดังนั้นการลดความชื้นหรือการทำให้อาหารแห้งจะช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ชะลอการทำงานของเอนไซม์ หรือชะลอปฏิกิริยาต่าง ๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมี ซึ่งมีน้ำเป็นส่วนร่วมและเป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย (food spoilage) ช่วยให้เก็บได้นานขึ้น

การลดปริมาณน้ำในอาหารโดยการทำแห้ง ทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity) น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค (pathogen) รวมทั้งยับยั้งการสร้างสาร พิษของเชื้อรา (mycotoxin) เช่น Aflatoxin นอกจากนี้การทำแห้งยังทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร ทำให้สะดวกต่อการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่น ๆ และยังเป็นการผลิตภัณฑ์ใหม่ที่เป็นทางเลือกของผู้บริโภคมากขึ้นอีกด้วย

อาหารที่นำมาทำแห้งมีหลากหลาย วัตถุดิบเริ่มต้นที่นำมาทำแห้งอาจมีสถานะเป็นของเหลว ของกึ่งแข็งหรือของแข็ง ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะมีสถานะเป็นของแข็ง ซึ่งอาจเป็นชิ้น เป็นแผ่น หรือเป็น ผง ที่มีลักษณะและคุณภาพแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกระบวนการทำแห้ง ที่เลือกใช้ ตัวอย่างอาหารแห้งที่พบทั่วไป ได้แก่ ผักผลไม้ ถั่วเมล็ดแห้ง นมผง ชา กาแฟโกโก้ น้ำตาล เนื้อสัตว์ สัตว์น้ำ อาหารทะเล เห็ด กว๊ายเตี๋ย พาสต้า สมุนไพร เครื่องเทศ วัตถุเจือปนอาหาร (food additive) เป็นต้น เนื่องจากกระบวนการอบแห้งอาหารเกี่ยวข้องกับทั้งการถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อน มวลสารที่ถ่ายเทระหว่างการทำแห้งอาหารส่วนใหญ่คือน้ำที่มีอยู่ในอาหารในระหว่างการอบแห้ง อาหารจะเกิดการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ขึ้นมากมายทั้งที่ต้องการและไม่ต้องการ การทำแห้งอาหารที่มีประสิทธิภาพสูงต้องคำนึงถึงคุณภาพของอาหารที่ได้หลังจากการทำแห้ง เช่น การนำมาคืนตัว (rehydration) ด้วยการดูดน้ำกลับเข้าไปใหม่ คุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่นรส รสชาติ เนื้อสัมผัส รูปทรง ทั้งยังต้องคำนึงถึงการประหยัด พลังงาน มีการนำพลังงานกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย

2.3.1 วิธีการทำแห้ง

การทำแห้งสามารถทำได้ 3 วิธี คือ

- 1) การทำแห้งด้วยแสงแดด (sundrying) เป็นวิธีเก่าแก่ที่ใช้กันมาแต่โบราณ โดยนำเนื้อสัตว์มาหั่นเป็นชิ้นบาง ๆ ล้างด้วยน้ำทะเลหรือล้างด้วยน้ำธรรมดาแล้วคลุกเคล้าเกลือ หลังจากนั้นจึงนำไปตากให้แห้งโดยใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงแดด วิธีการนี้ประหยัดพลังงานความร้อน แต่เนื้อตากแห้งที่ได้มักมีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์สูงหากตากไม่แห้งพอ เมื่อเก็บไว้นานวันอาจเสียได้ง่าย

2) การทำแห้งด้วยความร้อน (hot air drying) หรือการอบแห้ง เป็นการนำวิธีการทำแห้งด้วยแสงแดดมาปรับปรุงโดยใช้อุปกรณ์เพื่อช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากแห้งตามที่ต้องการและมีความชื้นสม่ำเสมอ ผลิตภัณฑ์ที่ตากแห้งโดยวิธีนี้จะสะอาด ลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ได้ดีกว่าการตากแดด การทำแห้งในผลิตภัณฑ์เนื้อที่ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ หรือผลิตภัณฑ์เนื้อที่สุกแล้วมักใช้วิธีการทำให้แห้งด้วยความร้อนโดยใช้ตู้อบขนาดใหญ่ที่มีลมร้อนเป่าผ่าน ทำให้น้ำระเหยไปกับลมร้อนทางช่องระบายลม ภายในตู้อบใช้อุณหภูมิประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวิธีนี้มีความชื้นประมาณร้อยละ 5.6 - 8.5 แต่จะมีปริมาณไขมันสูงขึ้นถึงร้อยละ 20.4 - 24.2 กรณีที่เป็นเนื้อสุกรตากแห้งอาจเกิดการเหม็นหืนได้ง่ายเมื่อเก็บไว้ 3-5 วัน อย่างไรก็ตามสามารถป้องกันกรเหม็นหืนได้โดยการเติมสารกันหืน เช่น BHA หรือ BHT ประมาณร้อยละ 0.01 ผสมเนื้อหมักเกลือก่อนตากแห้ง

3) การทำแห้งด้วยความเย็น (freeze drying) หรือการแช่แข็งแล้วทำให้แห้งในสุญญากาศ เป็นวิธีการทำให้เนื้อสัตว์แห้งโดยการระเหิด (sublimation) น้ำออกจากชิ้นเนื้อในสภาวะที่เป็นน้ำแข็งในสภาพสุญญากาศ ชิ้นเนื้อจะถูกทำให้เย็นลงจนถึงจุดเยือกแข็งโดยเร็วจนน้ำภายในชิ้นเนื้อกลายเป็นน้ำแข็ง น้ำแข็งเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นและควบคุมความดันสุญญากาศให้เหมาะสมหรือ ควบคุมความดันให้เท่ากับหรือต่ำกว่าความดัน ณ จุดเปลี่ยนสภาวะของน้ำ (triple point of water) น้ำแข็งจะสามารถระเหิดกลายเป็นไอน้ำได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวก่อน ผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูพรุน โปร่ง คงรูปร่างเดิมได้ดี มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 2.0 และสามารถดูดน้ำกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ง่าย ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ได้ในภาชนะที่บรรจุในสภาพสุญญากาศ (vacuum packaging) การทำแห้งด้วยความเย็นนิยมใช้กับเนื้อสัตว์ที่นำไปใส่ในซูบและผลิตภัณฑ์ที่มีราคาแพง

2.4 ทฤษฎีการอบแห้ง (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540)

การอบแห้งเป็นการกำจัดความชื้นออกจากอาหาร วัตถุประสงค์ที่สำคัญในการอบแห้งเพื่อเก็บรักษาถนอมผลิตภัณฑ์ให้มีอายุการเก็บนาน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำหรือความชื้นที่มีอยู่ในอาหารสูง ๆ จะทำให้อาหารเน่าเสียง่าย ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์และจากปฏิกิริยาทางเคมี โดยพบว่าปริมาณความชื้นใน

อาหารที่จะป้องกันการเสื่อมเสียของอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์จะต้องดึงน้ำออกจนเหลือต่ำกว่าร้อยละ 10 หรือมี a_w ต่ำกว่า 0.6 ดังนั้นการอบแห้งจึงเป็นกระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ร้อนไปยังวัสดุที่ขึ้น เพื่อไล่ความชื้นออกด้วยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย เนื่องจากกระบวนการอบแห้งอาหารเกี่ยวข้องกับทั้งการถ่ายเทมวลและการถ่ายเทความร้อน มวลที่ถ่ายเทระหว่างการทำแห้งอาหารส่วนใหญ่คือน้ำที่มีอยู่ในอาหารการทำแห้งอาหารที่มีประสิทธิภาพสูงต้องคำนึงถึงคุณภาพของอาหารที่ได้หลังจากการทำแห้ง เช่นการนำมาคืนตัว (Rehydration) ด้วยการดูดน้ำกลับเข้าไปใหม่ คุณค่าทางโภชนาการ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส รูปร่าง อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้นานขึ้น

2.4.1 หลักการอบแห้งอาหาร

เป็นกระบวนการลดความชื้นวัสดุจนถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้เพื่อให้วัสดุมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาด้วยการถ่ายเทความร้อนและมวลสารไปพร้อม ๆ กันโดยทั่วไปแล้วการทำแห้งมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลาง (Drying Medium) ในการพาความชื้นออกไปจากวัสดุ ดังนั้นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้งด้วยลมร้อน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์แล้อัตราการไหลของอากาศร้อน ด้วยเหตุนี้ปรากฏการณ์หลักที่เกิดขึ้นกับการทำแห้งด้วยลมร้อนคือกาถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างวัสดุและของไหลโดยอาศัยแรงขับเคลื่อนจากความต่างศักย์ของอุณหภูมิ และความชื้น กล่าวคือ ความร้อนจากของไหลจะถูกถ่ายเทสู่วัสดุ ซึ่งทำให้ความชื้นระเหยออกไปกับอากาศในขณะเดียวกันไอน้ำก็จะเคลื่อนที่จากผิวหน้าวัสดุไปยังอากาศร้อนด้วยกราดระหว่างอัตราการอบแห้ง (Drying rate) และความชื้นในวัสดุ แบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังรูปที่ 2.3

2.4.1.1 ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial adjustment period : A-B) เป็นช่วงเริ่มต้นที่อาหารที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของอาหารยังสูงอยู่ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหารทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหารมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิเกาะเปียก (Wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางอัตราการทำแห้งค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (Constant rate)

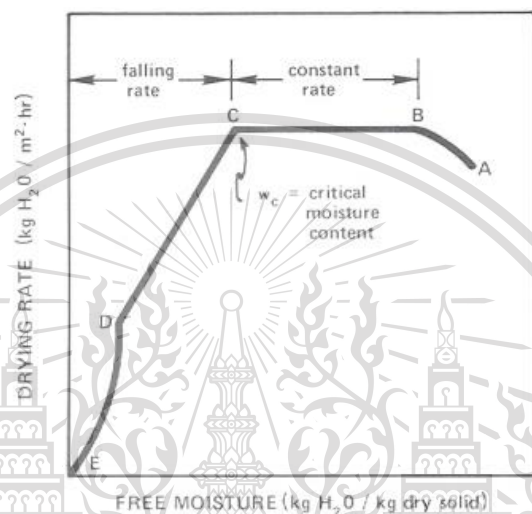
2.4.1.2 ช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ (Constant rate period : B-C) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้าพลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุอย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้งจุดสุดท้ายของช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานั้น เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (Critical moisture content)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.1.3 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period : C-D และ D-E) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างต่อเนื่องผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้งทำให้อุณหภูมิจึงผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราการอบแห้งจะลดลง ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุดภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้อัตราการอบแห้งเป็นศูนย์ น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงอัตราการอบแห้งกับความชื้น (Karel and Lend, 2003)

2.4.2 ความชื้นและความชื้นสมดุล

2.4.2.1 ความชื้น

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบดังนี้

1) ความชื้นฐานเปียก (Moisture content on wet basis, %MC_{wb}) คืออัตราส่วนของน้ำหนักน้ำที่อยู่ในวัสดุกับน้ำหนักทั้งหมดของวัสดุ โดยทั่วไปมักแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์และนิยมใช้ในทางการค้าในการบอกค่าความชื้นของวัสดุนั้น ๆ

$$\%MC_{wb} = \frac{M_w}{M_w + M_s} \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ $\%MC_{db}$ คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

M_w คือ มวลน้ำในวัสดุ (g)

M_s คือ มวลแห้งของวัสดุ (g)

2) ความชื้นฐานแห้ง (Moisture content on dry basis, %6 MC_{db}) คือ อัตราส่วนของน้ำหนักน้ำที่อยู่ในวัสดุกับน้ำหนักแห้งของวัสดุ ค่าน้ำหนักแห้งของวัสดุจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ดังนั้นจึงนิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎีเพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น

$$\%MC_{db} = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ %MC_{db} คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานเปียก

M_w คือ มวลน้ำในวัสดุ (g)

M_s คือ มวลแห้งของวัสดุ (g)

2.4.2.2 ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)

ความชื้นสมดุล คือ ความชื้นของวัสดุซึ่งอยู่ในสภาวะสมดุลกับอากาศหรือตัวกลางอบแห้งอื่น ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ค่าหนึ่ง ๆ ทั้งนี้แผนภาพแสดงความชื้นสัมพัทธ์ระหว่างค่าความชื้นสมดุลกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ จะเรียกว่า ไอโซเทิร์มการดูด-คายซึบ (Sorption isotherms) โดยไอโซเทิร์มซึ่งได้จากการให้ของแข็งสัมผัสกับอากาศความชื้นเพิ่มขึ้นเป็นลำดับเรียกว่า ไอโซเทิร์มการดูดซึบ (Adsorption isotherm) ในขณะที่ไอโซเทิร์มซึ่งได้จากการให้ของแข็งสัมผัสกับอากาศที่มีความชื้นลดลงเป็นลำดับจะเรียกว่า ไอโซเทิร์มการคายซึบ (Desorption isotherm) ดังนั้นในกรณีการอบแห้งไอโซเทิร์มการคายซึบจะเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งมากกว่าไอโซเทิร์มการดูดซึบ

2.4.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

ลักษณะธรรมชาติของวัสดุอบแห้ง เป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นรูพรุน (Porosity) ซึ่งวัสดุที่มีความพรุนมาก จะส่งผลต่ออัตราการอบแห้งที่เร็วขึ้น เนื่องจากน้ำในวัสดุสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้สำหรับวัสดุที่มีพื้นที่ผิวมากก็จะส่งผลให้อัตราการอบแห้งสามารถเกิดขึ้นได้เร็วขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้น ซึ่งปัจจัยหลักที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งมีดังนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.3.1 ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของวัสดุ เป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่มีผลต่อการทำแห้ง วัสดุที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากจะมีพื้นที่ระเหยนํ้ามากส่งผลให้เกิดอัตราการแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นหากวัสดุที่มีความหนาจะส่งผลให้อัตราการอบแห้งช้ากว่าวัสดุที่มีความหนาน้อยกว่าเนื่องจากอัตราการแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

2.4.3.2 ปริมาณของวัสดุที่นำมาอบแห้ง วัสดุที่นำมาอบแห้งในปริมาณมาก ๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจากอากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับวัสดุที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึง จึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนกับวัสดุได้ จึงเป็นสาเหตุทำให้อัตราการอบแห้งช้าลง

2.4.3.3 ความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (Specific humidity) ของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยนํ้าออกจากวัสดุจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

2.4.3.4 ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของนํ้า เนื่องจากในที่มีความดันต่ำ ๆ นํ้าจะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันจะทำให้อัตราการแห้งเร็วขึ้นเช่นกัน

2.5 การแช่แข็ง

2.5.1 หลักการ

การแช่เยือกแข็ง (freezing) เป็นการลดอุณหภูมิของอาหารหรือ ผลิตภัณฑ์ให้ต่ำลง เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส นํ้าหรือสารละลายที่เป็นของเหลวในองค์ประกอบของวัตถุดิบอาหารจะเปลี่ยนสถานะเป็นนํ้าแข็ง ซึ่งเป็นกรรมวิธีการแปรรูปอาหาร (food processing) เพื่อการถนอมอาหาร (food preservation) ที่คงความสดและรักษาคุณภาพของอาหารได้ดีกว่าการถนอมอาหารด้วยวิธีอื่น ๆ (พิมพ์เพ็ญ, 2559)

การตกผลึก (Crystallization) คือปรากฏการณ์ที่อธิบายถึงการเกิดผลึกนํ้าแข็ง (Ice crystal formation) เป็นการรวมตัวกันอย่างมีระเบียบในส่วนที่เป็นของแข็ง (solid phase) ที่เกิดจากนํ้าหรือสารละลายที่มีนํ้าเป็นตัวทำละลาย การเกิดผลึกนํ้าแข็งจะประกอบด้วยขั้นตอน 2 ขั้นตอน คือการเกิดนิวเคลียส (Nucleation) และ การโตขึ้นของผลึกนํ้าแข็ง (Crystal growth) (H. Kiani, D.-W. Sun, 2011) ความรู้ทางเทอร์โมไดนามิก ชี้ให้เห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส นํ้าแข็งจะเป็นรูปที่เสถียรของนํ้าบริสุทธิ์ อย่างไรก็ตามสถานะที่เป็นผลึกจะเกิดขึ้นได้ ต้องมีตัวล่อผลึกหรือนิวเคลียสก่อน (อรพิน, 2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

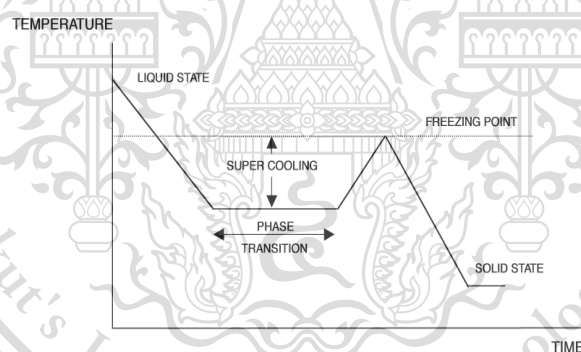
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.2 ทฤษฎีการแช่แข็ง

การแช่เยือกแข็ง เกิดขึ้นโดยการดึงความร้อนสัมผัส (sensible heat) ออกจากชิ้นอาหาร เพื่อลดอุณหภูมิลงเรื่อย ๆ จนต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เรียกว่า สภาวะเย็นยิ่งยวด (supercooling) ซึ่งต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ในสภาวะดังกล่าวจะกระตุ้นให้เกิดนิวเคลียสของผลึกน้ำแข็ง (nucleation) และการโตขึ้นของผลึกน้ำแข็ง (crystal growth) จากนั้นจึงมีการคายความร้อนแฝงของการเกิดผลึก (latent heat of crystallization) ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดเยือกแข็งและคงที่อยู่จนกว่าส่วนที่เป็นของเหลวจะเปลี่ยนเป็นสถานะของแข็งได้ทั้งหมด แล้วอุณหภูมิลดต่ำลงอีก จนแน่ใจแล้วว่าอาหารทั้งชิ้นเข้าสู่สถานะเป็นน้ำแข็งทั้งหมด

สำหรับการแช่เยือกแข็งน้ำบริสุทธิ์จะมีความซับซ้อนน้อยกว่าแช่เยือกแข็งอาหาร จุดเยือกแข็งของสารละลายต่างๆ ขึ้นอยู่กับความบริสุทธิ์ของสารละลายนั้น ๆ จุดเยือกแข็งของน้ำบริสุทธิ์คือ 0 องศาเซลเซียส แต่การแช่เยือกแข็งของสารละลาย เกิดขึ้นเมื่อน้ำแยกตัวออกจากสารละลาย เพื่อต้องการให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจา่เยือกแข็ง (ADAPA ET AL, 2000)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในชิ้นอาหารตามช่วงเวลาที่ผ่านมา สามารถแสดงได้ตามแผนภาพในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภาพการแช่เยือกแข็งอาหาร (Gustavo V., 2005)

แผนภาพการแช่เยือกแข็งอาหารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เนื่องจาก

- จุดเยือกแข็งที่ต่างกันของอาหารแต่ละชนิด ดังตารางที่ 2.3
- องค์ประกอบของอาหารที่ต่างกัน
- สถานะทางกายภาพของอาหารแต่ละชนิดที่ต่างกัน
- อัตราการดึงความร้อนออกที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.3 จุดเยือกแข็งของอาหารบางชนิด (ที่มา: เอกสารการสอนชุดวิชา เทคโนโลยีการถนอมและแปรรูปอาหาร มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช)

ชนิดของอาหาร	น้ำ (%)	จุดเยือกแข็งเริ่มต้น (องศาเซลเซียส)
ถั่วลันเตา	67	-0.6
แครอท	88	-1.4
ข้าวโพด	74	-0.6
มันฝรั่ง	78	-0.6
แอปเปิ้ล	84	-1.1
ปลาทูน่า	70	-2.2
ปลาแซลมอน	61	-2.2
กุ้ง	83	-2.2
เนื้อวัว	49	-1.7

2.5.3 ประเภทของการแช่แข็งอาหาร

การแช่แข็งแบบช้า (Slow freezing)

การแช่แข็งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ทั้งชิ้นเยือกแข็งโดยอาจใช้เวลาตั้งแต่ 3 - 72 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส การแช่แข็งจะดำเนินไปอย่างช้า ๆ โดยเกิดจากภายนอกเข้าไปสู่ภายในของผลิตภัณฑ์ น้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์ (extracellular water) จะแข็งตัวเร็วกว่าน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ เนื่องจากน้ำภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายต่ำกว่า ทำให้เกิดเกล็ดน้ำแข็ง การทำให้อาหารแข็งตัวอย่างช้า ๆ น้ำค่อย ๆ แยกตัวออกจากเซลล์กล้ำเนื้อรวมตัวเป็นเกล็ดน้ำแข็ง น้ำแข็งจะเป็นผลึกใหญ่และมีขนาดไม่สม่ำเสมอและอยู่ระหว่างเซลล์ ในบริเวณที่มีน้ำอิสระมากน้ำที่ขยายตัวเมื่อแข็งอาจดันให้เซลล์แตกได้

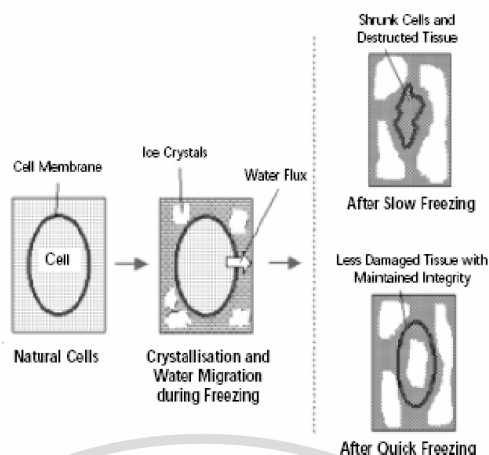
การแช่แข็งแบบเร็ว (Quick Freezing)

การแช่แข็งโดยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารทั้งชิ้นเยือกแข็งภายในเวลา 30 นาที หรือน้อยกว่า อุณหภูมิอาจอยู่ในระหว่าง -40 องศาเซลเซียส ถึง -18 องศาเซลเซียส การแช่แข็งแบบนี้อุณหภูมิของเนื้อหรือผลิตภัณฑ์เนื้อที่นำมาแช่แข็งนั้นจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว เกล็ดน้ำแข็งเล็ก ๆ จะเกิดขึ้นอย่างเป็นระเบียบทั่วเนื้อเยื่อของเนื้อ ทั้งภายในและภายนอกเซลล์ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเกล็ดน้ำแข็งเล็ก ๆ ไม่สามารถเพิ่มขนาดขึ้นได้ จึงได้น้ำแข็งเล็ก ๆ ที่มีขนาดสม่ำเสมอและอยู่ภายในเซลล์เป็นส่วนใหญ่ (Quang Tuan PHAM, 2008)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.5 ลำดับการเปลี่ยนแปลงลักษณะ ขนาดและตำแหน่งของผลึกน้ำแข็ง ของกระบวนการแช่เยือกแข็งแบบช้าและเร็ว (Quang Tuan PHAM, 2008)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nguyen, M. P., Ngo, T. T., & Le, T. D. (2019) ได้ศึกษาการทดลองและการตรวจสอบเชิงตัวเลขของปรากฏการณ์การขนส่งและจลนศาสตร์สำหรับการอบแห้งกึ่งแบบหมุนเวียน โดยในการศึกษานี้ใช้เครื่องมือทดลองในการผลิตกึ่งแห้ง จากการทดลองด้วยความเร็วลมและอุณหภูมิต่างๆ ค่าคงที่ในการอบแห้งค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และการกระจายความร้อนได้มาจากความสัมพันธ์แบบ Bi-Di มีการสร้างสมการสำหรับกำหนดค่าคงที่ในการอบแห้งเพื่อกำหนดพารามิเตอร์การอบแห้งสำหรับสภาวะการอบแห้งที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ความชื้นตามเป้าหมายคือความชื้น 0.25 (เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง) การทำให้แห้งด้วยอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความเร็วลมสูงสุดคือ 2 เมตรต่อวินาที ใช้เวลา 3.6 ชั่วโมง ในขณะที่อุณหภูมิต่ำสุดคือ 50 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาทีใช้เวลา 5.8 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่ากึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงอุณหภูมิอากาศแห้งหลังจากนั้นประมาณ 15 นาที ความชื้นที่หางกึ่งต่ำกว่าตรงกลางอย่างเห็นได้ชัดซึ่งเป็นส่วนที่หนาที่สุดของกึ่ง

Natthawat, W., Nat K., & Wasan, P. (2018) ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการอบแห้งกึ่งด้วยระบบการอบแห้งแบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ (Relative Humidity Air Drying) เปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบอากาศร้อน (Hot Air Drying) เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านสี เนื้อสัมผัส การคืนตัว water activity เป็นต้น โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายใน ห้องอบแห้งแบบความชื้นต่ำที่ 30 องศาเซลเซียส และ 35 - 55 % Rh ตามลำดับ ซึ่งในส่วนของการอบแห้งแบบอากาศร้อนนั้นจะใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น สี ความแข็ง เนื้อสัมผัส อุณหภูมิและความชื้น water activity เป็นต้น ซึ่งผลการทดลองพบว่า อบแห้งแบบ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อากาศร้อนนั้นจะประหยัดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้มากกว่าการอบแห้ง แบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งแบบอากาศร้อนคือ 60 องศาเซลเซียสนั้นจะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดคือ 150 นาที โดยพบว่าความชื้นสุดท้ายของกุ้ง คือ 13.51 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง

Tirawanichakul, S., Phatthalung, W., & Tirawanichakul, Y. (2008) ศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบแห้งโดยใช้การฉายรังสีอินฟราเรดและการพาความร้อนด้วยไฟฟ้าที่มีต่อการคายน้ำและเพื่อศึกษาผลของสภาวะการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของกุ้ง โดยใช้กุ้งสด 2 ขนาด (กุ้ง 100 ตัวต่อกิโลกรัม และ กุ้ง 200 ตัวต่อกิโลกรัม) ที่มีความชื้นเริ่มต้น 270 - 350 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้งถูกทำให้แห้งภายใต้สภาวะต่างๆ ในขณะที่ความชื้นสุดท้ายของกุ้งแห้งอยู่ในช่วงระหว่าง 20 - 25 เปอร์เซ็นต์ความชื้นฐานแห้ง อัตราการไหลของลมร้อน 1.0 - 1.2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิในการอบแห้ง 40 - 90 องศาเซลเซียสและใช้ความเข้มอินฟราเรด 1,785.7- 3,571.4 W / m² ถูกนำมาใช้ในการทดลอง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนของกุ้งทั้งสองขนาดลดลงเป็นทวีคูณเมื่อใช้เวลาในการอบแห้งในขณะที่อุณหภูมิในการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อจลนศาสตร์ในการอบแห้งและคุณภาพของกุ้งอย่างมีนัยสำคัญ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายที่มีประสิทธิภาพของกุ้งทั้งสองถูกกำหนดโดยแบบจำลองการแพร่กระจายที่มีรูปร่างทรงกระบอก จำกัดอยู่ในลำดับที่ 10-7 เมตรต่อวินาที และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายที่มีประสิทธิภาพนี้ค่อนข้างขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการอบแห้งเมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้น การวิเคราะห์คุณภาพกุ้งแห้งโดยใช้แหล่งอินฟราเรดและการพาความร้อนด้วยไฟฟ้า พบว่าค่าความแดง (Hunter a-value) ของตัวอย่างแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดไฮบริดและความร้อนไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอของสีสูงกว่าวิธีการอบแห้งแบบอื่น ๆ นอกจากนี้คุณสมบัติการหดตัวและการคืนสภาพยังแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญการอบแห้งทั้งหมด (p < 0.05) และการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเมื่อเทียบกับการพาความร้อนด้วยไฟฟ้าซึ่งสอดคล้องกับเวลาในการอบแห้งที่ค่อนข้างต่ำ

จิรวรรณ แยมประยูร และอมรรัตน์ สุขโข. (2549) ศึกษาผลของความสด เวลาที่ใช้ในการต้มและอุณหภูมิในการอบแห้งต่อคุณภาพกุ้งแห้ง โดยแปรผันอุณหภูมิในการอบแห้งที่ระดับต่าง ๆ ดังนี้ ระดับต่ำที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ระดับสูงที่อุณหภูมิ 100 120 และ 140 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ 2 ระดับ โดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 120 และ 140 องศาเซลเซียส ในช่วงแรกและที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในช่วงหลังระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะต้องทำให้ความชื้นเริ่มต้นของกุ้งที่ 76 ลดลงเหลือ 15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก จากการศึกษาพบว่า กุ้งแห้งที่ได้รับการยอมรับทางด้านประสาทสัมผัสต้องผลิตจากกุ้งสดที่เก็บไว้ในน้ำแข็งไม่เกิน 2 วัน พบว่าในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาในน้ำแข็ง กุ้งเริ่มมีกลิ่นแอมโมเนียและมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Viable Count, TVC) สูงถึง 2.5x10⁸ โคโลนี/กรัม ระยะเวลาที่ใช้ในการต้มกุ้งคือ 2 5 และ 7 นาทีในน้ำเกลือความเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ ไม่มีผลต่อคะแนน

เอกสารนี้เป็น การขอรับรวมของกุ้งแห้ง การต้มกุ้งสดเป็นเวลา 2 นาที เพียงพอที่จะลดจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยพบ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณจุลินทรีย์จำนวน 1.4×10^8 โคโลนี/กรัม การอบแห้งในช่วงอุณหภูมิต่ำ 40 - 70 องศาเซลเซียส พบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนลักษณะทั่วไป สี เนื้อสัมผัส กลิ่น และรสชาติของกึ่งแห้งไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้การอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะใช้พลังงานเพียง 8.89 จูล และใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 140 นาที ในการอบแห้งในช่วงอุณหภูมิสูง ผู้ทดสอบให้คะแนนลักษณะทั่วไปและสีของกึ่งแห้งอบที่ อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส น้อยกว่ากึ่งแห้งอบที่อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส เนื่องจากกึ่งแห้งจะมีสีคล้ำลงและเนื้อติดเปลือก ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 2 ระดับ ที่อุณหภูมิช่วงแรกคือ 120 และ 140 องศาเซลเซียส จะอบแห้งเป็นเวลา 30 นาที และอบต่อที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกว่าความชื้นจะเหลือ 15 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก พบว่าเวลารวมในการอบที่อุณหภูมิเริ่มต้น 120 องศาเซลเซียสเป็น 113 และ 81.5 นาที ตามลำดับ การอบแห้งที่ 140 องศาเซลเซียส ช่วงแรกใช้พลังงาน 7.4 จูล ซึ่งน้อยกว่าการอบแห้งที่ 120 องศาเซลเซียสในช่วงแรก และผู้ทดสอบจะให้คะแนนการยอมรับไม่แตกต่างกัน การอบแห้งที่อุณหภูมิเริ่มต้น 140 องศาเซลเซียส เนื้อกึ่งที่ได้จะไม่แห้งติดเปลือก และกะเทาะเปลือกออกได้ง่าย

Niamnuy, C., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2007) ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ นั่นคือความเข้มข้นของสารละลายเกลือ (2 3 และ 4 เปอร์เซ็นต์ [w / v]) เวลาในการต้ม (3 5 และ 7 นาที) การทำให้แห้งที่อุณหภูมิอากาศ (80, 100, 120 องศาเซลเซียส) ขนาดของกึ่งต่อจลนศาสตร์การอบแห้ง และคุณภาพด้านต่าง ๆ ของกึ่งแห้ง ได้แก่ การหดตัว การคิ่นสภาพ สี และโครงสร้างจุลภาค ระหว่างการอบแห้งในเครื่องทำแห้งแบบเจ็ตสปาร์เทดเบด (Jet-spouted bed drier) นอกจากนี้ยังมี การตรวจสอบพารามิเตอร์การประมวลผลเกี่ยวกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของกึ่งแห้ง กึ่งตัวเล็ก (350 ถึง 360 ตัว / กก.) และกึ่งขนาดใหญ่ (150 ถึง 160 ตัว / กก.) ต้มแล้วตากจนมีความชื้นประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ฐานแห้ง พบว่าระดับการเปลี่ยนสี ความเหนียว และการหดตัวของกึ่งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการคิ่นสภาพลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเกลือเพิ่มขึ้น และเวลาในการต้ม ส่วนขนาดของกึ่ง และอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพของกึ่งแห้งอย่างมีนัยสำคัญ การให้คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสสูงสุดสำหรับกึ่งแห้งขนาดเล็กคือความเข้มข้นของสารละลายเกลือ 2 เปอร์เซ็นต์ (w / v) เวลาในการต้ม 7 นาที และอุณหภูมิการอบแห้ง 120 องศาเซลเซียส ในทางกลับกัน เงื่อนไขที่ให้คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสสูงสุดสำหรับกึ่งแห้งขนาดใหญ่คือความเข้มข้นของสารละลายเกลือ 4 เปอร์เซ็นต์ (w / v) เวลาในการต้ม 7 นาที และอุณหภูมิการอบแห้ง 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

อุปกรณ์และการทำการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุดิบ

- กุ้งแชบ๊วย (*Fenneropenaeus merguensis*) ขนาด 300 ตัวต่อกิโลกรัม มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 86.5748 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

3.1.2 สารเคมี

- n heptane

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย)
- ตู้แช่แข็ง (SF-C992 NG, SANYO, Japan)
- ตู้แช่เย็น (LG2, Sunhui, Thailand)
- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (UF55, Memmert, Germany)
- เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (3TE, AquaLab, USA)
- เครื่องวัดสีมาตรฐาน Colorimetric Spectrophotometer (Color Flex EZ, Hunter Lab, USA)
- เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 2 ตำแหน่ง (UX-3200G, SHIMADZU, Japan)
- เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ATX224, SHIMADZU, Japan)
- ถังลามิเนต ขนาด 10×15 นิ้ว
- ถังอลูมิเนียมฟอยล์ ขนาด 7×11 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างกุ้ง

ตัวอย่างที่ใช้สำหรับการทดลองคือ กุ้งแชบ๊วย (*Fenneropenaeus merguensis*) (รูปที่ 3.1) ขนาด 300 ตัวต่อกิโลกรัม จากอำเภอบางแพ จังหวัดราชบุรี กุ้งสดมีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 86.5748 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก



รูปที่ 3.1 กุ้งแชบ๊วย

ดำเนินการเตรียมกุ้งแชบ๊วยโดยการนำมาเด็ดหัว (รูปที่ 3.2) ล้างทำความสะอาด จากนั้นบรรจุกุ้งในถุงลามิเนตถุงละประมาณ 1500 กรัม และเก็บรักษาในตู้แช่แข็ง (SF-C992 NG, SANYO, Japan) ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสตลอดการทดลอง (รูปที่ 3.3)



(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ค)

รูปที่ 3.2 (ก) เต็ดหัวและล้างทำความสะอาด (ข) บรรจุถุงในถุงลามิเนต (ค) การเก็บรักษาตัวอย่างกุ้งที่ อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสตลอดการทดลอง

3.3 การทำกรรมวิธีก่อนการอบแห้ง

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง

นำตัวอย่างกุ้งมาละลายในตู้แช่เย็น (LG2, Sunhui, Thailand) ที่ อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 ชั่วโมง (รูปที่ 3.3) (Manheem, K., Benjakul, S., Kijroongrojana, K., & Visessanguan, W., 2013)

3.4 การทดลองอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน

3.4.1 เตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้ง

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 400 กรัมต่อถาด ด้วยเครื่องชั่งตวงวัด 2 ตำแหน่งและบันทึกน้ำหนัก แล้วนำมาเรียงกระจายชั้นเดียวให้เต็มบนถาดสำหรับทำแห้งที่มีขนาดกว้าง 27 เซนติเมตร และยาว 37 เซนติเมตร (รูปที่ 3.3) จำนวน 3 ถาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.3 การเรียงตัวอย่างกุ้งก่อนอบแห้ง

3.4.2 วิธีการอบแห้งแบบลมร้อน

นำตัวอย่างกุ้งที่ผ่านการจัดเตรียมไว้มาทำแห้งแบบลมร้อน ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน ที่ได้รับการพัฒนาโดยโครงการวิจัยระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง (สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย) (รูปที่ 3.4) ด้วยความเร็วลมคงที่ 1.0 เมตรต่อวินาที และใช้วิธีแบบหลายขั้นตอนแบบอัตโนมัติ โดยระบบจะเริ่มดำเนินการทำแห้งที่อุณหภูมิอากาศ 70 องศาเซลเซียส และจะปรับลดอุณหภูมิของอากาศลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิผิวผลิตภัณฑ์ ซึ่งใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส (infrared temperature sensor) (รูปที่ 3.5) ในการวัดอุณหภูมิผิวผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นการควบคุมไม่ให้อุณหภูมิผิวของผลิตภัณฑ์เกินระดับที่กำหนด โดยศึกษาอุณหภูมิผิวผลิตภัณฑ์ที่ 60 องศาเซลเซียส นอกจากนี้มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งในระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบลมร้อนวิธีการนี้จะมีการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิผิวผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดระยะห่างของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแบบไม่สัมผัส และผิวของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 2 เซนติเมตร (รูปที่ 3.4) ซึ่งบันทึกข้อมูลทั้งหมดทุก 1 นาที พร้อมบันทึกน้ำหนักตัวอย่างทุก 10 นาที โหลดเซลล์ (Load cell) (รูปที่ 3.5) เพื่อวิเคราะห์อัตราการทำแห้ง (drying rate) การคำนวณหาปริมาณความชื้นของตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา ได้จากสมการที่ (3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.4 เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง (สนับสนุน
โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย)



รูปที่ 3.5 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการวัดอุณหภูมิผิวและชั่งน้ำหนักตัวอย่างกุ้ง

$$M_t = \frac{W_t - W_s}{W_s} \quad (3.1)$$

เมื่อ M_t = ความชื้นของตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา (kg water/kg dry solid)

W_t = น้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่างในแต่ละช่วงเวลา (kg)

W_s = น้ำหนักของแห้งของตัวอย่าง (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การคำนวณหาอัตราการระเหย (Drying rate) สามารถคำนวณได้จากมวลของเหลวที่ระเหยต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อเวลา ดังสมการที่ (3.2)

$$R = - \frac{W_s}{A} \times \frac{dm}{dt} \quad (3.2)$$

เมื่อ R = อัตราการทำให้แห้งหรืออัตราการระเหย (kg water/m²hr)

A = พื้นที่ผิวที่เกิดการระเหย (m²)

$\frac{dm}{dt}$ = มวลของน้ำที่ระเหยต่อหนึ่งหน่วยเวลา (kg water/hr)

3.5 การวิเคราะห์คุณภาพของกุ้งแห้ง

นำกุ้งที่ผ่านการอบแห้งบรรจุลงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อป้องกันการดูดความชื้นกลับของผลิตภัณฑ์ก่อนการตรวจวิเคราะห์คุณภาพ โดยวิเคราะห์คุณภาพต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น (Moisture content) วอเตอร์แอกติวิตี (Water activity) สี (Colour) และการหัดตัว

3.5.1 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

วิเคราะห์ความชื้นตัวอย่างกุ้งก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง โดยชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (ATX224, SHIMADZU, Japan) ประมาณ 15 กรัม ใส่ถ้วยอะลูมิเนียมนำไปอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (UM 400, Hot air oven, Memmert, GmbH + Co.KG) ที่ อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักของตัวอย่างคงที่ จากนั้นชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังอบและวิเคราะห์หาความชื้นฐานเปียก (wet basis) จากค่าที่ได้ ด้วยสมการ (3.3) ตามวิธีมาตรฐาน AOAC 968.11 (AOAC, 2000) ทำการวัดตัวอย่าง 3 ครั้งต่อการทดลอง

$$\text{Moisture content (\%w.b)} = \frac{m_i - m_d}{m_i} \times 10 \quad (3.3)$$

เมื่อ m_i คือ มวลตัวอย่างก่อนอบ (g)

m_d คือ มวลตัวอย่างหลังอบ (g)

3.5.2 วอเตอร์แอกติวิตี (Water activity : a_w)

นำตัวอย่างกุ้งแห้งวัดค่าด้วยเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (AquaLab, 3TE, USA) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยในแต่ละการทดลองทำการวัดตัวอย่าง 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 เครื่อง Aqua lab

3.5.3 ค่าสี (Color)

วัดค่าสีของตัวอย่างกึ่งแข็งด้วยเครื่อง Colorimetric Spectrophotometer (Hunterlab, ColorFlexEZ, USA) ในระบบ C.I.E Lab (L^*, a^*, b^*) โดยทำการวัดตัวอย่างซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกค่าสีระบบ C.I.E. ในเทอมของ L^* , a^* และ b^* แล้วนำมาคำนวณค่าความแตกต่างของสีโดยสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2} \quad (3.4)$$

เมื่อ L^* คือ ค่าความสว่าง

a^* คือ ค่าความเป็นสีแดงหรือความเป็นสีเขียว

b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลืองหรือความเป็นสีน้ำเงิน

โดยที่ L^* มีค่าตั้งแต่ 0-100 ค่า 0 เป็นสีที่มืดที่สุด และค่า 100 เป็นค่าที่สว่างที่สุด

a^* เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีแดง และค่า a^* เป็นลบจะแสดงความเป็นสีเขียว

b^* เป็นบวกจะแสดงความเป็นสีเหลือง และค่า b^* เป็นลบจะแสดงความเป็นสีน้ำเงิน

3.5.4 การหดตัว

การวัดค่าการหดตัว (Niamnuy, C., Devahastin, S., & Soponronnarit, S., 2007) การทดสอบค่าการหดตัว ของกึ่งแข็งสามารถวัดได้โดยวิธีการแทนที่ปริมาตรของผลิตภัณฑ์ในของเหลว โดยของเหลวที่ใช้ทดสอบคือ n heptane [$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}_3$] ซึ่งเป็นของเหลวที่มีคุณสมบัติคือ จะไม่ซึมผ่านเข้าไปในตัววัสดุ สามารถคำนวณหาค่าได้จากสมการ

$$\% \text{Shrinkage} = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100 \quad (3.5)$$

เมื่อ V_0 คือ ปริมาตรก่อนการอบแห้ง

V คือ ปริมาตรหลังการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 คุณภาพเริ่มต้นของกุ้งแช่บ๊วยสด

เมื่อได้รับกุ้งแช่บ๊วยจากจังหวัดราชบุรี นำมาตัดหัวและล้างทำความสะอาด จากนั้นทำการวัดคุณภาพของกุ้ง ประกอบด้วย ความชื้นเริ่มต้น วอเตอร์แอกทิวิตี ค่าสี แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณภาพเริ่มต้นของกุ้งแช่บ๊วย

ความชื้นเริ่มต้น (กุ้งสด)	86.5748 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก
ความชื้นเริ่มต้น (กุ้งสดหลังละลาย)	75.2551 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก
วอเตอร์แอกทิวิตี	0.996
ค่าสี	
L* (lightness-darkness)	37.75
a* (redness-greenness)	-2.15
b* (blueness-yellowness)	1.16

4.2 สภาวะเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย)

ตารางที่ 4.2 สภาวะเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย) ที่ใช้ในการทดลอง

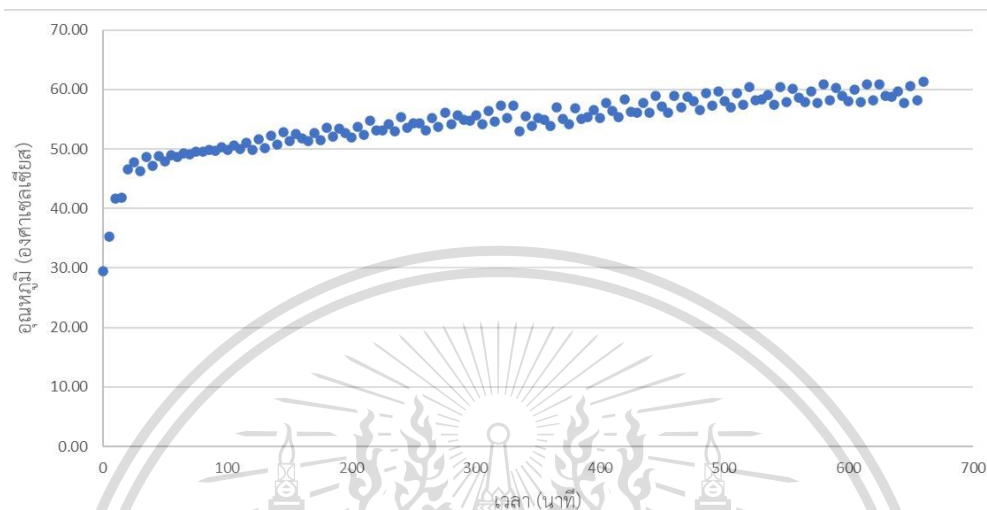
อุณหภูมิผิวผลิตภัณฑ์	60 องศาเซลเซียส
ความเร็วลม	1 เมตรต่อวินาที
ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์	13 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตลอดการทดลองอบกึ่งในเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย) เครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิตลอดการทดลองเฉลี่ย 54.45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิผิวเฉลี่ย และเวลาตลอดการทดลอง

4.3 ผลการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้ง

4.3.1 คุณภาพผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง

จากการดำเนินการทดลองอบแห้งกึ่งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย) ทั้ง 3 ครั้งนั้น ให้ผลคุณภาพผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งดังแสดงในตารางที่ 4.3

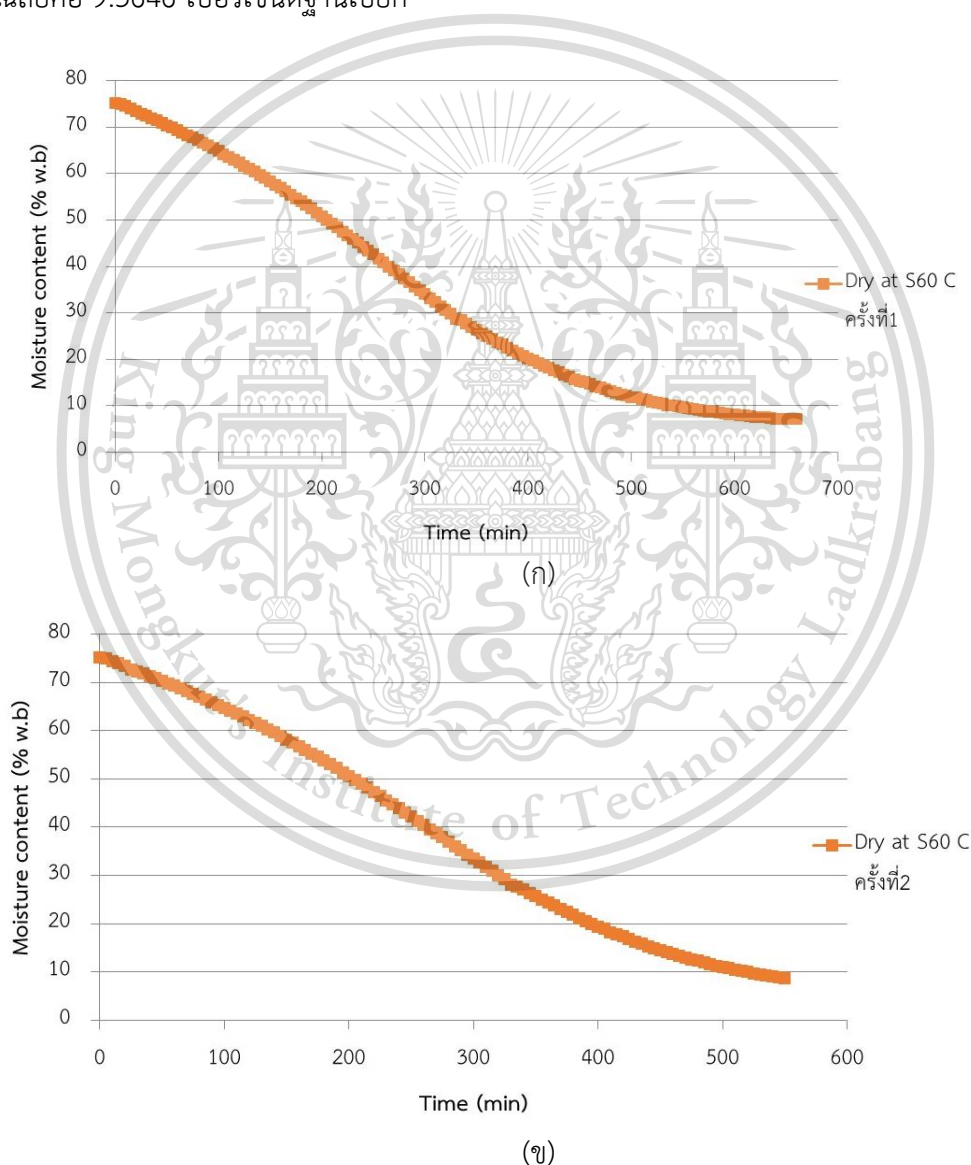
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง

การทดลองที่	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้ (g)	ความชื้น (%wb)		a _w	สี			การหดตัว (%)
		เครื่องบันทึก	คำนวณ		L*	a*	b*	
1	105.81	7.1325	8.6134	0.490	42.96	9.70	19.29	44.99
2	108.23	8.6837	9.1285	0.453	42.94	11.33	18.77	42.57
3	114.61	12.3677	12.8216	0.497	42.75	10.69	18.96	40.97
เฉลี่ย	109.55	9.3646	10.1878	0.480	42.75	10.69	18.96	42.84

จากตารางผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้คิดเป็น 28.42 เปอร์เซ็นต์ และมีผลด้านคุณภาพในด้านต่าง ๆ ในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ดังนี้

4.3.1.1 ความชื้น

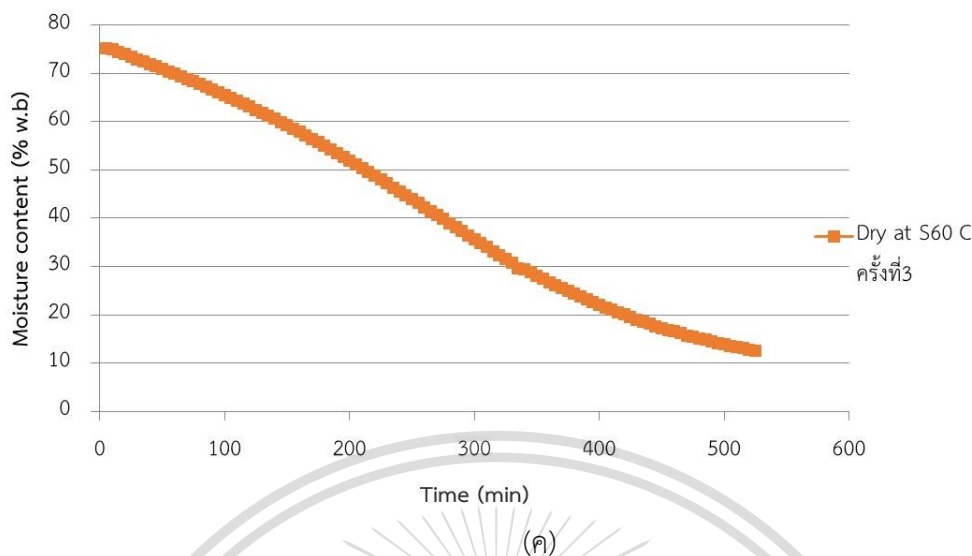
จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกโดยเครื่องอบแห้งมาวิเคราะห์ พบว่าอัตราการลดลงของความชื้นเป็นไปด้วยความรวดเร็วในช่วงแรกและเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 9 ชั่วโมง สุดท้ายจะได้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 7.1325 - 12.3677 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก และมีค่าเฉลี่ยคือ 9.3646 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 (ก) (ข) และ (ค) ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของ ผลิตภัณฑ์กับเวลาในการอบแห้ง จากการทดลองครั้งที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

ค่าความชื้นผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ได้จากการคำนวณ หาค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งโดยใช้กึ่ง 3-5 กรัม นำเข้าตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนกระทั่งน้ำหนักตัวอย่างคงที่ จากการวิเคราะห์พบว่าผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 8.6134 – 12.8216 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก และมีค่าความชื้นเฉลี่ย 10.1878 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก

4.3.1.2 วอเตอร์แอกติวิตี (a_w)

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ได้ พบว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตี (a_w) มีค่าอยู่ในช่วง 0.453 – 0.497 และมีค่าเฉลี่ยคือ 0.480

4.3.1.3 ค่าสี

จากการวิเคราะห์ค่าสีของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ได้ด้วยเครื่อง Colorimetric Spectrophotometer (Hunterlab, ColorFlexEZ, USA) ใน ระบบ C.I.E Lab (L^* , a^* , b^*) โดยทำการวัดตัวอย่างซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกค่าสีระบบ C.I.E. ในเทอมของ L^* , a^* และ b^* ได้ผลดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

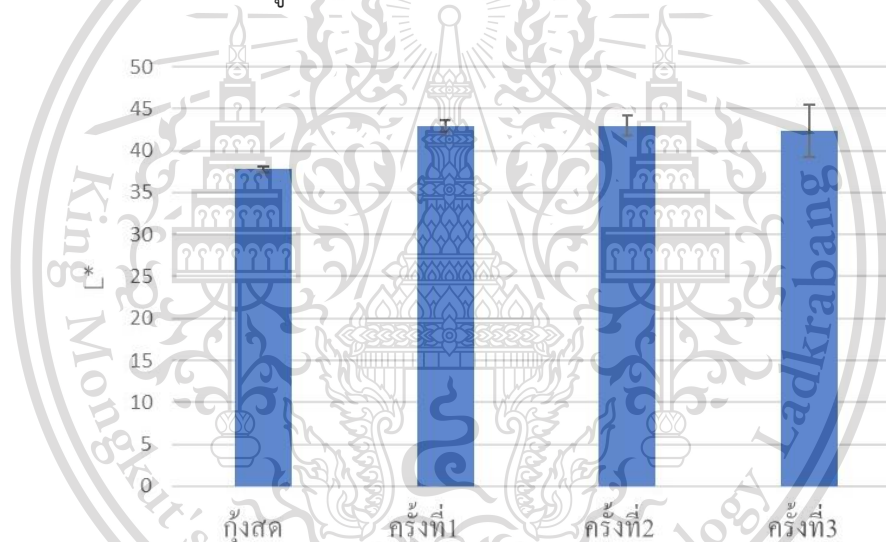
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.4 ค่าของ L^* a^* และ b^* ในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

การทดลองครั้งที่	L^*	a^*	b^*
ครั้งที่ 1	42.96±0.7	9.70±1.0	19.29±0.8
ครั้งที่ 2	42.94±1.2	11.33±1.0	18.77±1.0
ครั้งที่ 3	42.36±3.1	10.95±0.7	18.81±0.2
เฉลี่ย	42.75±0.3	10.69±0.9	18.96±0.3

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ (L^*) มีค่าอยู่ในช่วง 42.36 – 42.96 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยคือ 42.75 ส่วนค่าความเป็นสีแดง (a^*) มีค่าอยู่ในช่วง 9.70 – 11.33 มีค่าเฉลี่ยคือ 10.69 และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) อยู่ในช่วง 18.77 – 19.29 มีค่าเฉลี่ยคือ 18.96

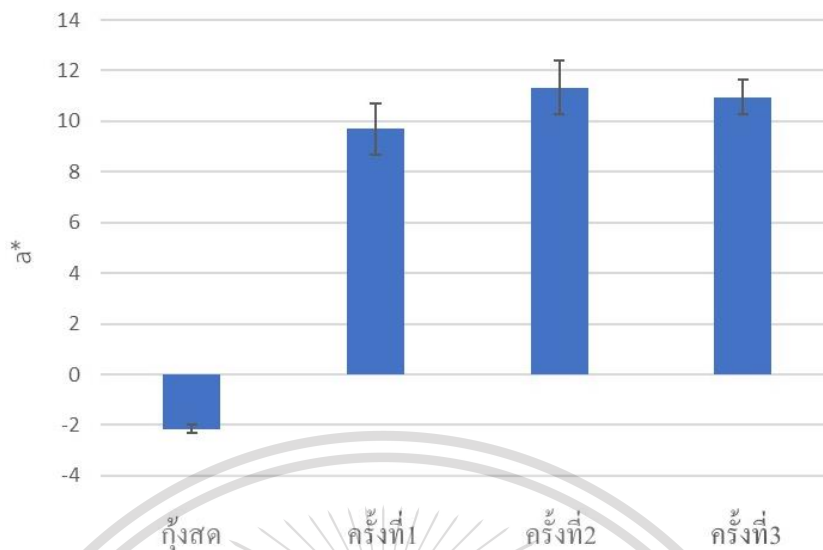


รูปที่ 4.2 ความแตกต่างของค่าความสว่างระหว่างกึ่งสด การทดลองครั้งที่ 1 2 และ 3

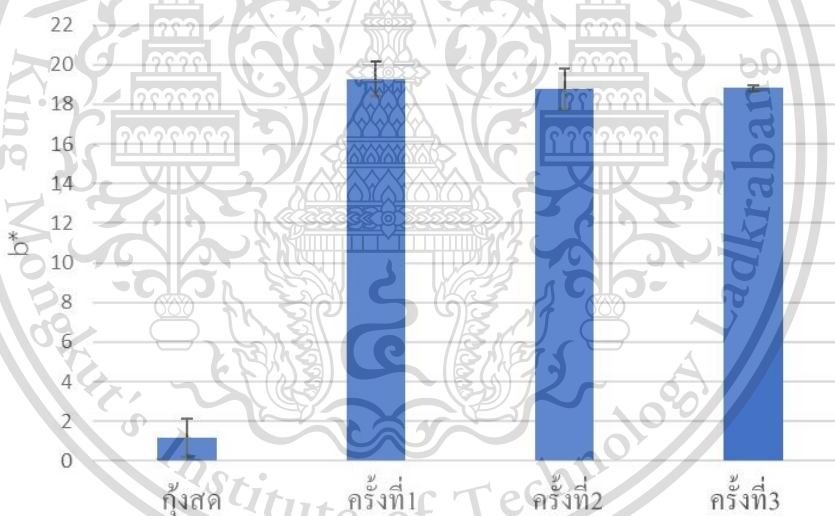
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 ความแตกต่างของค่าความเป็นสีแดงระหว่างกึ่งสด การทดลองครั้งที่ 1 2 และ 3



รูปที่ 4.4 ความแตกต่างของค่าความเป็นสีเหลืองระหว่างกึ่งสด การทดลองครั้งที่ 1 2 และ 3

4.3.1.4 ค่าการหดตัว ทำการหาปริมาตรของกึ่งสด พบว่ากึ่งสดมีปริมาตรอยู่ในช่วง 38.29 – 38.36 ลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาตรของกึ่งแห้งอยู่ในช่วง 21.10 – 22.61 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อ นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การหดตัวจะได้ค่าอยู่ระหว่าง 40.97 – 44.99 เปอร์เซ็นต์ จะได้ค่าการหดตัวเฉลี่ย 42.84 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

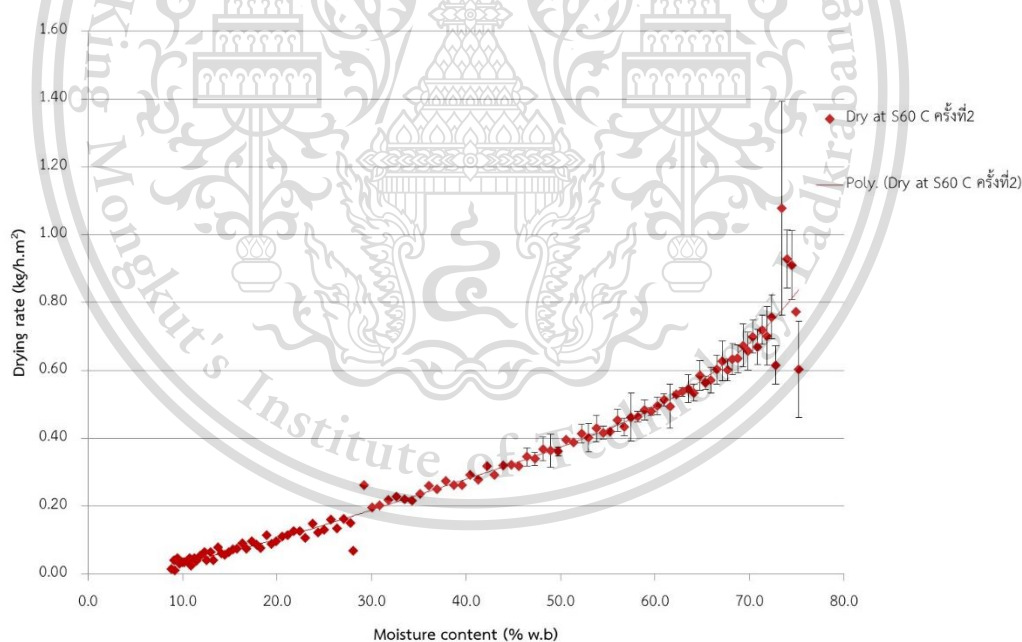
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.2 อัตราการทำแห้ง (Drying rate)

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์อัตราการทำแห้ง

การทดลองที่	อัตราการทำแห้ง	
	เครื่องบันทึก	การคำนวณ
1	0.2662	0.2531
2	0.3125	0.3006
3	0.3289	0.3137
เฉลี่ย	0.3021	0.2891

จากตารางที่ 4.5 แสดงอัตราการทำแห้งระหว่างค่าที่ได้จากการบันทึกของเครื่องอบแห้ง และที่ได้จากการคำนวณอัตรากระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่การระเหยและต่อหน่วยเวลา

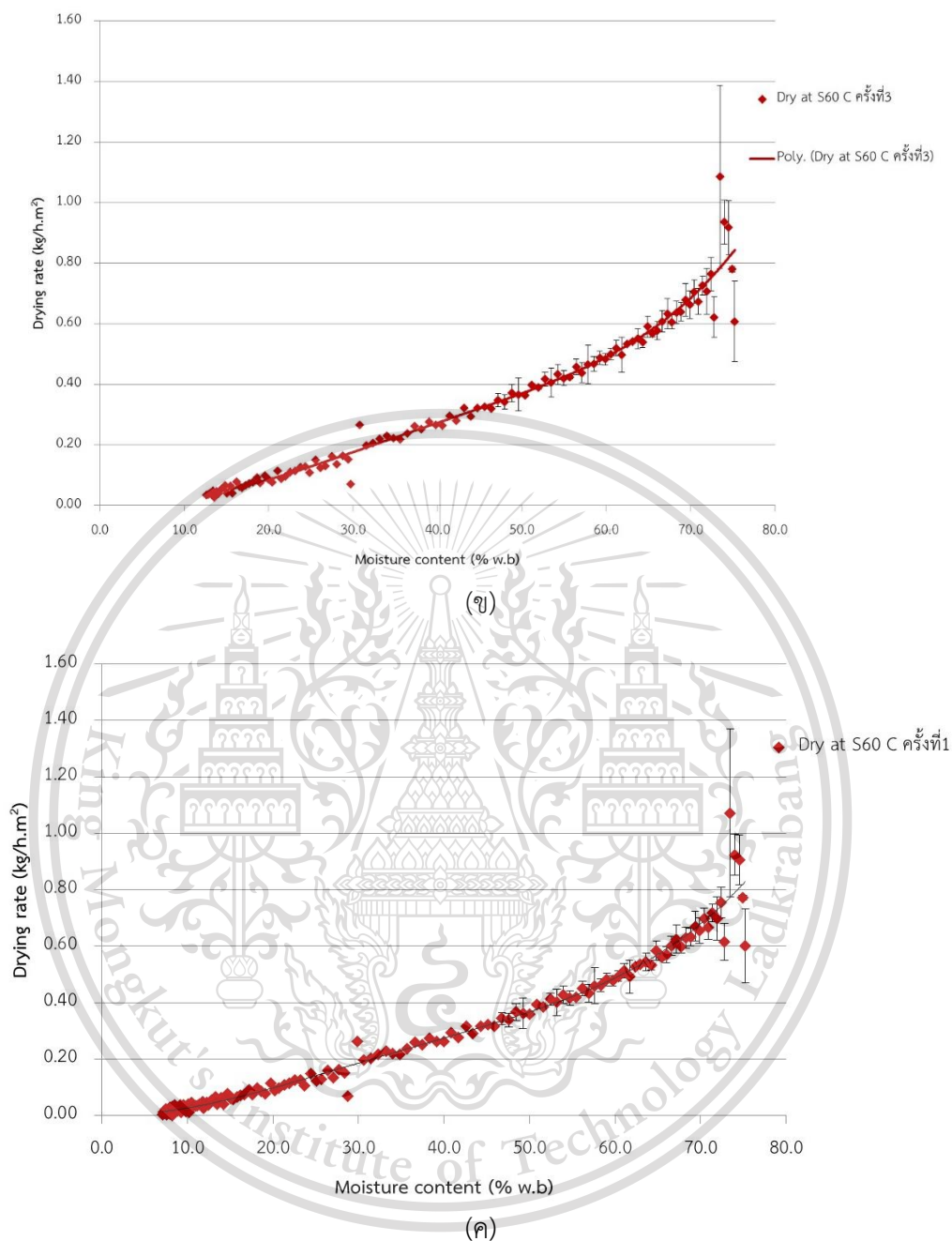


(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 (ก) (ข) และ(ค) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแห้ง และความชื้น จากการทดลองครั้งที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์อัตราการแห้งที่ได้จากการคำนวณอัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อ

พื้นที่การระเหยและต่อหน่วยเวลา พบว่าในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง มีอัตราการแห้งอยู่ระหว่าง

0.2531 – 0.3137 และมีค่าเฉลี่ยคือ 0.2891

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอัตราการทำแห้ง และคุณภาพของกุ้งแห้ง ที่ทำการอบแห้งโดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลมร้อน (ระบบควบคุมการทำแห้งอัจฉริยะในผลิตภัณฑ์อาหารแห้งสำหรับ SME สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย) ซึ่งใช้วิธีการทำแห้งแบบอุณหภูมิมิวผลิตภัณฑ์ที่ 60 องศาเซลเซียส และตั้งค่าความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ที่ 13 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. คุณภาพของกุ้งแห้ง มีดังนี้

1.1 ปริมาณความชื้นของการอบแห้งลดลงเรื่อยๆ โดยกุ้งมีความชื้นเริ่มต้น 75.2551 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก เมื่อทำการอบแห้งเป็นเวลาประมาณ 9 ชั่วโมง เครื่องอบแห้งบันทึกค่าความชื้นที่ 9.3946 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก แต่ค่าความชื้นที่ตั้งค่าไว้คือ 13 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ซึ่งมีความแตกต่างกัน เนื่องจากการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 สายไฟของเซนเซอร์ไปกดเครื่องชั่ง น้ำหนักตัวที่ 2 ภายในเครื่องอบแห้ง ทำให้น้ำหนักที่บันทึกมานั้นรวมน้ำหนักสายไฟไปด้วย แต่ค่าความชื้นทั้ง 2 ครั้งมีความใกล้เคียงกัน ทำให้สรุปได้ว่าเมื่ออบกุ้งด้วยเครื่องอบแห้งนี้จะได้ความชื้นที่สม่ำเสมอ ส่วนความชื้นที่คำนวณได้คือ 10.1878 เปอร์เซ็นต์ฐานเปียก ซึ่งมีค่ามากกว่าความชื้นที่เครื่องบันทึก เนื่องจากเมื่อเครื่องหยุดการทำงานไม่ได้นำกุ้งออกทันที ทำให้เมื่ออุณหภูมิลดลง ความชื้นจะเพิ่มขึ้น

1.2 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี จากการวิเคราะห์พบว่ามีค่า 0.480 ซึ่งน้อยกว่า 0.6 เป็นไปตามมาตรฐานอาหารแห้ง

1.3 ค่าสี พบว่าหลังอบแห้งแล้วมีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกุ้งสด เป็นผลมาจากปริมาณความชื้นที่ลดลง

1.4 ค่าการหดตัว พบว่าหลังจากการอบแห้ง กุ้งมีการหดตัว 42.84 เปอร์เซ็นต์ เป็นผลมาจากใช้เวลาในการอบมาก และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของอาหาร ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้เวลาในการอบมาก ทำให้เนื้อสัมผัสที่ได้มีความกรอบ

2. อัตราการทำแห้ง พบว่ามีค่าสูงในช่วงแรก เนื่องจากผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิด

การถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร จากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลง เนื่องจากไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเครื่องอบแห้งบันทึกอัตราการ
ทำแห้งคือ 0.3021 และจากการคำนวณอัตราการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่การระเหยและต่อหน่วย
เวลา ได้อัตราการทำแห้งคือ 0.2891 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการทดลองวิธีการเตรียมกึ่งก่อนอบแบบอื่น ๆ เพิ่มเติมด้วยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลง
ของสี และการหดตัวอาจจะได้ผลที่ดีกว่าหรือแตกต่างกันออกไป

5.2.2 สำหรับผู้ที่มีความสนใจที่จะทำการศึกษาต่อไป ควรมีการทดลองอบที่อุณหภูมิอื่น ๆ เพิ่มเติม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- กรมประมง. (2559). **กุ้งแช่บ๊วย**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- คณะกรรมการกลุ่มผลิตชุดวิชาเทคโนโลยีการถนอมและแปรรูปอาหาร. 2555. **เอกสารการชุดวิชาเทคโนโลยีการถนอมและแปรรูปอาหาร**. สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- จิราวรรณ แยมประยูร และอมรรัตน์ สุขโข. (2549). **ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพกุ้งแห้ง**. เอกสารวิชาการ. ฉบับที่ 1/2549. กรมประมง. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- สมชาติ โสภณธฤทธิ์. (2540). **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ (มกอช. 7012-2551). (2551). **กุ้งแห้ง**. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- อาทิตยา พัฒนิบูลย์ และอมรรชัย อภรณ์วิชานพ. (2557). **เทคโนโลยีการอบแห้ง**. หน่วยปฏิบัติการวิจัยวิศวกรรมกระบวนการเชิงคำนวณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- อรพิน ชัยประสพ. 2558. **การถนอมอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลัยรามคำแหง : 107-121.
- Apapa S., Schmidt K.A., Jeon I.J., Herald T.J., Flores R.A., 2010. **Mechanisms of ice crystallization and recrystallization in ice cream: A review**. Department of Animal Sciences and industry Kansas State university : 259-271.
- Akonor, P. T., Ofori, H., Dzedzoave, N. T., & Kortei, N. K. (2016). **Drying characteristics and physical and nutritional properties of shrimp meat as affected by different traditional drying techniques**. International journal of food science, 2016.
- Gustavo V., Bilge Altunakar, Danilo L., 2005. **Freezing of fruits and vegetables**. :1-10

เอกสารนี้เป็น Hossein, K. and Sun, D. (2011). “Water crystallization and its importance to freezing” การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- foods: A review”** Trends in Food Science and Technology 22, 407-426.
- Manheem, K., Benjakul, S., Kijroongrojana, K., & Visessanguan, W. (2013). **Impacts of freeze-thawing on melanosis and quality change of pre-cooked Pacific white shrimp.** International Food Research Journal, 20(3), 1277.
- Natthawat, W., Nat K., & Wasan, P. (2018). **The Comparative Study of Shrimp Drying Process with Low Humidity Air and Hot Air Drying.** Princess of Naradhiwas University Journal, 1, 18-94.
- Nguyen, M. P., Ngo, T. T., & Le, T. D. (2019). **Experimental and numerical investigation of transport phenomena and kinetics for convective shrimp drying.** Case Studies in Thermal Engineering, 14, 100465.
- Niamnuy, C., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2007). **Effects of process parameters on quality changes of shrimp during drying in a jet-spouted bed dryer.** Journal of Food Science, 72(9), E553-E563.
- Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S., Wetchacama, S., & Jaisut, D. (2002). **Desorption isotherms and drying characteristics of shrimp in superheated steam and hot air.** Drying Technology, 20(3), 669-684.
- Quang, T.P., 2008. **Advances in food freezing/Thawing/Freeze Concentration modelling and Techniques.** Japan Journal of Food Engineering, 9, 21-32.
- TIRAWANICHAKUL S., PHATTHALUNG W., & TIRAWANICHAKUL Y. (2008). **Drying Strategy of Shrimp using Hot Air Convection and Hybrid Infrared Radiation/Hot Air Convection.** Walailak J Sci & Tech 2008; 5(1): 77-100.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าความชื้นเริ่มต้นของกุ้งแช่บ้วยสด

การทดลอง	ซ้ำ (ครั้งที่)	น้ำหนักเริ่มต้น	น้ำหนักหลังอบ	%ความชื้นฐานเปียก
กุ้งสด	1	15.4823	3.6869	76.1828
	2	15.4424	2.3333	84.8880
	3	15.1901	2.4870	83.5661
กุ้งหลังจากละลาย	1	15.3423	3.0125	80.3618
	2	15.1068	4.3368	71.2795
	3	15.2755	3.9542	74.1048

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าWater activity เริ่มต้นของกุ้งแช่บ้วยสด

การทดลอง	ซ้ำ (ครั้งที่)	a_w
กุ้งหลังจากละลาย	1	0.998
	2	0.995
	3	0.995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลความชื้นจากการคำนวณของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง

การทดลอง	ซ้ำ (ครั้งที่)	น้ำหนักเริ่มต้น	น้ำหนักหลังอบ	%ความชื้นฐานเปียก
ครั้งที่ 1	1	3.0214	2.7589	8.688
	2	3.036	2.7703	8.7516
	3	3.1283	2.8655	8.4007
ครั้งที่ 2	1	3.1385	2.8444	9.3707
	2	3.1418	2.8645	8.8262
	3	3.1387	2.8503	9.1885
ครั้งที่ 3	1	3.1342	2.7276	12.973
	2	3.173	2.7734	12.5938
	3	3.0369	2.6452	12.898

ตารางที่ 4 ตารางแสดงผลความชื้นจากเครื่องของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง

การทดลอง	ซ้ำ (ครั้งที่)	น้ำหนักเริ่มต้น (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	%ความชื้นฐานเปียก
ครั้งที่ 1	1	392.9	114.9	15.3610
	2	374.1	98.2	5.6989
	3	385.9	104.5	8.5660
ครั้งที่ 2	1	392.9	118.3	14.7936
	2	368.9	95.4	7.3201
	3	388.7	110.6	13.0473
ครั้งที่ 3	1	400.7	127.4	12.1563
	2	376.9	104.3	10.5249
	3	388.7	112.1	14.2104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 5 ตารางแสดงผลค่าสีของผลิตภัณฑ์

การทดลอง	ซ้ำ (ครั้งที่)	L*	a*	b*
กึ่งสด	1	37.85	-2.32	0.22
	2	37.37	-2.02	2.15
	3	38.02	-2.1	1.1
ครั้งที่ 1	1	43.68	10.68	20.19
	2	42.91	9.783	19.18
	3	42.28	8.63	18.49
ครั้งที่ 2	1	41.61	12.00	17.99
	2	43.92	10.09	18.40
	3	43.29	11.88	19.93
ครั้งที่ 3	1	45.43	11.21	18.62
	2	42.54	10.18	18.94
	3	39.12	11.47	18.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 6 ตารางแสดงค่าWater activity เริ่มต้นของผลิตภัณฑ์กึ่งแห้ง

การทดลอง	ซ้ำ (ครั้งที่)	a_w
ครั้งที่ 1	1	0.493
	2	0.477
	3	0.489
ครั้งที่ 2	1	0.454
	2	0.461
	3	0.445
ครั้งที่ 3	1	0.496
	2	0.485
	3	0.511

ตารางที่ 7 ตารางแสดงค่าการหดตัวของผลิตภัณฑ์

การทดลอง	ซ้ำ (ครั้งที่)	ปริมาตรก่อนการอบแห้ง (cm^3)	ปริมาตรหลังการ อบแห้ง (cm^3)	ค่าการหดตัว (%)
ครั้งที่ 1	1	38.11	20.94	44.99
	2	38.66	21.34	44.35
	3	38.31	21.01	44.76
ครั้งที่ 2	1	38.16	21.86	42.57
	2	38.34	22.13	42.57
	3	38.38	21.97	42.48
ครั้งที่ 3	1	38.15	22.54	40.97
	2	38.46	22.71	40.87
	3	38.28	22.58	40.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.