

ลักษณะพื้นผิวกุ้งขาวและการเหลือรอดของ *Salmonella Anatum* ระหว่างการ
อบแห้งลมร้อน

SURFACE CHARACTERISTICS OF VANNAMEI WHITE SHRIMP AND
SURVIVAL OF *Salmonella Anatum* DURING HOT AIR DRYING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวิชาสุขอนามัยและอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-AI-M-054-075

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ลักษณะพื้นผิวกุ้งขาวและการเหลือรอดของ *Salmonella* Anatum ระหว่างการ
อบแห้งลมร้อน

SURFACE CHARACTERISTICS OF VANNAMEI WHITE SHRIMP AND
SURVIVAL OF *Salmonella* Anatum DURING HOT AIR DRYING



เลขหมู่.....
เลข..... 110480
วัน, เดือน, ปี..... 2 11 2553

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาสาระของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2553

KMITL-2010-AI-M-054-075

**SURFACE CHARACTERISTICS OF VANNAMEI WHITE SHRIMP AND
SURVIVAL OF *Salmonella* Anatum DURING HOT AIR DRYING**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN FOOD SANITATION**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FACULTY OF AGRO-INDUSTRY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

KMITL-2010-AI-M-054-075



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ARGO-INDUSTRY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะอุตสาหกรรมเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ลักษณะพื้นผิวกุ้งขาวและการเหลือรอดของ *Salmonella* Anatum ระหว่างการอบแห้งลมร้อน
Surface Characteristics of Vannamei White Shrimp and Survival of *Salmonella* Anatum During Hot air Drying

ชื่อนักศึกษา นายประสงค์ วิเศษสุนทร
รหัสประจำตัว 49068759
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา สาขาโภชนาการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.กิตติชัย บรรจง

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.กิตติชัย บรรจง รศ.ดร.อดิศร เสวตวิวัฒน์ ดร.อพัชชา จินดาประเสริฐ รศ.ดร.ประภาพร ขอไพบุลย์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 29 เมษายน 2553 เวลา 13.00 น. เป็นต้นไป
สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณมา ตังเจริญชัย)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่ 7 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น
ไม่ทำการเผยแพร่หรือจำหน่ายโดยไม่ได้รับอนุญาต
วันที่ 27 เดือน พ.ค. พ.ศ. 2553
ลงชื่อ.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ลักษณะพื้นผิวของกุ้งขาวและการเหี่ยวรอดของ <i>Salmonella</i> Anatum ระหว่างการอบแห้งลมร้อน
นักศึกษา	นายประสงค์ วิเศษสุนทร
รหัสประจำตัว	49068759
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	สุขาภิบาลอาหาร
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.กิตติชัย บรรจง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวของกุ้งในระหว่างกระบวนการอบแห้ง โดยใช้กุ้งเป็นตัวอย่างและทำการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส การพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพเริ่มจากการถ่ายภาพลักษณะพื้นผิวของกุ้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากนั้นจึงแปลงภาพต้นแบบให้เป็นค่าระดับสีเทา (Gray scale) แล้วจึงแปลงให้เป็นภาพแบบขาวดำ (Binary image) ด้วยการกำหนดค่า Threshold ที่เหมาะสม จากนั้นจึงทำการเก็บค่าแบบขาวดำของทุกๆ Pixel บนรูปภาพ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวของกุ้ง โดยอธิบายลักษณะของพื้นผิวของกุ้งในรูปของแฟคเตอร์ความขรุขระ (Roughness factor, R) จากผลการศึกษาพบว่าค่า R ของกุ้งเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการอบแห้งนานขึ้นและอุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ซึ่งค่า R สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณความชื้นของตัวอย่าง โดยค่า R สามารถใช้เป็นดัชนีแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของกุ้งในระหว่างการอบแห้งได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาค่าการต้านทานความร้อนของ *Salmonella* Anatum ในระหว่างการอบแห้ง จากผลการศึกษาพบว่ากราฟการรอดชีวิตของ *Salmonella* ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นเส้น โค้งหงาย ขณะที่กราฟการรอดชีวิตที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีการลดลงอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการทำลาย *Salmonella* ก่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตามพบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของกุ้งและการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์แอกติวิตีของกุ้งในระหว่างการอบแห้งไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการต้านทานความร้อนของ *Salmonella* อย่างมีนัยสำคัญ อุณหภูมิอบแห้งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อค่าการต้านทานความร้อนของ *Salmonella* ในระหว่างการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Surface Characteristics of Vannamei White Shrimp and Survival of <i>Salmonella</i> Anatum During Hot air Drying
Student	Mr. Prasong Visetsuntorn
Student ID.	49068759
Degree	Master of Science
Program	Food Sanitation
Year	2010
Thesis Advisor	Dr. Kittichai Banjong

ABSTRACT

An image processing technique, which can be used for determination of the surface characteristics of shrimp during drying was developed in this study. Shrimp was used as a model material and was allowed to undergo hot air drying at 50-70 °C. A series of scanning electron micrographs of shrimp surface were transformed into grayscale image and further converted into binary image based on an appropriate threshold value. The binary value of each pixel was collected and used to analyze the change of the surface characteristics of shrimp. The specific surface characteristics were described in terms of the roughness factor (R). The results showed that R values increased with drying time and drying temperature and also correlated well with a decrease in the moisture content. The roughness factor was found to be a good indicator of the surface changes of the product during drying. The heat resistance of *Salmonella* Anatum inoculated onto the surface of shrimp was also determined during hot air drying. The shape of the survival curve at 50 °C exhibited upward concavity while a continuous fall at an almost constant destruction rate was obtained for the *Salmonella* attached on the surface of shrimp undergoing drying at 60 and 70 °C. The changes of the surface characteristics as well as the water activity did not show a significant effect on the susceptibility of the bacteria on the shrimp surface. Drying temperature was found to be a major factor influencing the heat resistance of *Salmonella* during drying.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.กิตติชัย บรรจง อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัย ที่กรุณาให้ความรู้ แนวคิด คำปรึกษา และข้อเสนอแนะในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนการแก้ไขปัญหาดังกล่าว อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำและแนวคิดอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และนักวิทยาศาสตร์ ตลอดจนนักศึกษาภาควิชาสาขาภิบาลอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวก ให้ข้อมูล คำแนะนำและช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยเป็นอย่างดี สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคุณแม่ คุณพ่อ และน้องสาว สำหรับความรัก ความเอาใจใส่ สนับสนุนช่วยเหลือทางด้านการศึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ประโยชน์อันใดที่ได้จากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ประสงค์ วิเศษสุนทร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VII
รายการสัญลักษณ์.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กุ้งแห้ง.....	4
2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง.....	5
2.3 การอบแห้งแบบอากาศร้อน.....	7
2.4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของอาหารระหว่างการอบแห้ง...8	
2.5 <i>Salmonella</i> spp.....	11
2.6 การต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์.....	15
2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการต้านทานความร้อน.....	17
2.8 การวิเคราะห์ภาพ.....	18
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	25
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	25
3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลอง.....	32
4.1 ผลของอุณหภูมิมือบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และอุณหภูมิมือบแห้งของกุ้ง.....	32
4.2 ผลของอุณหภูมิมือบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผิวหน้ากุ้ง.....	35
4.3 ผลของอุณหภูมิมือบแห้งต่อค่าการต้านทานความร้อนของ <i>S. Anatum</i> ในกุ้ง.....	43
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกทิวิตี, ปริมาณความชื้น และค่าการ เปลี่ยนแปลงผิวหน้ากุ้ง (Roughness) ต่อการเหี่ยวรอดของ <i>S. Anatum</i> ในกุ้งใน ระหว่างการอบแห้ง.....	47
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	50
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
เอกสารอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก. วิเคราะห์และเครื่องมือ.....	59
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดลอง.....	64
ประวัติผู้เขียน.....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 จำนวนจุลินทรีย์ในกึ่งที่ผ่านขั้นตอนต่างๆ.....	44
4.2 ค่าพารามิเตอร์ และเวลาที่ใช้ในการลดจำนวน <i>S. Anatum</i> ในกึ่ง 3 log ₁₀ ที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ.....	45
ข.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ในกึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	65
ข.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ในกึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	66
ข.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ในกึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	67
ข.4 ค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งระหว่างอบแห้งที่สภาวะต่างๆ.....	68
ข.5 การลดลงของ <i>S. Anatum</i> ในกึ่งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	74
ข.6 การลดลงของ <i>S. Anatum</i> ในกึ่งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	76
ข.7 การลดลงของ <i>S. Anatum</i> ในกึ่งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	77
ข.8 ค่าพารามิเตอร์ <i>b</i> และ <i>n</i> ของ <i>S. Anatum</i> ในกึ่งระหว่างอบแห้งที่สภาวะต่างๆ.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 กราฟการอบแห้ง (Drying rate curved).....	8
2.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ <i>Salmonella</i>	11
2.3 กราฟการรอดชีวิตของจุลินทรีย์แบบไม่เป็นเส้นตรง.....	16
2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ.....	22
4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นอัตราส่วนความชื้น และค่าอเตอร์เอตทิวตี้ ของกึ่งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส.....	33
4.2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวหน้ากึ่งระหว่างอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส.....	34
4.3 ภาพ Micrograph แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง ระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	36
4.4 ภาพ Micrograph แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง ระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	36
4.5 ภาพ Micrograph แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง ระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	37
4.6 ภาพ Micrograph เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง ระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12 ชั่วโมง.....	37
4.7 Intensity map แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง ระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	38
4.8 Intensity map แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง ระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส.....	39
4.9 Intensity map แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง ระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส.....	40
4.10 Intensity map เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง ระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12 ชั่วโมง.....	41
4.11 การเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง (Roughness).....	42
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และอัตราส่วนความชื้น (MR).....	42
4.13 การเหลือรอดของ <i>S. Anatum</i> ในกึ่งระหว่างการอบแห้งที่สภาวะต่างๆ.....	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.14 แสดงภาพ SEM ของกึ่ง, กึ่งอบแห้ง 4 ชั่วโมง และกึ่งอบแห้ง 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	46
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการเล็หรือคของ <i>S. Anatum</i> ในกึ่ง กับค่าอเวอเจอร์แอกทิวตี้ ปริมาณความชื้นและค่าการเปลี่ยนแปลง ผิวหนังกึ่งระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส.....	48
ก.1 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ.....	60
ข.1 ภาพ Micrograph แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหนังกึ่งอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (สำหรับการทดลองครั้งที่ 1).....	69
ข.2 ภาพ Micrograph แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหนังกึ่งอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (สำหรับการทดลองครั้งที่ 2).....	70
ข.3 ภาพ Micrograph แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหนังกึ่งอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (สำหรับการทดลองครั้งที่ 1).....	71
ข.4 ภาพ Micrograph แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหนังกึ่งอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (สำหรับการทดลองครั้งที่ 2).....	72
ข.5 ภาพ Micrograph แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหนังกึ่งอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (สำหรับการทดลองครั้งที่ 1).....	73
ข.6 ภาพ Micrograph แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหนังกึ่งอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (สำหรับการทดลองครั้งที่ 2).....	74
ข.7 การยัดเกาะของ <i>S. Anatum</i> บนผิวหนังกึ่งอบแห้งสด.....	79
ข.8 การยัดเกาะของ <i>S. Anatum</i> บนผิวหนังกึ่งอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง.....	80
ข.9 การยัดเกาะของ <i>S. Anatum</i> บนผิวหนังกึ่งอบแห้ง 60 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง.....	80
ข.10 การยัดเกาะของ <i>S. Anatum</i> บนผิวหนังกึ่งอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมง.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

a_w	=	ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี
b	=	Scale factor ซึ่งเป็นค่าคงที่เป็นคุณสมบัติของจุลินทรีย์
c_p, c_2, c_3	=	Sterilization Value, F-value
d	=	มวลของวัสดุแห้ง ที่ไม่มีความชื้น (kg)
F	=	ความถี่ของจุดสีขาว (พิทเชลที่ถูกลบ) ที่เวลาเริ่มต้น
F_o	=	ความถี่ของจุดสีขาว (พิทเชลที่ถูกลบ) ที่เวลาการอบแห้งใดๆ
k_p, k_2, m	=	ค่าคงที่แสดงลักษณะของจุลินทรีย์แต่ละชนิด โดยเฉพาะการถูกทำลาย
M_d	=	ปริมาณความชื้น (มาตรฐานแห้ง)
M_{eq}	=	ปริมาณความชื้นสมดุล
M_i	=	ปริมาณความชื้นเริ่มต้น
M_o	=	ปริมาณความชื้นที่เวลาการอบแห้งใดๆ
n	=	Shape factor เป็นค่าคงที่ที่แสดงลักษณะของกราฟ
N	=	จำนวนจุลินทรีย์ที่เวลาใดๆ (โคโลนีต่อมิลลิตร)
N_o	=	จำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น (โคโลนีต่อมิลลิตร)
R	=	ค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง
$S(t)$	=	จำนวนเซลล์ที่เหลือรอด ณ เวลาใดๆ
t	=	เวลา
w	=	มวลของวัสดุ (kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่เก่าแก่และได้รับความนิยมวิธีหนึ่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดความชื้น การหยุดยั้งปฏิกิริยา เอนไซม์ และการทำลายจุลินทรีย์ในอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Hartel and Heldman, 1999) นอกจากนี้ยังช่วยให้อาหารมีลักษณะทางกายภาพ สีสัน กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการเน่าเสีย รวมทั้งยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารอีกด้วย อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการอบแห้งอาหารมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่าง ๆ ทั้งทางเคมี กายภาพ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหาร

สำหรับลักษณะทางกายภาพของอาหาร เป็นสมบัติเชิงปริมาณที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง อาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เช่น การหดตัว การเปลี่ยนสี ทั้งนี้เกิดจากการสูญเสียน้ำและปริมาณความชื้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารแห้ง โดยวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยอธิบายการเปลี่ยนแปลงนี้ ได้แก่ การสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากภาพซึ่งได้จากกล้องถ่ายภาพกำลังขยายสูง เช่น scanning electron microscope (SEM) และ confocal scanning light microscope (CLSM) (Aguilera and Stanley, 1999) อย่างไรก็ตามภาพที่ได้นั้นไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงได้ในเชิงปริมาณ การนำการวิเคราะห์ค่าเชิงปริมาณ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าแฟรคทัล (Fractal dimension) ค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้า (Roughness) ค่าการหดตัว (Shrinkage) มาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเป็นอีกวิธีที่น่าสนใจในการนำมาใช้เพื่อช่วยอธิบายการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุอาหาร

นอกจากสมบัติทางกายภาพแล้วความปลอดภัยของอาหารเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากกระบวนการอบแห้ง เป็นขั้นตอนที่สำคัญต่อการทำลายจุลินทรีย์ แต่การกำหนดอุณหภูมิและระยะเวลาอบแห้งที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลต่อการเหลือรอดของจุลินทรีย์ ทำให้สปอร์ของแบคทีเรียและรามักเหลือรอดอยู่ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Frazier and Westhoff, 1988) และพบว่าประสิทธิภาพของการทำลายจุลินทรีย์โดยใช้ความร้อนแห้งนั้นจะต่ำกว่าการใช้ความร้อนชื้น (Jay, 2000) เนื่องจาก โปรตีนของจุลินทรีย์เสียสภาพเร็วกว่าเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นน้ำเมื่อเทียบกับสภาวะแวดล้อมที่เป็นอากาศ จึงต้องเพิ่มความระมัดระวังเป็นพิเศษ

นอกจากนี้ยังมีการรายงานว่าวัสดุที่มีผิวขรุขระหรือมีรอยหยักจะมีโอกาสในการปนเปื้อนจาก จุลินทรีย์สูง เนื่องจากมีพื้นผิวสัมผัสมากและง่ายต่อการยึดเกาะของจุลินทรีย์ พบว่าอาหารที่มีผิวขรุขระหรือมีรอยหยักที่ผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาด และการตัดแต่ง จะมีจุลินทรีย์เหลือรอดอยู่มาก เนื่องจากรอยหยักหรือรอยขรุขระนี้มีผลในการช่วยป้องกันเซลล์ จุลินทรีย์จากการสัมผัสกับสารเคมีที่ใช้ในการล้าง(Mcminn and Magec, 1997) ซึ่งจุลินทรีย์ที่เหลือรอดเหล่านี้ อาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของอาหาร และสำคัญต่อการออกแบบกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อจากนี้ เช่น การแช่แข็ง การอบแห้ง เป็นต้น จากที่กล่าวมาข้างต้นการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของอาหาร รวมทั้งอาหารที่มีลักษณะขรุขระหรือไม่เรียบโดยธรรมชาติจึงน่าจะส่งผลโดยตรงต่อการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์ ดังนั้นการศึกษาความสัมพันธ์ลักษณะ โครงสร้างและพื้นผิวสัมผัสของอาหารต่อการเหลือรอดของจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการให้ความร้อนจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ

ปัจจุบันงานวิจัยที่นำการวิเคราะห์ค่าเชิงปริมาณจากเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในการอุตสาหกรรมอาหารยังมีไม่มากนัก ในการทำงานการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกายภาพของอาหาร และการควบคุมคุณภาพของอาหารในระหว่างการอบแห้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างผิวหน้าของกึ่งอบแห้ง และการเหลือรอดของจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการอบแห้ง โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image processing Technique) ในการพิจารณาและติดตามการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของกึ่งอบแห้ง และพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงนี้กับการเหลือรอดของจุลินทรีย์ งานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษากับ *Salmonella* เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูง และมักเหลือรอดในผลิตภัณฑ์อบแห้ง (Bell and Kyriakides, 2002)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาผลลักษณะเฉพาะของ โครงสร้างและผิวหน้าของกึ่งอบแห้ง เช่น รอยหยัก พื้นผิวที่ขรุขระ ต่อการเหลือรอดของจุลินทรีย์ (*Salmonella*) ในระหว่างการอบแห้ง

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

ลักษณะเฉพาะของ โครงสร้างและผิวหน้าของกึ่งอบแห้งมีผลต่อการปกป้องเซลล์จุลินทรีย์จาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ความร้อน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. วิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของโครงสร้างและผิวหน้ากึ่ง ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและผิวหน้ากึ่งตัวอย่างในระหว่างการอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 50- 70 องศาเซลเซียส ด้วยวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อน และวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ
3. ศึกษาการเหลือรอดของ *Salmonella* ในระหว่างการอบแห้ง
4. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเหลือรอดของ *Salmonella* กับลักษณะ โครงสร้าง และผิวหน้า กึ่งที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการอบแห้ง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษาความรู้พื้นฐานดังกล่าวจะนำไปสู่การพัฒนากระบวนการอบแห้งในระดับอุตสาหกรรม เพื่อให้ได้อาหารที่มีคุณภาพและปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อุตสาหกรรมการอบแห้ง เป็นอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารที่มีความสำคัญและสามารถทำรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก และปัจจุบันอุตสาหกรรมประเภทนี้มีการแข่งขันสูงขึ้น นอกจากผู้ผลิตจะต้องคำนึงถึงรูปลักษณ์หรือลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งเป็นความต้องการและเป็นแรงดึงดูดให้ผู้บริโภคสนใจในตัวผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นแล้ว ความปลอดภัยของอาหารก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน ดังนั้นทุกขั้นตอนในการผลิตอาหาร เช่น การล้างทำความสะอาด การตัดแต่ง และกระบวนการอบแห้งต้องมีความสะอาดและควบคุมได้ สำหรับกระบวนการอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่มีวัตถุประสงค์หลักในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมา นอกจากนี้ยังช่วยให้อาหารมีลักษณะทางกายภาพ สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการเน่าเสีย อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการอบแห้ง อาหารมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ทั้งทางเคมี กายภาพและรวมถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหาร เช่น เกิดการหดตัว การสูญเสียความสมบูรณ์ของเซลล์ รวมทั้งความร้อนแห้ง เช่น อากาศร้อน มีประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ได้น้อยกว่าความร้อนชื้น เช่น การต้ม การใช้ไอน้ำ (Jay, 2002) ส่งผลให้จุลินทรีย์ที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูงและเหลือรอดในผลิตภัณฑ์สุดท้าย ดังนั้นการออกแบบกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้บริโภค ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของลักษณะโครงสร้างและผิวหน้ากุ้ง เช่น รอยหยัก พื้นผิวที่ขรุขระ ที่มีผลต่อการเหลือรอดของ *Salmonella Anatum* ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง โดยมีรายละเอียดในหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1 กุ้งแห้ง

กุ้งแห้งมีชื่อภาษาอังกฤษหลายชื่อ ได้แก่ Dried shrimp, Dried prawns, Dried-peeled shrimps, Sun-dried shrimp เป็นต้น กุ้งแห้งจัดเป็นผลิตภัณฑ์ประมงที่มีความสำคัญมีความต้องการสูงทั้งตลาดภายในและภายนอกประเทศ เนื่องจากมีโปรตีนค่อนข้างสูงสามารถนำไปประกอบอาหารได้หลายชนิด ราคาของกุ้งแห้งขึ้นอยู่กับคุณภาพ ขนาดและชนิดของกุ้งแห้ง รวมทั้งความชื้นของกุ้งแห้งกระบวนการผลิตกุ้งแห้งแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การทำกุ้งให้สุก โดยต้มกุ้งในน้ำเกลือ พบว่าน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูงสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อที่ทำให้เกิดโรคได้ (Posomboon, 1998) จากนั้นนำกุ้งไปตากแห้งให้เหลือความชื้นต่ำกว่า 20 % จากนั้นจึงนำไปแยกเปลือกกุ้งออก คัดขนาดและจัดจำหน่าย พบว่าในกระบวนการผลิตกุ้งแห้ง ขั้นตอนการลดความชื้นของกุ้งจะมีการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ขั้นตอนดังกล่าวจะ

เกิดปัญหา ประการหลักคือ การปนเปื้อนจากฝุ่นละออง สิ่งสกปรกเนื่องจากกรรมวิธีและสถานที่สำหรับใช้ในกระบวนการตากแห้ง รวมทั้งเกิดการรบกวนจากสัตว์พาหะนำโรค ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสะอาดไม่เพียงพอและมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ และระยะเวลาระหว่างกระบวนการตากแห้งอาจต้องใช้ระยะเวลาที่ยาวนานมากขึ้น เนื่องจากปริมาณแสงแดดไม่มีความสม่ำเสมอ และประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนชื้น มีฝนตกชุก ทำให้ผลิตภัณฑ์กึ่งแห้งที่ได้ยังคงมีความชื้นสูงและไม่สม่ำเสมอ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเน่าเสียและเสื่อมสภาพเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี เอนไซม์และเชื้อจุลินทรีย์ (วารจกณาและคณะ, 2551)

2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งนับเป็นกระบวนการแปรรูปและถนอมอาหารวิธีหนึ่งที่มีมาแต่โบราณ มีวัตถุประสงค์เพื่อการลดความชื้น การหยุดยั้งปฏิกิริยา เอนไซม์ และการทำลายจุลินทรีย์ในอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ (Hartel and Heldman, 1999) และปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการอบแห้งรวมถึงสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งแบบต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของอาหาร รวมถึงคุณภาพที่ต้องการสำหรับอาหารแต่ละชนิด

โดยทั่วไปหลักการสำหรับการอบแห้ง คือ การลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกด้วยการระเหย โดยของเหลวที่อยู่ภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวโดย Capillary flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface force) ส่วนไอน้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor diffusion) และความดันไอ (Partial pressure of vapor) ที่แตกต่างกันระหว่างไอน้ำในวัสดุกับอากาศร้อน ช่วงแรกของการอบแห้งเป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลระหว่างวัสดุกับอากาศจะเกิดขึ้นรอบๆผิววัสดุเท่านั้น ความร้อนจากอากาศร้อนจะถ่ายเทไปยังผิวผ่านชั้นฟิล์มของก๊าซไปยังอากาศร้อน และเมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมาก การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารจะเกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุด้วย โดยนำภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของของเหลวหรือไอน้ำ แล้วระเหยเมื่อได้รับความร้อนจากอากาศร้อน การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวจะช้ากว่าการพาความชื้นจากผิวไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง ที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำลงจนถึงจุดหนึ่งซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง ที่จุดนี้ความดันไอของไอน้ำในวัสดุมีค่าเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศรอบๆ ทำให้น้ำไม่สามารถระเหยออกจากวัสดุได้ เรียกความชื้นในขณะนั้นว่าความชื้นสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระหว่างอบแห้งปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลง มีผลให้ปริมาณน้ำในอาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงและถ้าการควบคุมกระบวนการอบแห้งไม่เหมาะสมแล้ว การเปลี่ยนแปลงที่ไม่พึงประสงค์กับรูปร่างหรือโครงสร้างมักเกิดขึ้น เช่น เกิดรอยแตก ผิวหน้าแข็ง การเสียโครงสร้างของโปรตีน เป็นต้น

2.2.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้ง

โดยทั่วไปแล้วปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำแห้งมีด้วยกันหลายปัจจัย ทั้งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสถานะในการอบแห้งและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่

2.2.1.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญต่อระยะเวลาในการอบแห้ง การเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ เนื่องจากอุณหภูมิมิมีผลต่ออัตราการอบแห้งทั้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลง สำหรับช่วงอัตราการอบแห้งคงที่การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยได้มากและทำให้อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง จึงเป็นการเพิ่ม Driving force สำหรับการเคลื่อนที่ของน้ำที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์ทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากผิวหน้าผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น ส่วนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้อัตราการแพร่ของน้ำในผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้น ส่วนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การใช้อุณหภูมิสูงจะทำให้อัตราการแพร่ของน้ำในผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้อัตราการทำแห้งสูงขึ้นได้ แต่อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิสูงอาจส่งผลเสียต่อผลิตภัณฑ์ได้

2.2.1.2 ความเร็วลมหรือ

ความเร็วลมที่ใช้ในการทำแห้งจะมีผลต่ออัตราการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากผิวหน้าผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการเพิ่มความเร็วมจึงมีผลหลักต่อการทำแห้งเฉพาะในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เท่านั้น

2.2.1.3 ความชื้นสัมพัทธ์

ปริมาณความชื้นในอากาศจะส่งผลต่อ Driving force สำหรับ External mass transfer เนื่องจาก Driving force สำหรับ External mass transfer หาได้จากความแตกต่างของความดันไอที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ และความดันไอในอากาศ ดังนั้นการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะทำให้ Driving force ในการเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวหน้าผลิตภัณฑ์ลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ลดลงในที่สุด

2.2.1.4 ความดัน

เนื่องจากความดันส่งผลต่อสมบัติของน้ำ ดังนั้นจึงส่งผลต่ออัตราการอบแห้ง การอบแห้งภายใต้สภาวะความดันต่ำซึ่งก็หมายความว่าความดันน้ำในอากาศก็ต่ำเช่นเดียวกัน จึงทำให้การทำแห้งสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

2.2.1.5 พื้นที่ผิวของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการอบแห้ง

เนื่องจากกระแสน้ำจะต้องเคลื่อนที่ออกจากผลิตภัณฑ์เป็นปัจจัยที่บ่งบอกว่าการทำแห้งจะเร็วหรือช้า ดังนั้นการตัดผลิตภัณฑ์ให้เป็นชิ้นเล็กๆ จะเป็นการลดระยะทางในการเคลื่อนที่ของน้ำในผลิตภัณฑ์ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ไปยังบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์เร็วขึ้น น้ำจึงเคลื่อนที่ออกจากผลิตภัณฑ์ได้ง่าย

2.2.1.6 โครงสร้างของเซลล์

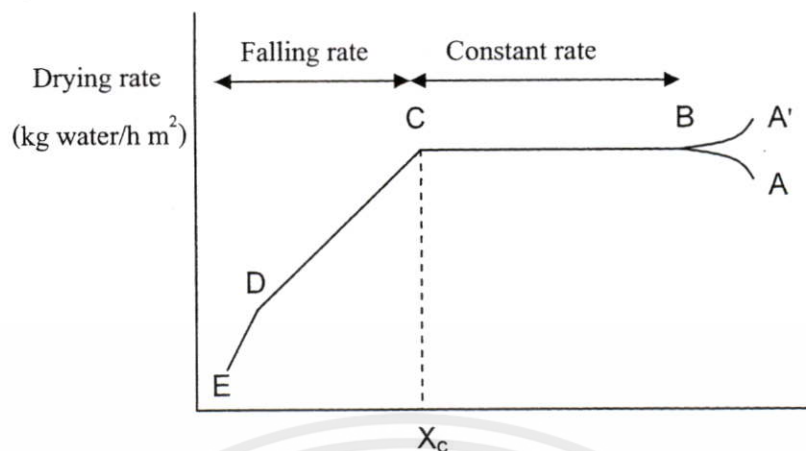
เนื่องจากน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะอยู่ในเซลล์ แต่ก็ยังมีน้ำบางส่วนที่อยู่ระหว่างเซลล์ ซึ่งกำจัดได้ง่ายกว่าน้ำที่อยู่ในเซลล์ ดังนั้นหากทำให้โครงสร้างของเซลล์แตก จะทำให้การอบแห้งทำได้ง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการทำให้เซลล์แตก อาจมีผลต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่เป็นที่ยอมรับ

2.3 การอบแห้งแบบอากาศร้อน

การอบแห้งแบบอากาศร้อนเป็นวิธีที่เก่าแก่วิธีหนึ่ง ใช้ความร้อนเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากระบบเพื่อระเหยน้ำและความชื้นออกจากภายในชิ้นอาหารไปสู่ผิวของอาหาร และสู่บรรยากาศต่อไป ในระหว่างการอบแห้งนั้นวัสดุจะระเหยน้ำออกจากภายในสู่ภายนอกด้วยอัตราการอบแห้งหลัก ๆ สองขั้นตอน ได้แก่ ช่วงอัตราการอบแห้งแบบคงที่ และอัตราการอบแห้งแบบลดลง แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยตำแหน่ง A และ A' แสดงตำแหน่งของวัสดุร้อน หรือเย็นตามลำดับ ตำแหน่ง B หมายถึงอุณหภูมิสมดุลที่ผิวของวัสดุ โดยทั่วไประยะระหว่าง A หรือ A' ถึงระยะ B มักจะสั้นมาก จึงไม่นำมาคำนวณเพื่อหาอัตราการอบแห้ง

อย่างไรก็ตามในระหว่างการอบแห้ง อาหารมีการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างภายในซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำและความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติภายนอก ได้แก่ สมบัติเชิงกายภาพของอาหาร สำหรับช่วง C หมายถึงช่วงที่มีการอบแห้งแบบคงที่ เป็นช่วงที่อัตราการระเหยน้ำจากภายในชิ้นตัวอย่างสู่ผิวตัวอย่าง เท่ากับอัตราการระเหยน้ำจากผิวตัวอย่างสู่ระบบ ช่วงนี้ที่ผิวของตัวอย่างจะมีลักษณะเปียก สำหรับช่วงการอบแห้งแบบลดลงนั้น ได้แก่ ช่วง C ถึง E โดยช่วง C ถึง D เป็นช่วงการอบแห้งแบบลดลงในระยะแรก ผิวตัวอย่างจะเริ่มแห้งจากนั้นช่วง D ถึง E เป็นช่วงการอบแห้งแบบลดลงในระยะที่สอง ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากตัวอย่างน้อยมากในขณะที่เวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงระดับที่น้ำไม่สามารถระเหยได้อีก เนื่องจากปริมาณน้ำและความชื้นของวัสดุอยู่ในระดับที่สมดุล (Canovas and Mercado, 1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 กราฟอัตราการทำแห้ง (Drying rate curved) (Canovas and Mercado, 1996)

วัสดุที่อบแห้งโดยใช้อากาศร้อนนี้ใช้เวลาในการอบแห้งนาน โดยเฉพาะช่วงที่มีอัตราการอบแห้งแบบลดลง ดังนั้นตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ เช่น สี คุณค่าทางอาหาร และเกิดการหดตัว เป็นต้น แต่การอบแห้งด้วยวิธีนี้ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าการอบแห้งโดยวิธีอื่นมาก

Doymaz (2004) ศึกษาผลของอุณหภูมิและความเร็วลมของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งและความหนาของชิ้นแครอทที่มีผลต่อกลไกการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยนำแครอท ขนาด 1 และ 2 ลูกบาศก์เซนติเมตร อบแห้งที่อุณหภูมร้อนอุณหภูมิ 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 0.5 และ 1 เมตร/วินาที ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิและความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการอบแห้งเร็วขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงขึ้นยังมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกระจายความร้อนดีขึ้นด้วย โดยพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ Page, Henderson และ Pabis model รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพการกระจายความร้อนของตัวอย่างในระหว่างการอบแห้ง ผลการพัฒนาแบบจำลองพบว่า แบบจำลอง Page model สามารถทำนายลักษณะและกลไกการอบแห้งของแครอทได้ดีกว่าวิธีอื่น

2.4 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติเชิงกายภาพของอาหารระหว่างการอบแห้ง

การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกายภาพของอาหาร ได้แก่ ความเป็นรูพรุน การหดตัว การเปลี่ยนสีและการสูญเสียความสามารถในการคืนน้ำกลับ (Rehydration) ของอาหาร เกิดเนื่องมาจากการสูญเสียน้ำและความชื้นจากภายในโครงสร้างมาสู่ผิวของอาหารและสู่บรรยากาศภายนอก ซึ่งส่งผลกระทบต่อโครงสร้างเซลล์ของอาหาร (Mayor and Sereno, 2004) การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกายภาพของอาหารนั้นมักแสดงในรูปของการเปลี่ยนแปลงด้านปริมาตร รูปร่าง และ

ความหนาแน่น เป็นต้น โดยเปรียบเทียบระหว่างอาหารที่ผ่านการอบแห้งแล้วกับอาหารที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกายภาพของอาหารอบแห้ง มีดังนี้

2.4.1 การเปลี่ยนสี

ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการอบแห้งมักมีสีเข้มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นน้ำตาล อุณหภูมิและเวลาที่อบแห้ง

2.4.2 การเกิดเปลือกแข็ง (Case hardening)

เป็นลักษณะที่ผิวของผลิตภัณฑ์แข็งเป็นเปลือกหุ้มในส่วนที่ยังไม่แห้งไว้ เกิดจากในช่วงแรกน้ำเกิดการระเหยเร็วเกินไป เนื่องจากอัตราการสูญเสียน้ำจากภายในสู่ผิวนอกน้อยกว่าอัตราการสูญเสียน้ำจากผิวของอาหารสู่บรรยากาศ ทำให้ผิวของอาหารมีลักษณะที่แข็ง (Szczesniak, 1983) น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดเปลือกแข็งของผลิตภัณฑ์โดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงในการอบแห้ง

2.4.3 การหดตัว (Shrinkage)

ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง อาหารสูญเสียน้ำและความชื้นออกจากเซลล์ ส่งผลให้เซลล์มีการหดตัว จนกระทั่งอัตราการสูญเสียน้ำจากภายในสู่ที่ผิวนอกน้อยกว่าอัตราการสูญเสียน้ำจากผิวของอาหารสู่บรรยากาศ ทำให้ผิวของอาหารมีลักษณะที่แข็ง โดยการหดตัวของอาหารขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เวลาอบแห้ง และคุณสมบัติเริ่มต้นของอาหาร (Ochoa, 2002) สำหรับวัสดุทางการเกษตรเมื่อนำมาอบแห้งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในลักษณะที่ไม่คงที่ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างส่วนมากเกิดจากการเปลี่ยนแปลงในรูปของปริมาตรซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นของอาหารนั้นๆ

Wang และ Brennan (1995) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแผ่นมันฝรั่งซึ่งมีความหนา 1 เซนติเมตร อบแห้งด้วยลมร้อนโดยภาพจากกล้องจุลทรรศน์สามารถอธิบายความแตกต่างของโครงสร้างมันฝรั่งที่อบแห้งที่เวลาต่าง ๆ กัน ผลการทดลองยังพบว่ามันฝรั่งมีการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออบแห้งนานขึ้น นอกจากนี้ผนังเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงด้านความยาว (Elongate) มากกว่าด้านกว้าง

Ochoa และคณะ (2002a) ศึกษาลักษณะการหดตัวของผล Rose hip ในระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วยอากาศร้อน โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลง (การหดตัว) ในรูปของปริมาตรและพื้นที่ผิวของตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 55, 60, 65 และ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1, 2, 3 และ 5 เมตร/วินาที และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเท่ากับ 5% และ 50% ผลการทดลองพบว่าการหดตัวของพื้นที่ผิวไม่ได้ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของวัสดุและลักษณะโครงสร้างของอาหารด้วย ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองของ Ochoa และคณะ (2002b) และ Ratti (1994) ซึ่งอธิบายว่าการหดตัวของพื้นที่ผิว

(Surface area) นั้นขึ้นอยู่กับชนิดและลักษณะทางเรขาคณิตของตัวอย่าง อย่างไรก็ตามผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับปริมาณความชื้นของตัวอย่างแห้งที่เวลาอบแห้งที่เวลาใดๆ

Hatamipour และ Mowla (2002) ศึกษาการหดตัวของแครอทในระหว่างการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด ที่อุณหภูมิ 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะการหดตัวของแครอท ได้แก่ความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่าง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง ในขณะที่ความเร็วและอุณหภูมิของอากาศร้อน ไม่มีผลต่อลักษณะการหดตัวของตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Khraisheh และคณะ (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพและโครงสร้างของอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบในระหว่างการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟและอากาศร้อน โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้มันฝรั่งที่หั่นเป็นรูปทรงระบอบอบแห้งที่ความเร็วลม 1.5 เมตร/วินาที อุณหภูมิ 30, 40 และ 60 องศาเซลเซียส ในกรณีที่อบด้วยอากาศร้อน และใช้กำลังที่ระดับ 90 และ 650 วัตต์ ผลการทดลองพบว่าในกรณีอบแห้งด้วยอากาศร้อน ตัวอย่างมีการหดตัวเชิงปริมาตร (Volumetric shrinkage) ของอาหารมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความชื้น นอกจากนี้ตัวอย่างมีลักษณะการหดตัวแบบไม่คงที่ สำหรับการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟพบว่าการหดตัวของตัวอย่างแบ่งออกเป็นสองช่วง ได้แก่ ตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะขนาด ส่วนรูปร่างมีลักษณะเหมือนกับตัวอย่างก่อนอบแห้ง และช่วงที่สองได้แก่ช่วงที่ตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งมีผลต่อค่าการหดตัวของตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ส่งผลให้เซลล์ของตัวอย่างและผิวของตัวอย่างมีความแตกต่างของอุณหภูมิไม่มาก ทำให้เกิดแรงเครียดภายในเซลล์ตัวอย่างไม่มาก ตัวอย่างจึงมีการหดตัวได้สูง ในขณะที่ตัวอย่างที่อบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีลักษณะของการเกิดเปลือกแข็งที่ผิวตัวอย่าง เนื่องจากน้ำระเหยออกมาจากผิวสู่บรรยากาศมากกว่าน้ำที่ระเหยจากภายในเซลล์มาสู่ผิวของอาหาร ทำให้ตัวอย่างหดตัวน้อยกว่า

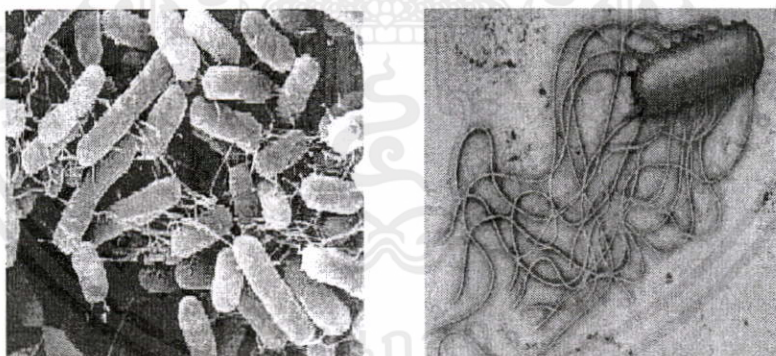
รูปแบบการหดตัวของตัวอย่างและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งต่างชนิดและต่างสภาวะกันนั้นต่างกันด้วย Panyawong และ Devahastin (2007) ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแครอทที่อบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งชนิดต่าง ๆ และสภาวะต่าง ๆ โดยใช้ค่า shape factor ที่เรียกว่า Heywood shape factor โดยค่า Heywood shape factor นี้สามารถใช้เพื่อช่วยอธิบายรูปแบบการหดตัวของแครอท ในระหว่างการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบไอน้ำร้อนชนิดยิ่งยวดได้สภาวะความดันต่ำ และเครื่องอบแห้งแบบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์พบว่าค่า Heywood shape factor สามารถแบ่งได้เป็นสองช่วง ได้แก่ช่วงที่ค่า Heywood shape factor มีค่าคงที่ตามระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในลักษณะคงที่ และช่วงที่สองคือค่า Heywood shape factor ลดลงตามระยะเวลาในการอบแห้ง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง

รูปร่างในลักษณะที่ไม่คงที่ ทั้งนี้ช่วงที่ถูกแบ่งเป็นสองช่วงดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องอบแห้งและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้ง

2.5 *Salmonella* spp.

2.5.1 ลักษณะทั่วไปของ *Salmonella*

Salmonella เป็นแบคทีเรียอยู่ในตระกูล Enterobacteriaceae มีรูปท่อน (รูปที่ 2.2) ติดสปีแกรมลบ ไม่สร้างสปอร์ มีขนาด 0.7–1.5 ไมครอน ยาว 2.0–5.0 ไมครอน สามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้แฟลกเจลลาที่มีอยู่รอบเซลล์ (Peritrichous flagella) เจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีอากาศ (Facultative anaerobe) ส่วนใหญ่สามารถหมักน้ำตาลกลูโคสให้เป็นกรดและก๊าซ เจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 6-45.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญประมาณ 37 องศาเซลเซียส pH 4.5–9.0 ค่าออสโมลาร์แอคทิวิตี้ที่เหมาะสมต่อการเจริญมีค่าประมาณ 0.94–0.995 (Bell and Kyriakides, 2002) *Salmonella* ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ท้องร่วง และอาจมีอันตรายถึงชีวิตได้เมื่อบริโภคอาหารที่มีเซลล์ที่มีชีวิตของแบคทีเรียปนเปื้อนอยู่ แม้ปริมาณต่ำก็ตาม *Salmonella* สามารถเจริญและเพิ่มจำนวนในอาหารได้ มักพบ *Salmonella* spp. ปนเปื้อนได้ในอาหารหลายชนิด เช่น เนื้อสัตว์ นม ไข่ และผัก



รูปที่ 2.2 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของ *Salmonella*

Salmonella เป็นแบคทีเรียที่ไม่ทนต่อความร้อน สามารถถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง หรือที่ 62 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที อย่างไรก็ตามความสามารถในการทนความร้อนขึ้นกับสายพันธุ์และสภาพแวดล้อมที่แบคทีเรียเจริญได้ *S. Senftenberg* เป็นสายพันธุ์ที่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ดีกว่า *Salmonella* ทั่วไป ถึง 10–20 เท่า โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนนานถึง 1 ชั่วโมง ในการทำลายจุลินทรีย์ดังกล่าว (อรุณและคณะ, 2546) จากการสำรวจเอกสารพบว่าในสภาวะที่มีค่าออสโมลาร์แอคทิวิตี้ต่ำมีผลทำให้

Salmonella มีค่าความต้านทานความร้อนเพิ่มสูงขึ้น Goepfert และคณะ (1970); Horner และ Anagnostopoulos (1975)

การจำแนก *Salmonella* สามารถทำได้โดยใช้สมบัติทางชีวเคมีในการจำแนก เช่น การสร้าง H₂O และการย่อยสลายน้ำตาล D-glucose เป็นต้น (Bell and Kyriakides, 2002) นอกจากนี้ในการจำแนกชนิดของ *Salmonella* ยังอาศัยลักษณะทางพันธุกรรมที่ปรากฏบนผิวเซลล์และแฟลกเจลลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ตามแบบแผนที่เรียกว่า Kauffmann-White Scheme (อรุณ และคณะ, 2546) ทำให้การจำแนกชนิดของ *Salmonella* มีความแม่นยำมากขึ้น ทั้งนี้ลักษณะของแอนติเจนที่สำคัญของ *Salmonella* ยังใช้เป็นสมบัติในการทดสอบเชอรัมวิทยาอีกด้วย โดยมี 3 ชนิด ดังนี้

2.5.1.1 โอ แอนติเจน หรือ โซมาติก แอนติเจน (O หรือ Somatic Antigen) เป็นแอนติเจนที่เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ ประกอบด้วยสารประกอบประเภท โพลีแซคคาไรด์และฟอสโฟไลปิดมีคุณสมบัติ คือ สามารถทนความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส ได้นาน 2 ชั่วโมง 30 นาที ทนต่อเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 และทนต่อกรดเจือจาง *Salmonella* สายพันธุ์ที่มีโอแอนติเจนสามารถก่อให้เกิดโรคได้

2.5.1.2 เอช หรือแฟลกเจลลา แอนติเจน (H หรือ Flagella Antigen) เป็นส่วนประกอบของสารประเภท โปรตีน ไม่ทนความร้อน ถูกทำลายด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ไม่ทนต่อกรดและแอลกอฮอล์ เอชแอนติเจนมีอยู่ด้วยกัน 2 เฟส คือ เฟส 1 และเฟส 2 แฟลกเจลลามีบทบาททำให้ *Salmonella* สามารถเพิ่มจำนวนได้ในในระบบภูมิคุ้มกัน ตัวอย่างของ *Salmonella* ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้คือ *S. Newport* และ *S. Worthington*

2.5.1.3 วีไอ แอนติเจน (Vi หรือ Virulence Antigen) เป็นแอนติเจนที่คลุมอยู่รอบนอกถัดจากโอ แอนติเจน ทำให้เกิดอาการของโรคที่รุนแรงและทำให้แบคทีเรียรอดพ้นจากการถูกทำลายจากภูมิคุ้มกันของโฮสต์ วีไอ แอนติเจน เป็นสารประกอบจำพวก N-acetyl glucosamine uronic acid ถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อน กรด หรือฟีนอล สามารถพบวีไอ แอนติเจน ใน *S. Typhi* และ *S. Paratyphi C*

โดยทั่วไปแล้ว *Salmonella* จะมีแอนติเจนหลากหลายชนิดเป็นองค์ประกอบ เช่น *S. Typhimurium*, *S. Derby* และ *S. Anatum* ประกอบด้วยโอแอนติเจน และเอช แอนติเจน ซึ่งจากความแตกต่างกันทางแอนติเจนดังกล่าว ทำให้ *Salmonella* ทั้งหมดถูกนำมาจัดใหม่เป็น 2 สปีชีส์ คือ *S. enterica* และ *S. Anatum* ประกอบด้วยโอแอนติเจน และ เอช แอนติเจน ซึ่งจากความแตกต่างกันทางแอนติเจนดังกล่าว ทำให้ *Salmonella* ทั้งหมดถูกนำมาจัดใหม่เป็น 2 สปีชีส์ คือ *S. enterica* และ *S. bongori* แต่ละสปีชีส์จำแนกออกเป็นหลายชนิดย่อย (Subspecies) *Salmonella* กว่า 2,000 ซีโรวารถูกนำมาจัดอยู่ในสปีชีส์ *Salmonella enterica* ซึ่งจำแนกออกเป็น 5 ชนิดย่อย ดังนี้

Group I	:	<i>S. enterica subsp. enterica</i>
Group II	:	<i>S. enterica subsp. salmae</i>
Group III a	:	<i>S. enterica subsp. arizona</i>
Group III b	:	<i>S. enterica subsp. diarizonae</i>
Group IV	:	<i>S. enterica subsp. houtenae</i>
Group VI	:	<i>S. enterica subsp. indica</i>

Salmonella กลุ่ม V ได้ถูกยกฐานะขึ้นเป็นสปีชีส์ คือ *Salmonella bongori* (Jay, 2000) การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนำไปสู่พัฒนาการของวิธาน และมีวิธีการเขียนชื่อวิทยาศาสตร์สำหรับ *Salmonella* แบบใหม่คือ จากเดิมเคยเขียนว่า *Salmonella typhimurium* ต่อไปนี้จะต้องเขียนโดยใช้ชื่อจีนัสเป็นตัวเอน ส่วนชื่อสปีชีส์ย่อใช้ตัวธรรมดาและตัวอักษรแรกให้เป็นตัวพิมพ์ใหญ่ คือ *Salmonella enterica serovar Typhimurium* หรือเขียนย่อได้ว่า *S. Typhimurium*

2.5.2 แหล่งและสาเหตุการปนเปื้อน *Salmonella*

Salmonella เป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษและมีการแพร่ระบาดอย่างมากในประเทศต่างๆ ทั่วโลก มักพบการปนเปื้อนของ *Salmonella* ทั้งในอาหารสดและอาหารที่ผ่านการปรุงแล้ว เช่น อาหารประเภทไข่ นม ซอซ โกลเลต เนื้อสัตว์ปีก สัตว์น้ำจำพวกที่มีเปลือก เช่น หอย กุ้ง ปู และผักผลไม้ เช่น ถั่วงอก มะพร้าว แคนตาลูป เป็นต้น (Bell and Kyraikides, 2002) *Salmonella* สามารถแพร่ไปได้หลายทาง เนื่องจากแบคทีเรียชนิดนี้อาศัยอยู่ในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ จึงออกจากร่างกายของคนและสัตว์ทางอุจจาระ ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม เช่น น้ำ ดิน โดยปกติแล้ว *Salmonella* จะแพร่จากสัตว์ไปสู่คน โดยการบริโภคอาหารที่มีการปนเปื้อน *Salmonella* หรืออาจเป็นการแพร่จากบุคคลหนึ่งไปยังอีกบุคคลหนึ่งได้ โดยคนหรือสัตว์อาจเป็นพาหะ (Carrier) โดยมีอาการปกติแต่มี *Salmonella* อยู่ในทางระบบทางเดินอาหาร ดังนั้นคนหรือสัตว์ที่เป็นพาหะจึงเป็นแหล่งแพร่ *Salmonella* ในทางระบาดวิทยาจำแนกแหล่งที่อยู่อาศัยหรือ Host ของ *Salmonella* ออกเป็น 3 แหล่ง ดังนี้

2.5.2.1 *Salmonella* ที่อาศัยคนเป็น Host, *Salmonella* กลุ่มนี้ทำให้เกิดโรคที่ติดต่อกายในคน ได้แก่ *S. Typhi* ทำให้เกิดโรคไทฟอยด์ (Enteric Fever) ซึ่งเป็นสปีชีส์ที่มีอันตรายรุนแรงมากที่สุด ส่วน *S. Paratyphi A* และ *S. Paratyphi C* ทำให้เกิดโรคไขกระดูกน้อย ซึ่งมีอาการคล้ายกับอาการของไข้ไทฟอยด์ แต่รุนแรงน้อยกว่า

2.5.2.2 *Salmonella* ที่ปรับตัวตาม Host ซึ่ง *Salmonella* ในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่แพร่จากสัตว์ที่เป็นโรคหรือเป็นพาหะมาสู่คน เมื่อนำสัตว์มาใช้เป็นอาหารก็จะแพร่มาสู่คนทำให้คนที่ได้รับเชื้อในกลุ่มนี้เป็นโรคได้ เช่น *S. Gallinarum* (พบมากในสัตว์ปีก) *S. Dublin* (พบมากในวัวและกระบือ) เป็นต้น (Jay, 2000)

2.5.2.3 *Salmonella* ที่ไม่เลือก Host เป็น *Salmonella* นอกเหนือจาก 2 กลุ่มที่กล่าวมาแล้ว *Salmonella* กลุ่มนี้แพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมทั่วไปได้ โดยสามารถแพร่จากคน สัตว์ที่เป็นโรครวมทั้งอาหาร น้ำ ดิน ได้แก่ *Salmonella* ที่ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ นับเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญมากและต้องควบคุมการจัดการสุขาภิบาลที่ดีเพื่อตัดวงจรการแพร่กระจายของโรค

การแพร่กระจายของ *Salmonella* เกิดขึ้นได้ตั้งแต่แหล่งเพาะเลี้ยงกุ้ง ซึ่งอาจปนเปื้อนมาจากดิน น้ำ อาหาร หรือระหว่างกระบวนการขนส่ง นอกจากนี้ยังอาจเกิดการปนเปื้อนระหว่างกระบวนการผลิต รวมทั้งการปนเปื้อนข้าม ซึ่งในกุ้งมีสารอาหารที่จำเป็นและเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ถ้าหากมีการปนเปื้อนจะทำให้ แบคทีเรียเพิ่มจำนวนได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นกรรมวิธีการลดจำนวนแบคทีเรียทั้งก่อนและระหว่างกระบวนการแปรรูปจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งขั้นตอนการล้างทำความสะอาด และกระบวนการให้ความร้อน ซึ่งลักษณะเฉพาะเหล่านี้มีผลต่อความสามารถในการยึดเกาะของแบคทีเรีย ทั้งยังมีส่วนในการป้องกันเซลล์แบคทีเรียจากสารเคมีที่ใช้ล้าง และความร้อนที่ใช้ในกระบวนการ ส่งผลให้แบคทีเรียมีค่าการต้านทานความร้อนสูง เซลล์แบคทีเรียจึงรอดชีวิตและหลงเหลือในผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเป็นอย่างยิ่ง

2.5.3 การปนเปื้อนของ *Salmonella* ในกุ้ง

Bangtrakulnonth และคณะ (2004) ได้รวบรวมซีโรวาร์ของ *Salmonella* ที่พบในคน อาหารและแหล่งต่างๆ ในประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2536-2545 พบว่า *S. Anatum* มีการระบาดมากเป็น 1 ใน 10 อันดับแรกและมักพบ *S. Anatum* ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ (17%) และน้ำ (11%) ปี พ.ศ. 2546 ได้ตรวจพบ *S. Anatum* มากที่สุดในตัวอย่างประเภทอาหารพร้อมบริโภค (28.26%) รวมถึงวัตถุดิบที่ใช้ประกอบอาหาร (17.55%) นอกจากนี้ยังสามารถแยกซีโรวาร์นี้ได้จากกุ้ง เห็นได้ว่า นอกจาก *Salmonella* จะปนเปื้อนในอาหารต่างๆ และน้ำแล้ว กุ้งและอาหารพร้อมบริโภคสามารถปนเปื้อน *Salmonella* ได้เช่นกัน

นอกจากนี้ยังพบว่า *Salmonella* สามารถรอดชีวิตและเจริญได้ในกุ้ง Beuchat และ Scouten (2004) พบว่า *S. Typhi* และ *S. Derby* สามารถเจริญในกุ้งที่เก็บ ณ อุณหภูมิห้อง (25-27 องศาเซลเซียส) ภายใน 6 ชั่วโมง *S. Anatum*, *S. Chester*, *S. Havana*, *S. Poona* และ *S. Senftenberg* สามารถเพิ่มจำนวนได้บนเนื้อกุ้งขาว ที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส โดยเพิ่มจำนวนจาก 5 เป็น 7 log cfu/g ภายใน 24 ชั่วโมง และเซลล์ยังคงรอดชีวิตที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แม้ไม่มีการเพิ่มจำนวนก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์

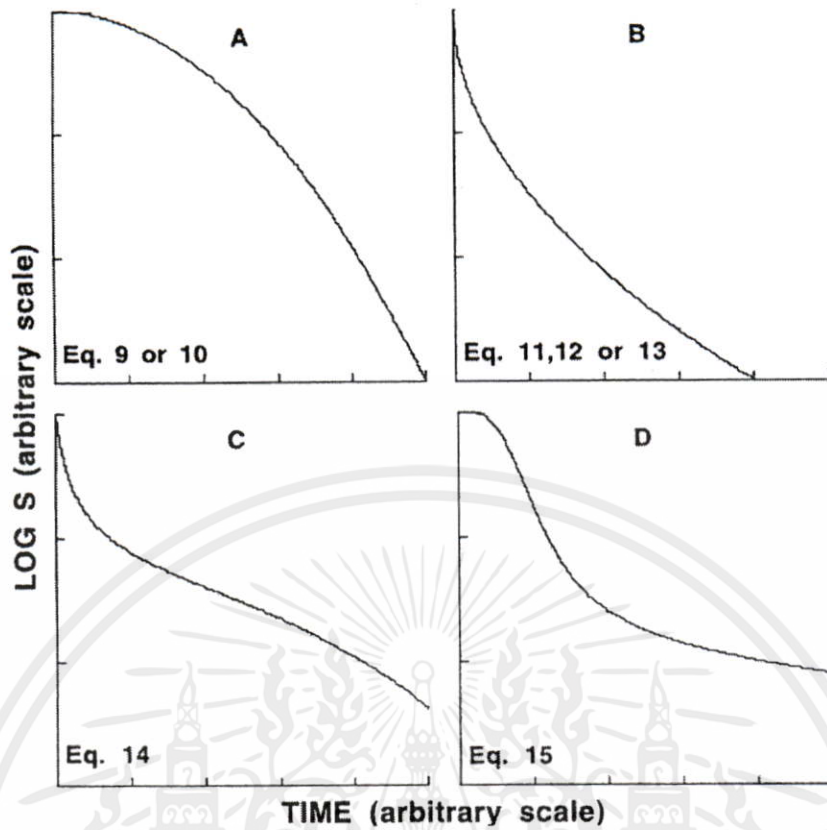
ความสามารถในการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์แต่ละสายพันธุ์จะแตกต่างกัน ซึ่งกระบวนการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความร้อน จะต้องใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมต่อการฆ่าเชื้อนั้นๆ ส่วนใหญ่การศึกษาค่าการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์ในอาหารเป็นการศึกษาปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อทำลายจุลินทรีย์ (จุลินทรีย์ไม่สามารถแพร่พันธุ์ต่อไปได้) เพื่อความปลอดภัยของอาหาร

2.6.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการรอดชีวิตของจุลินทรีย์

สำหรับการรอดชีวิตของจุลินทรีย์อยู่ภายใต้สมมุติฐานว่าเซลล์ทุกเซลล์สามารถทนต่อความร้อนได้เท่ากัน เมื่อเขียนกราฟการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ในรูป $\log S(t)$ กับเวลา (t) จะได้เส้นกราฟที่มีลักษณะการลดลงเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.3 แต่สำหรับจุลินทรีย์หลายๆ ชนิดได้มีการศึกษาความสามารถในการต้านทานต่อความร้อน พบว่าเมื่อเขียนกราฟการรอดชีวิตของจุลินทรีย์ในรูป $\log S(t)$ กับเวลา (t) จะมีลักษณะกราฟเป็นแบบไม่เป็นเส้นตรง ดังรูปที่ 2.3 A-D ซึ่งสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่แสดงค่าคงที่ของจุลินทรีย์ได้จากสมการของ Weibull (Peleg, 2000) ซึ่งได้พัฒนาให้มีรูปสมการที่เหมาะสมต่อลักษณะการรอดชีวิตของเซลล์แต่ละรูป

โดยกราฟ A มีลักษณะเป็นแบบกราฟโค้งคว่ำ (Downward concavity) ที่มีระยะ Lag ในช่วง เริ่มต้น กราฟ B มีลักษณะเป็นแบบกราฟโค้งหงาย (Upward concavity) ซึ่งมีเซลล์ที่ไวต่อความร้อน เซลล์จึงถูกทำลายในอัตราที่เร็วมาก กราฟ C มีลักษณะเป็นแบบกราฟรูปตัวเอส (Sigmoid curve) ที่มีเซลล์ที่ไวต่อความร้อนถูกทำลายอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นและเซลล์ที่ต้านทานความร้อนสูงเหลือรอดอยู่ภายหลัง และกราฟ D มีลักษณะเป็นกราฟแบบ Sigmoid curve แต่ในช่วงแรกกราฟจะมี Lag และเกิด Tail โดยเซลล์ที่มีค่าการต้านทานความร้อนสูงจะถูกทำลายได้ช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 กราฟการรอดชีวิตของจุลินทรีย์แบบไม่เป็นเส้นตรง (Peleg, 2000)

ซึ่งกราฟ A, B, C และ D สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (2.1), (2.2), (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ

$$\log S(t) = -bt^n \quad \text{เมื่อ } n > 1 \quad (2.1)$$

$$\log S(t) = -bt^n \quad \text{เมื่อ } n < 1 \quad (2.2)$$

$$\log S(t) = -\frac{c_1 t}{(1 + c_2 t)(c_3 - t)} \quad (2.3)$$

$$\log S(t) = -\frac{t^m}{(k_1 + k_2 t^m)} \quad \text{เมื่อ } m > 1 \quad (2.4)$$

- $S(t)$ คือ จำนวนจุลินทรีย์ที่เวลา t หาดด้วยจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น
- b คือ Scale factor หมายถึง ค่าคงที่ที่เป็นคุณสมบัติของจุลินทรีย์แต่ละชนิด
- n คือ Shape factor หมายถึง ค่าคงที่ที่แสดงรูปร่างของกราฟ ถ้า n มากกว่า 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ลักษณะของกราฟที่ได้จะเป็นกราฟคว่ำ ถ้า n น้อยกว่า 1 จะได้เส้นกราฟการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

c_1, c_2, c_3, k_1, k_2 และ m คือ ค่าคงที่แสดงลักษณะของจุลินทรีย์แต่ละชนิด โดยเฉพาะ
การถูกทำลาย

การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้ในการทำนาย ทำให้สามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่ออธิบายการรอดชีวิตของจุลินทรีย์เมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปและสามารถนำไปใช้ในการทำนายเวลาที่ใช้ในการยับยั้งจุลินทรีย์เมื่อทราบจำนวนประชากรจุลินทรีย์ที่ต้องการทำลาย เพื่อให้เป็นประโยชน์ในกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมได้

2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการต้านทานความร้อน

งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าองค์ประกอบและลักษณะทางกายภาพของอาหารมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อค่าการต้านทานความร้อนของแบคทีเรีย เช่น ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น ระยะการเจริญของจุลินทรีย์ และลักษณะของอาหารหรือสับสเตรตที่เซลล์เจริญอยู่ในขณะให้ความร้อน ได้แก่ ปริมาณ ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และค่าวอเตอร์แอกทิวิตี เป็นต้น

2.7.1 ชนิดและจำนวนจุลินทรีย์เริ่มต้น

จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความสามารถในการต้านทานความร้อนต่างกัน ส่วนใหญ่ราและยีสต์จะถูกทำลายด้วยความร้อนได้ง่ายกว่าแบคทีเรีย (Adams and Moss, 2002) สปอร์ของแบคทีเรียทนความร้อนได้ดีกว่าเซลล์ธรรมดา (Vegetative cell) และระยะเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อนขึ้นกับจำนวน จุลินทรีย์เริ่มต้น ดังนั้นถ้าปริมาณเซลล์เริ่มต้นมากเกินไปที่กำหนด ก่อให้เกิดปัญหาอาหารผ่านการให้ความร้อนไม่เพียงพอ จึงต้องมีการเพิ่มอุณหภูมิหรือระยะเวลาในการทำลายจุลินทรีย์ซึ่งอุณหภูมิและเวลาที่เพิ่มขึ้นนี้อาจส่งผลต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ได้

2.7.2 ระยะการเจริญของจุลินทรีย์

การต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์จะแตกต่างกันไปตามระยะการเจริญ แบคทีเรียทนต่อความร้อนได้ดีที่สุดเมื่อเจริญอยู่ในระยะ Stationary phase เซลล์ในช่วง Log phase จะทนต่อความร้อนได้น้อยที่สุด (Jay, 2000) ศึกษาค่าการต้านทานความร้อนของ *Salmonella* สายพันธุ์ต่างๆ ในเนื้อวัวดิบ (Ground beef) ที่มีไขมัน 19.1% พบว่าจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่ในระยะ Stationary phase จะเป็นระยะที่จุลินทรีย์มีค่าการต้านทานความร้อนมากกว่าเมื่อเจริญอยู่ในระยะ Log phase

2.7.3 องค์ประกอบของอาหาร

ลักษณะของอาหารที่จุลินทรีย์เจริญขณะได้รับความร้อนนั้นมีผลทำให้ค่าการต้านทานความร้อนของ จุลินทรีย์แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่าง ทั้งนี้เนื่องจากการแทรกผ่านของความชื้นของอาหารแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากันจึงส่งผลต่อค่าการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ลักษณะทางเคมีและกายภาพของอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต ปริมาณไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต รวมทั้งการเติมเกลือหรือน้ำตาลหรือการเติมสารลดอสมอาหาร เหล่านี้ล้วนมีผลต่อค่าการต้านทานความร้อนของ จุลินทรีย์ Casadei และคณะ (1998) พบว่าค่าการต้านทานความร้อนของ *Listeria monocytogenes* ในนมและเนยที่มีปริมาณไขมันต่างกัน มีค่าการต้านทานความร้อน

สูงกว่าใน Trypicase Soy Broth เนื่องการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันที่แขวนลอยอยู่ในผลิตภัณฑ์มีผลทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีของผลิตภัณฑ์ลดลงและยังเป็นตัวขัดขวางการส่งผ่านความร้อนไปสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ จึงมีผลให้ค่าการต้านทานความร้อนของ *Listeria monocytogenes* สูงขึ้น Juneja และ Eblen (2000) ศึกษาการต้านทานความร้อนของ *S. Typhimurium* DT 104 จำนวน 8 ซีโรวาร์ ที่อุณหภูมิ 62.5 องศาเซลเซียส พบว่า ค่า *D* ของ *Salmonella* ในเนื้อวัวที่มีปริมาณไขมัน 7% และ 24% มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.27 นาทีเป็น 2.35 นาที นอกจากนี้ในอาหารที่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบมีผลทำให้ค่าการต้านทานความร้อนของจุลินทรีย์สูงขึ้น เนื่องจากน้ำตาลมีต่อทำให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตีลดลง (Jay, 2000)

Barrile และคณะ (1970) ศึกษาการต้านทานความร้อนของ *S. Anatum* ในนมรสช็อกโกแลต พบว่าการเพิ่มน้ำแก่นมช็อกโกแลต 2% มีผลทำให้ค่าการต้านทานความร้อนของ *S. Anatum* ที่อุณหภูมิ 71 องศาเซลเซียส ลดลงจาก 20 ชั่วโมง เหลือเพียง 4 ชั่วโมงเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนนานขึ้นเพื่อทำลายจุลินทรีย์ดังกล่าวที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์

Golden และคณะ (1993) ศึกษาการต้านทานความร้อนของ *S. Typhimurium* และ *S. Alachua* ในน้ำนมที่มีการเติมนมผงไขมันต่ำ (Skim milk) 10%, 30%, 42% และ 51% (w/w) เพื่อเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำนม พบว่าการเพิ่มปริมาณนมผงไขมันต่ำในน้ำนมมีผลทำให้ค่าการต้านทานความร้อนของ *Salmonella* ทั้ง 2 สายพันธุ์ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

Archer และคณะ (2002) ทดลองอบแป้งสาลีที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีในช่วง 0.2-0.6 โดยใช้ลมร้อนในช่วงอุณหภูมิ 57-77 องศาเซลเซียส เพื่อทำลาย *Salmonella Weltevreden* พบว่าแป้งสาลีที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่าก่อนการอบแห้ง จะทำให้ค่าการต้านทานความร้อนของ *Salmonella* มีค่าสูงขึ้น

Beuchat และ Scouten (2002) ศึกษาอิทธิพลของค่าวอเตอร์แอกติวิตีและอุณหภูมิต่อการเหี่ยวโรดและการตายของ *S. Anatum*, *S. Cubana*, *S. Infantis* และ *S. Stanley* ใน Alfalfa seed โดยเก็บที่อุณหภูมิ 2 และ 25 องศาเซลเซียส พบว่า *Salmonella* สามารถมีชีวิตรอดอยู่ได้ใน Alfalfa seed ที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.21 และ 0.40 ได้นาน 52 สัปดาห์และสามารถมีชีวิตรอดที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สำหรับ Alfalfa seed ที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี 0.40 และ 0.60 อยู่ได้นาน 48 สัปดาห์ แสดงว่า *Salmonella* สามารถอยู่ได้นานขึ้นในผลิตภัณฑ์ที่มีค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำ

เอกสารนี้ **2.8 การวิเคราะห์ภาพ** ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และดัดแปลงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ สำหรับสมบัติเชิงกายภาพของอาหาร เป็นสมบัติเชิงปริมาณที่มีผลต่อการยอมรับต่อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ในระหว่างกระบวนการอบแห้งสมบัติเชิงกายภาพจะมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการสูญเสียน้ำและปริมาณความชื้นจากภายในชั้นอาหารสู่ผิวอาหารและบรรยากาศ

นักวิจัยจำนวนมากพยายามอธิบายการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกายภาพของอาหารในระหว่างกระบวนการอบแห้ง โดยวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ได้แก่ การสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากภาพซึ่งได้จากกล้องถ่ายภาพกำลังขยายสูง ๆ เช่น Scanning electron microscope (SEM) และ confocal scanning light microscope (CLSM) (Aguilera and Stanley, 1999) อย่างไรก็ตามภาพที่ได้นั้นไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงได้ในเชิงปริมาณ ดังนั้นการนำการวิเคราะห์ค่าเชิงปริมาณเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้เพื่อช่วยอธิบายการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว

สำหรับการวิเคราะห์ภาพนั้นสามารถวิเคราะห์ได้โดยการใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ใช้กับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Aguilera, 2003) ขั้นตอนหลักในการวิเคราะห์ภาพประกอบด้วย การถ่ายภาพ (Image acquisition) การแปลงภาพ (Image processing) และการวิเคราะห์ภาพ (Image analysis) เป็นต้น Aguilera และ Stanley (1999)

2.8.1 การถ่ายภาพ

การถ่ายภาพเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดขั้นตอนหนึ่งของการวิเคราะห์ภาพ ภาพที่ถ่ายได้ส่วนมากเป็นภาพที่ถ่ายในรูปแบบของดิจิทัล เทคนิคที่ใช้ในการจับภาพจากกล้องจุลทรรศน์มีหลายวิธี เช่น การสแกน การใช้กล้องดิจิทัล และกล้องสแกนนิ่ง โดยเทคนิคแต่ละเทคนิคนี้มีความเหมาะสมและลักษณะเฉพาะในการนำไปใช้ที่ต่าง ๆ กัน นอกจากนี้ภาพที่ได้มาสามารถถูกบันทึกให้อยู่ในหลายรูปแบบ หรือหลายนามสกุล (Russ, 2005)

2.8.1.1 ประเภทของภาพ (Image Types)

ภาพบิตแมป (Bitmap image) เป็นภาพที่ประกอบจากจุดขนาดเล็กจำนวนมาก (Pixels) ที่ต่อเรียงกันเป็นภาพ โดยทั่วไปภาพบิตแมปสามารถแบ่งออกได้หลายประเภทตามคุณสมบัติของสี ดังต่อไปนี้

ภาพแบบระดับสีเทา (Intensity images หรือ Gray scale image)

ลักษณะของภาพชนิดนี้ในแต่ละพิกเซล (Pixel) จะมีค่าความเข้มแสงในแต่ละระดับที่แตกต่างกัน ตั้งแต่สีขาว ไปยังสีดำ สามารถกำหนดระดับความเข้มแสงได้โดยการใช้ค่าระดับเทา (Gray scale หรือ Gray level) ภาพแบบระดับสีเทาจะมีความละเอียด (Resolution) เท่ากับ 8 บิต ซึ่งภาพจะมีค่าระดับความเข้มแสงของสีค่าเท่ากับศูนย์ และมีค่าระดับความเข้มแสงของสีขาวจะมีค่าเท่ากับ 255

ภาพสี (Color image)

ภาพชนิดนี้ แต่ละพิกเซลของภาพจะเก็บค่าระดับความเข้มของแต่ละแถบแสงของแม่สีหลัก 3 สี ที่ซ้อนกันคือ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) สีน้ำเงิน (Blue) ซึ่งในแต่ละพิกเซลนั้นๆ จะแสดงผลของค่าสีของแต่ละพิกเซลตามระดับความเข้มในแต่ละแถบแสงนั้น

ภาพขาวดำ (Binary image)

ลักษณะของภาพขาวดำคือในแต่ละพิกเซลจะแสดงด้วยค่าไบนารี (Binary) คือมี 1 บิต ซึ่งประกอบด้วยค่า 1 และ 0 โดยที่ 1 หมายถึงจุดภาพสีขาว และ 0 หมายถึงจุดภาพสีดำ

ภาพแบบดัชนี (Index image)

ภาพประเภทนี้ ในแต่ละพิกเซลของภาพจะเก็บค่าดัชนี (Index number) เพื่อนำค่าดัชนีดังกล่าวนี้ไปเทียบกับตารางสี (Color table) ซึ่งเป็นตารางแสดงค่าแสงสีแดง เขียว และน้ำเงิน ซึ่งค่าดัชนีนี้จะเป็นตัวชี้ให้เห็นว่าภาพในตำแหน่งพิกเซลนั้นๆ มีค่าอัตราส่วนของแม่แสง 3 สี ในอัตราส่วนละเท่าไร

2.8.1.2 การจัดเก็บข้อมูลรูปภาพ

GIF (Graphics interchange format) รูปภาพชนิดนี้สามารถแสดงค่าระดับสีได้ 256 สีเท่านั้น ใช้เนื้อที่ในการจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล 8 บิต ทำให้การบีบอัดข้อมูลในมาตรฐานนี้เหมาะสมสำหรับรูปภาพที่แสดงระดับสีที่แตกต่างกันไม่มาก

JPEG (Joint photographic expert group) การบีบอัดข้อมูลที่ใช้มาตรฐานนี้อาศัยหลักการของระบบการมองเห็นของมนุษย์มีขีดจำกัด ทำให้สามารถบีบอัดข้อมูลได้ในอัตราที่สูงมาก โดยการบีบอัดแบบนี้ข้อมูลบางส่วนจะหายไปและไม่สามารถกู้กลับคืนมาได้ ซึ่งคุณภาพที่ได้จะแปรผกผันกับอัตราส่วนการบีบอัดข้อมูล (Compression ratio)

TIFF (Tagged image file format) รูปภาพที่เก็บด้วยมาตรฐานนี้จะมีความยืดหยุ่นสูงสามารถเก็บในลักษณะของ Raw data หรือลักษณะที่ถูกบีบอัดได้ เช่น ภาพจากสแกนเนอร์ ภาพที่ออกแบบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

BMP (Bitmap image file format) เป็นไฟล์ข้อมูลรูปภาพที่ใช้ในงานระบบ Microsoft Windows ไม่มีการบีบอัด ทำให้ไฟล์มีขนาดใหญ่ และไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการสื่อสารผ่านระบบคอมพิวเตอร์

2.8.2 การแปลงภาพ (Image Processing)

การแปลงภาพดิจิทัลคือ กระบวนการที่กระทำอย่างใดอย่างหนึ่งกับภาพนำเข้า (Input image) เพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ (Output image) และมีลักษณะของภาพเป็นไปตามที่ต้องการ (สมเกียรติ อุตมหาราชกุล, 2550) กระบวนการกระทำกับภาพที่ใช้ในการแปลงภาพดิจิทัลสามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.8.2.1 กระบวนการกระทำกับภาพที่ใช้ในการประมวลผลภาพดิจิทัล

กระบวนการกระทำกับภาพเฉพาะจุด (Point processing)

กระบวนการกระทำกับภาพแบบนี้ ค่าระดับความเข้มเทาที่แสดงในแต่ละพิกเซลของภาพผลลัพธ์จะขึ้นกับค่าระดับความเข้มเทาของพิกเซลในภาพนำเข้าพิกเซลต่อพิกเซล ณ ตำแหน่งที่สมนัยกัน โดยที่ค่าเปลี่ยนแปลงของพิกเซลของภาพผลลัพธ์ไม่ได้ขึ้นกับค่าพิกเซลที่อยู่บริเวณใกล้เคียงของ

ภาพต้นแบบ การแปลงภาพแบบนี้ ได้แก่ การปรับค่าระดับความสว่างของภาพ (Brightness) การปรับค่าความแตกต่างระหว่างความสว่างกับความมืดของภาพ (Contrast) หรือการปรับค่าความเข้มของภาพด้วยการบวก ลบ คูณ และหาร ด้วยจำนวนค่าใดๆ กับภาพต้นแบบ หรือการกระทำ การทางตรรกศาสตร์ต่างๆ เป็นต้น

กระบวนการกระทำการกับภาพเฉพาะบริเวณ (Local processing)

สำหรับกระบวนการกระทำการกับภาพแบบนี้ค่าระดับความเข้มเทาของพิกเซลแต่ละจุดในภาพ ผลลัพธ์จะขึ้นอยู่กับค่าระดับความเข้มเทาของกลุ่มพิกเซลที่อยู่ในบริเวณข้างเคียงกัน (Neighborhood pixels) ของภาพต้นฉบับ ตัวอย่างของการแปลงภาพแบบนี้ ได้แก่ การกรอง สัญญาณในสเปเชียลโดเมน (Spatial filtering) หรือที่นิยมเรียกว่า การคอนโวลูชัน (Convolution)

กระบวนการกระทำการกับภาพทั้งหมด (Global processing)

กระบวนการกระทำการกับภาพแบบนี้ ค่าระดับความเข้มเทาแสดงในแต่ละตำแหน่งพิกเซลของ ภาพผลลัพธ์ (Output image) จะขึ้นอยู่กับค่าระดับความเข้มเทาของพิกเซลทั้งหมดของภาพ ต้นแบบ ลักษณะการกระทำภาพประเภทนี้ ได้แก่ การทำ Thresholding และการทำ Histogram equalization เป็นต้น

2.8.2.2 ขั้นตอนการแปลงภาพ (Image Processing)

สำหรับขั้นตอนการแปลงภาพขึ้นกับภาพต้นแบบและความต้องการจากภาพนั้นๆ โดยทั่วไปการ แปลงภาพเริ่มจาก การทำให้คุณภาพของภาพดีขึ้น (Filtering) การทำให้รูปเป็นรูปขาวดำ (Binarization) และการแยกรูปภาพ (Segmentation) (Aguilera และ Stanley, 1999)

การทำให้คุณภาพของภาพดีขึ้น (Filtering)

รูปภาพดิจิทัลที่ใช้งานจริง มักเป็นภาพต้นแบบที่อาจมีสัญญาณรบกวน (Noise) ปนอยู่ด้วย หรือ ภาพต้นแบบมีลักษณะเบลอ ไม่ชัดเจน จึงจำเป็นต้องมีวิธีในการแปลงภาพที่จะทำให้ คุณภาพของภาพต้นแบบดีขึ้น

การทำให้รูปเป็นรูปขาวดำ (Binarization)

รูปขาวดำสามารถทำได้โดยการแปลงข้อมูลภาพที่มีความเข้มหลายระดับ เช่น จากภาพแบบ ระดับสีเทา ที่มีระดับความเข้มแสง 256 ระดับ ให้เป็นภาพที่มีระดับความเข้มเพียง 2 ระดับ คือ 0 และ 1 ซึ่ง 0 หมายถึงจุดภาพที่มีสีดำ และ 1 หมายถึงจุดภาพที่มีสีขาว

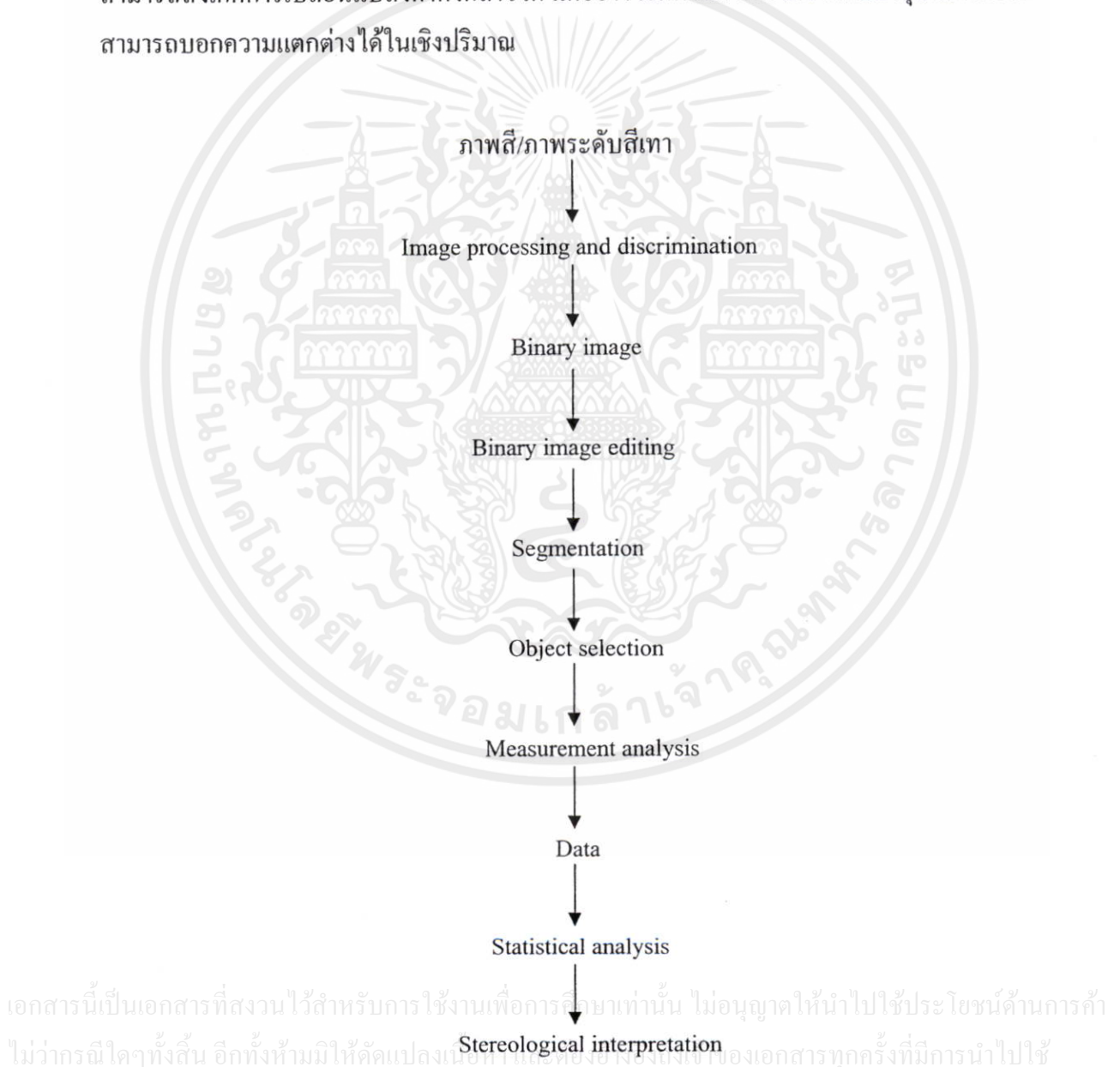
การเลือกภาพ (Segmentation)

สำหรับการเลือกภาพเป็นขั้นตอนที่มีการเลือกตำแหน่งของวัตถุที่สนใจในภาพตัวอย่าง ซึ่งขั้น ตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญของการวิเคราะห์ภาพ หลังจากทีรูปภาพผ่านกระบวนการนี้แล้ว สามารถลดจำนวนข้อมูลในรูปภาพที่ไม่จำเป็นในการวิเคราะห์หลัง สามารถจัดระเบียบข้อมูลใน รูปภาพได้ดีขึ้น และแสดงข้อมูลที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น ภาพที่ได้จะนำไปทำการวิเคราะห์ภาพต่อไป

2.8.3 การวิเคราะห์ภาพ (Analysis of Image)

สำหรับการวิเคราะห์ภาพมีวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของภาพ และข้อมูลที่ต้องการศึกษา ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ นำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพมาใช้เพื่อศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารระหว่างกระบวนการผลิต

Nieto และคณะ (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอปเปิ้ลในระหว่างการอบแห้งด้วยวิธีออสโมติก โดยสังเกตลักษณะการหดตัว ความเป็นรูพรุน ความหนาแน่น และโครงสร้างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Light microscope) และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope) จากผลการสังเกตพบว่าภาพที่ได้จากกล้องทั้งสองชนิดสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวได้ แต่อย่างไรก็ตามภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ในเชิงปริมาณ



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ (Aguilera and Stanley, 1999)

Dalen (2004) ได้ดัดแปลงเทคนิคการวิเคราะห์ภาพแบบแบนแฟลตเบด (Flatbed scanning, FBS) ในการหาการกระจายและร้อยละการแตกหักของเมล็ดข้าว ภาพตัวอย่างได้จากการแบนแฟลตเบด จากนั้นวิเคราะห์ภาพโดยใช้โปรแกรม Section corporation และแบ่งกลุ่มของเมล็ดข้าว รวมถึงวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Matlab version 6.5 นักวิจัยได้เปรียบเทียบการคำนวณร้อยละการแตกหักของเมล็ดข้าวโดยวิธีการวิเคราะห์ภาพนี้กับการนับโดยตรง ผลการวิเคราะห์พบว่าวิธีการวิเคราะห์ภาพมีความรวดเร็วและแม่นยำ คือสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างหนึ่งตัวอย่างได้เร็วกว่าวิธีการนับโดยตรงถึง 10 เท่า

Briones และ Aguilera (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของซ็อกโกแลตโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์ภาพ จากการวิเคราะห์ภาพสามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงของผิวซ็อกโกแลตในระหว่างการเกิดการรวมตัวของผิว (Blooming) และสามารถสังเกตเห็นลักษณะของเม็ดไขมันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 16 และ 28 องศาเซลเซียส นาน 52 วัน โดยตัวอย่างถูกถ่ายภาพในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิดังกล่าวทุก ๆ 2 วัน เก็บภาพขนาด 1600×1200 พิกเซล ในรูป JPG จากนั้นนำภาพไปวิเคราะห์โดยใช้ Matlab version 6.5 วิเคราะห์สีโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และวัดสีในระบบ Hunter Lab system ผลการทดลองพบว่าวิธีการวิเคราะห์ภาพโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์ภาพนี้ สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงของสีซ็อกโกแลต ในระหว่างการเก็บรักษาได้ และสามารถนำผลการทดลองไปเป็นมาตรฐานในการสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสีได้

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ภาพเพียงอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง หรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในเชิงปริมาณได้ จึงมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพควบคู่กับเทคนิคแฟรคทัล มาใช้ในการวิเคราะห์ค่าเชิงปริมาณ โดยเทคนิคแฟรคทัลสามารถใช้ในการอธิบายลักษณะรูปทรงของวัตถุที่มีความซับซ้อน เช่น การใช้อธิบายรอยหยัก ขรุขระของวัสดุ

Wright และ Maragoni (2003) นำเทคนิคการวิเคราะห์แฟรคทัลมาศึกษาลักษณะโครงสร้างของไขมันนมที่ผ่านกระบวนการความร้อน โดยศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อลักษณะการเกิดผลึกคริสตัล วิเคราะห์ค่าแฟรคทัลโดยใช้เทคนิคการนับกล่อง (Box counting method) ถ่ายภาพจากกล้องจุลทรรศน์ชนิด Polarize ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการเกิดผลึกคริสตัล โดยการใช้อุณหภูมิต่ำ (5 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้เกิดนิวคลิเอชันขนาดเล็ก ในขณะที่การใช้อุณหภูมิสูงขึ้น (20 องศาเซลเซียส) ตัวอย่างมีจำนวนนิวคลิเอชันเริ่มต้นน้อย แต่มีขนาดใหญ่ สำหรับการวิเคราะห์ค่าแฟรคทัลพบว่าแฟรคทัลมีค่าอยู่ในช่วง 1.87 ถึง 1.98 ในตัวอย่างที่ใช้อุณหภูมิในการเกิดผลึกคริสตัลระหว่าง 5 ถึง 22.5 องศาเซลเซียส

Kerdpiboon และคณะ (2007) นำเทคนิคการวิเคราะห์แฟรคทัลมาใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพของอาหาร (แครอท และมันฝรั่ง) ระหว่างการอบแห้งแบบต่างๆ ได้แก่ การอบแห้งแบบอากาศร้อน แบบไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่สภาวะความดันต่ำ และการอบแห้งแบบแช่

เยือกแข็ง โดยถ่ายภาพตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์ไม่วิเคราะห์หาค่าแฟรคทัลด้วยเทคนิคการนับกล่อง (Box counting method) และแสดงผลการเปลี่ยนแปลงภายนอกในรูปของร้อยละการหดตัวและความสามารถในการดูดน้ำกลับของตัวอย่าง พบว่าร้อยละการหดตัวและความสามารถในการดูดก๊วตน้ำกลับมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของตัวอย่าง ซึ่งแสดงผลในรูปของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าแฟรคทัล และพบว่าการเปลี่ยนแปลงเชิงกายภาพในระหว่างการอบแห้งแบ่งได้เป็นสองช่วง ได้แก่ ช่วงที่ตัวอย่างมีการผิดรูปอย่างสม่ำเสมอ และไม่สม่ำเสมอ ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งต่างชนิดกันมีการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างที่ต่างกัน ค่าแฟรคทัลมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อผ่านการอบแห้งที่นานขึ้นทั้งแครอท และมันฝรั่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลลักษณะเฉพาะของโครงสร้างและผิวหน้ากึ่งและกึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส ต่อการเหลือรอดของเชื้อ *Salmonella* Anatum โดยมีรายละเอียดวัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลองดังนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา

Salmonella Anatum ได้จากศูนย์เก็บรักษาและรวบรวมสายพันธุ์จุลินทรีย์ ทางกรมแพทย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

3.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BA4100S ประเทศเยอรมัน
2. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB104 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
3. ตู้อบลมร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น ULM 600/II ประเทศเยอรมัน
4. ตู้บ่ม ยี่ห้อ Memmert รุ่น B 30 ประเทศเยอรมัน
5. หม้อนึ่งความดัน ยี่ห้อ Hirayama รุ่น HA 240-MN บริษัท Hirayama ประเทศญี่ปุ่น
6. เครื่องผสม (Vortex mixer) ยี่ห้อ Genie บริษัท Scientific Industries Inc ประเทศสหรัฐอเมริกา
7. เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ New Brunswick Scientific รุ่น Innova 4230 ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar flow) รุ่น BS24 9BP บริษัท Bio Safety ประจักษ์
9. เครื่องผสมอาหารแบบปลอดเชื้อ (Stomacher) ยี่ห้อ Seward รุ่น BA 7021 ประเทศอังกฤษ
10. เทอร์โมมิเตอร์ชนิดตัวเลข ยี่ห้อ Testo รุ่น 962 ประเทศสหรัฐอเมริกา
11. กัด้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ Jelo รุ่น JSM-540LV ประเทศญี่ปุ่น
12. โถดูดความชื้น (Desiccator)
13. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี ยี่ห้อ Novasina รุ่น TH2/RTD33 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เครื่องวัดอุณหภูมิใช้แสงอินฟราเรด (IR Thermometer) ยี่ห้อ Fluke รุ่น 62 Mini ประเทศเยอรมัน

3.1.3 อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. Potato dextrose agar (PDA) ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน
2. Tryptic Soy Agar (TSA) ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน
3. Tryptic Soy Broth (TSB) ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน
4. Buffer Peptone Water ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน
5. Xylose Lysine Desoxycholate (XLD) ยี่ห้อ Merck ประเทศเยอรมัน

3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.2.1 การเก็บรักษา *Salmonella Anatum*

แบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ *Salmonella Anatum* (จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข) ทำการถ่ายเชื้อ *S. Anatum* ด้วยเทคนิค Streak plate ลงบนหลอดแข็งในอาหารเลี้ยงเชื้อ TSA บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็น Stock culture และทำการถ่ายเชื้อเดือนละครั้งระหว่างการทดลอง

3.2.2 การเตรียม *Salmonella Anatum*

การเตรียม *S. Anatum* สำหรับการทดลองแต่ละครั้ง นำหลอด Stock culture วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาทีถึง 1 ชั่วโมง ถ่ายเชื้อ 1 ลูป (loop) จากหลอด Stock culture ลงในอาหาร TSB 100 มิลลิลิตรที่บรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เขย่าด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 ชั่วโมง (ซึ่งเป็นเซลล์ที่อยู่ในระยะ Stationary phase) แล้วทำการเจือจางด้วยสารละลายเปปโตน (0.1%) ในอัตราส่วน 1 ต่อ 100 มิลลิลิตร ได้กล้าเชื้อที่มีจำนวน *Salmonella* ประมาณ 10^7 โคโลนีต่อมิลลิลิตร

3.2.3 การเตรียมกึ่งตัวอย่าง

ตัวอย่างกึ่งขาวขนาด 80 ตัวต่อกิโลกรัม หักหัว ปอกเปลือก ล้างด้วยน้ำสะอาด นำไปต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น วิธีการเตรียมดัดแปลงจาก มัลลอร์ตัน นาน่วม (2548) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ นำกึ่ง

(จากข้อ 3.2.3) แห้ในกล้าเชื้อ (จากข้อ 3.2.2) โดยให้มีอัตราส่วนกึ่งต่อกล้าเชื้อเป็น 1 ต่อ 20 (กรัมต่อมิลลิลิตร) พร้อมทั้งเขย่าที่ 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาที เทกล้าเชื้อส่วนเกินทิ้ง วางกึ่งบนผ้าขาวบางและผึ่งให้แห้งในตู้ปลอดเชื้อเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำกึ่งใส่

ถุงพลาสติกปิดลวดเชื้อเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ *S. Anatum* เกาะติดที่ผิวกุ้ง ซึ่งมีจำนวนเซลล์สุดท้ายประมาณ 10^6 โคโลนีต่อกรัม

3.2.5 การอบแห้งกุ้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการอบแห้งกุ้ง คือ ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert รุ่น ULM 600/II ประเทศเยอรมัน ความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที ก่อนอบแห้งทุกครั้งต้องรอให้อุณหภูมิภายในตู้ถึงจุดที่ตั้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ในระหว่างการอบแห้งจะวางกุ้งบนถาดที่มีขนาด 30×40 ตารางเซนติเมตร จำนวน 3 ถาด อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

3.2.6 การวิเคราะห์จุลินทรีย์

วิเคราะห์จำนวนแบคทีเรียทั้งหมดด้วยวิธี Spread plate ด้วยอาหาร TSA โดยการเกลี่ยตัวอย่างที่เจือจางแล้วบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อที่เป็นอาหารร่วนแข็งตัวให้กระจายทั่วจานเพาะเชื้อ นำจานเพาะเชื้อดังกล่าวไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นับจำนวนโคโลนีและบันทึกผล

3.2.7 การศึกษาค่าการต้านทานความร้อนของ *S. Anatum* ในระหว่างการอบแห้ง

เตรียมกุ้งเหมือนข้อ 3.2.4 แล้วทำการผึ่งบนผ้าขาวบางในตู้ปลอดเชื้อเพื่อให้ น้ำส่วนเกินระเหยออกไปเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส แล้วทำการสุ่มตัวอย่างออกมาตรวจนับจำนวน *S. Anatum* ที่รอดชีวิตบนกุ้งอบแห้ง ด้วยเทคนิค Spread plate บนอาหาร TSA โดยนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้นและบันทึกผล และทำการทดลองสภาวะละ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Weibull (Peleg, 2000) มาใช้ในการทำนายการลดลงของจำนวนเซลล์แบคทีเรีย ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$\log S(t) = -bt^n \quad (3.1)$$

โดยที่ $S(t)$ คือ จำนวนจุลินทรีย์ที่เหลือรอดที่แต่ละเวลา (N/N_0)

b คือ Scale factor หมายถึง ค่าคงที่ที่เป็นคุณสมบัติของจุลินทรีย์

n คือ Shape factor หมายถึง ค่าคงที่ที่แสดงรูปร่างของกราฟ ถ้า n มากกว่า 1 ลักษณะ ของกราฟที่ได้จะเป็นกราฟโค้งคว่ำ ถ้า n น้อยกว่า 1 จะได้

เส้นกราฟเป็นเส้นโค้งหงายและถ้า n เท่ากับ 1 จะได้กราฟเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 การวัดอุณหภูมิผิวหนัง

วัดอุณหภูมิผิวหนังของตัวอย่างที่เวลาต่างๆ ของแต่ละอุณหภูมิอบแห้ง (50-70 องศาเซลเซียส) โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบใช้แสงอินฟราเรด (IR thermometer) ยี่ห้อ Fluke รุ่น 62 Mini ประเทศเยอรมัน ทำการวัดอุณหภูมิผิวหนังของตัวอย่าง 5 จุด จำนวน 3 ซ้ำ เพื่อเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของผิวหนังที่เวลาต่างๆ

3.2.9 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของกุ้งตามวิธีของ AOAC (2000) ทำโดยชั่งน้ำหนักอะลูมิเนียมพร้อมฝา (Moisture can) ซึ่งอบที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ หลังจากนั้นปล่อยให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccators) แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก และนำตัวอย่างที่เก็บที่เวลาต่างๆ กัน ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ชั่งไว้แล้ว นำไปอบที่อุณหภูมิ 105±3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเปิดฝาขณะอบ จากนั้นนำออกจากตู้อบและทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและนำไปอบจนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณปริมาณความชื้นและอัตราส่วนความชื้น จากสมการ 3.2 และ 3.3

$$M_d = (w - d) / d \quad (3.2)$$

โดยที่ M_d คือ ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง)
 w คือ มวลของวัสดุ (kg)
 d คือ มวลของวัสดุแห้ง ที่ไม่มีความชื้น (kg)

$$\text{อัตราส่วนความชื้น} = \frac{M_o - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \quad (3.3)$$

โดยที่ M_o คือ ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) ที่เวลาการอบแห้งใดๆ
 M_i คือ ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) เริ่มต้น
 M_{eq} คือ ปริมาณความชื้น (ฐานแห้ง) สมดุล

3.2.10 การวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี

วัดค่าวอเตอร์แอกติวิตีของตัวอย่างที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี ยี่ห้อ Novasina รุ่น TH2/RTD33 ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ก่อนทำการวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตีของตัวอย่าง ต้องทำการปรับเครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตีก่อนทำการวัดทุกครั้ง โดยใช้ Bariumchlorid-Dihydrat ($\text{BaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

3.2.11 ศึกษาการยึดเกาะของ *S. Anatum* บนผิวหน้ากุ้ง

เตรียมกุ้งเหมือนข้อ 3.2.4 แล้วทำการฝังบนผ้าขาวบางในตู้ปลอดเชื้อเพื่อให้มีส่วนเกินระเหยออกไปเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส แล้วทำการสุ่มตัวอย่างออกมาศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) (ยี่ห้อ Jelo รุ่น JSM-540LV ประเทศญี่ปุ่น) การเตรียมตัวอย่างมาถ่ายภาพด้วยกล้อง SEM มีดังนี้

ตัดตัวอย่างให้มีขนาดไม่เกิน 5 ตารางมิลลิเมตร และหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร นำตัวอย่างไปแช่ใน 2.5% Glutaraldehyde ใน 0.1 M Phosphate buffer pH 7.2 และเก็บในตู้เย็น (4-8 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปล้างด้วย Phosphate buffer 2 ครั้ง ครั้งละ 10 นาที ตามด้วยน้ำกลั่น 1 ครั้ง หลังจากนั้นนำไป Dehydrate ด้วย Ethanol ที่ความเข้มข้น 30%, 50%, 70%, 90% และ 100% ตามลำดับ ขั้นตอนละ 10 นาที จำนวน 3 ครั้ง ทำตัวอย่างให้แห้งด้วยเครื่อง Critical point dryer แล้วจึงติดตัวอย่างบนแท่นวางตัวอย่าง (stub) ด้วยเทปกาวสองหน้าหรือกาว เพื่อนำตัวอย่างไปฉาบทองด้วยเครื่อง Ion sputter ซึ่งจะได้ตัวอย่างที่จะนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยใช้กำลังขยายระดับต่าง ๆ เพื่อศึกษาการยึดเกาะของ *S. Anatum* บนผิวหน้ากุ้งและกุ้งอบแห้ง



สร้างภาพ Binary ด้วยการใช้เทคนิคการทำ Threshold

$$\text{Threshold} = [0.35-0.60]; \text{Threshold} \times 256 = \text{Target value}$$

ค่าความเข้มเทา > Target value ได้รูปภาพที่มีสีขาว

ค่าความเข้มเทา ≤ Target value ได้รูปภาพที่มีสีดำ

นับจุดภาพสีขาว แสดงถึงความขรุขระ หรือการหดรัดตัวของผิวกุ้ง (Roughness)

$$\text{Roughness } (R) = \frac{F_t - F_o}{F_o}$$

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ (Image Processing)

3.2.12 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง

เตรียมกึ่งเหมือนข้อ 3.2.11 จากนั้นนำตัวอย่างไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(SEM) ที่กำลังขยายเท่ากับ 350 เท่า

ภาพ (Micrograph) ที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้อง SEM จะถูกบันทึกเป็นไฟล์รูปภาพแบบ BMP (Bitmap image file format) ขนาด 0.35×0.35 มิลลิเมตร จากนั้นนำภาพดังกล่าวมาวิเคราะห์ภาพด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (Image analysis technique) โดยใช้โปรแกรม Matlab (Matlab™ Software version 6.5) ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งที่อุณหภูมิต่างๆ

การประมวลผลภาพ (รูปที่ 3.1) ทำได้โดยนำภาพต้นแบบจากการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ขนาด 0.35×0.35 มิลลิเมตร มาปรับให้ภาพมีขนาด 520×520 พิกเซล หรือ 0.23×0.23 มิลลิเมตรของภาพจริง แล้วแปลงสีภาพจากภาพแบบดัชนี (Index image) เป็นภาพแบบระดับสีเทา (Gray scale image) เพื่อต้องการทำให้ความเข้มของเมสีในภาพมีระดับเดียวกัน (Intensity transformation) จะได้ภาพระดับสีเทามีค่าสีตั้งแต่ 0-255 ก่อนนำมากรองสัญญาณรบกวน ด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian filter) เพื่อขจัดสัญญาณรบกวนและเพิ่มความต่อเนื่องของข้อมูล จากนั้นนำภาพที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนมาทำการวิเคราะห์หาค่าด้วยการสร้างภาพเป็นภาพแบบขาวดำ (Binary) โดยใช้เทคนิคการทำ Threshold ขั้นตอนนี้ทำเพื่อแยกสิ่งที่ต้องการออกจากพื้นหลังของภาพ (Background) ภาพที่ได้จะถูกปรับให้เป็นภาพที่มีระดับความเข้มเพียง 2 ระดับ คือ 0 และ 1 โดย 0 หมายถึงจุดภาพที่เป็นสีดำ และ 1 หมายถึงจุดภาพที่เป็นสีขาว ซึ่งการกำหนดค่าขาวดำดังกล่าวจะกระทำโดยการเปรียบเทียบกันระหว่างจุดภาพเริ่มต้น (Gray scale) กับค่า Threshold โดยค่า Threshold ที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ คือ 0.35-0.60 ค่าขาวดำ (Binary value) ที่ได้จะมีค่าได้ตั้งแต่ 0-255 ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยนำค่า Threshold ที่เหมาะสมคูณกับจำนวนค่าสีเทาทั้งหมด (0-255) เท่ากับ 256 ค่า เรียกค่าที่ได้นี้ว่า Target value แล้วจึงนำค่า Target value มาเปรียบเทียบกับค่าสีเทาในแต่ละ Pixel เพื่อให้ภาพที่ได้เป็นภาพแบบขาวดำที่มีค่าสีเท่ากับ 1 และ 0 กล่าวคือหากค่าของ Pixel มีค่าน้อยกว่าค่า Target value ให้ Pixel มีค่าเท่ากับ 0 และหากค่าของ Pixel มากกว่าค่า Target value ให้ Pixel นั้นมีค่าเป็น 1 จากนั้นทำการนับจุดสีขาว (มีค่าเท่ากับ 1) ที่เกิดขึ้น ซึ่งแสดงถึงค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง (Roughness factor) และสามารถคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งในระหว่างการอบแห้ง จากสมการ 3.4

$$\text{Roughness } (R) = \frac{F_t - F_o}{F_o} \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย F_o คือ จำนวนครั้งที่พบค่า Binary เท่ากับ 1 ที่เวลาเริ่มต้น
 F_t คือ จำนวนครั้งที่พบค่า Binary เท่ากับ 1 ที่เวลาอบแห้งใดๆ

3.2.13 การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (General full factorial design) โดยมี 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง โดยที่ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ค่าการต้านทานความร้อนของ *S. Anatum* และค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง (Roughness) เป็นตัวแปรผลตอบ (Response) ใช้โปรแกรม Minitab เวอร์ชัน 14 สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำสำหรับการหาปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี และค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง (Roughness) และทำการทดลอง 3 ซ้ำสำหรับหาค่าการต้านทานความร้อนของ *S. Anatum* และวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองที่แสดงอยู่ในรูปค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

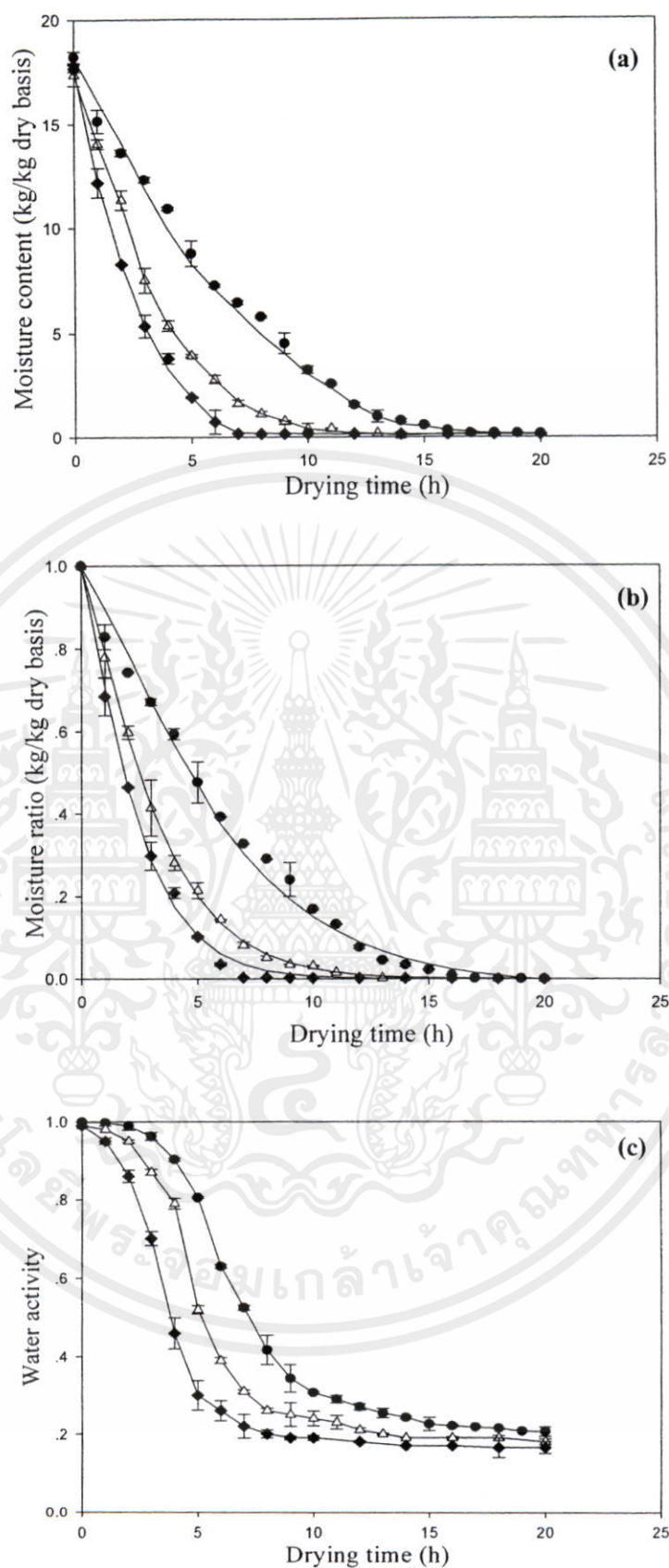
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของลักษณะผิวหน้ากึ่งต่อการเหลือรอดของจุลินทรีย์ โดยเลือกศึกษาใน *Salmonella Anatum* เนื่องจากพบการระบาดในประเทศไทย Bangtrakulnonth และคณะ (2004) และใช้กึ่งเป็นตัวอย่าง เนื่องจากผิวหน้ากึ่งมีลักษณะเฉพาะ เช่น ขรุขระ และรอย่น ซึ่งง่ายต่อการยึดเกาะของจุลินทรีย์ และอุณหภูมิที่ใช้สำหรับอบแห้งคือ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส

การทดลองในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกเป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้ง (50-70 องศาเซลเซียส) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Water activity) และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผิวหน้ากึ่ง จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) เพื่อนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวด้วยเทคนิคการประมวลผล ภาพ (Image processing technique) และส่วนที่สองเป็นการศึกษาการเหลือรอดของ *S. Anatum* ในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส

4.1 ผลของอุณหภูมิมอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี และอุณหภูมิผิวหน้าของกึ่ง

รูปที่ 4.1(a), 4.1 (b) และ 4.1(c) แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตีของกึ่งที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่ากึ่งมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 17.60 ± 0.94 กิโลกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักฐานแห้ง (หรือ 0.94 ± 0.04 กิโลกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักฐานเปียก) ตามลำดับ และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตี เริ่มต้นประมาณ 0.98-0.99 เมื่ออบแห้งจนถึงปริมาณความชื้นคงที่หรือความชื้นสมดุล พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส กึ่งมีค่าความชื้นสมดุลเท่ากับ 0.132 ± 0.012 , 0.126 ± 0.019 และ 0.108 ± 0.039 กิโลกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักฐานแห้ง ตามลำดับ และมีค่าวอเตอร์แอกติวิตีประมาณ 0.19-0.25 จากผลดังกล่าวพบว่าค่าปริมาณความชื้นของกึ่งลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 5 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง หลังจากนั้นปริมาณความชื้นค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ และคงที่ในที่สุด และพบว่าที่อุณหภูมิมอบแห้งที่สูงขึ้นจะมีอัตราการแห้งเร็วขึ้น

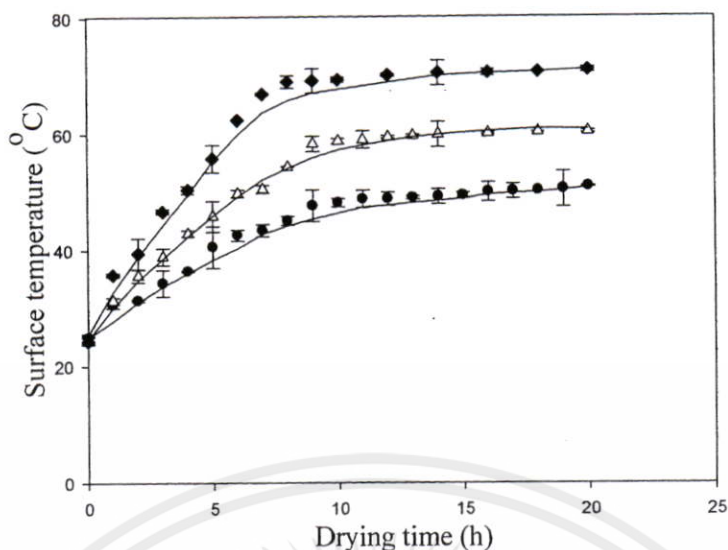
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเป็นอื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น (a), อัตราส่วนความชื้น (b), และค่าแอกทีวี่แอกทีวี่

(c) ของกุ้งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 50(●), 60(Δ) และ 70(◆) องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวหน้ากุ้งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 50(●), 60(△) และ 70(◆) องศาเซลเซียส

สำหรับอุณหภูมิผิวหน้ากุ้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง หลังจากนั้นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นช้าๆ จนเข้าสู่อุณหภูมิที่ทำการอบแห้ง คือ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

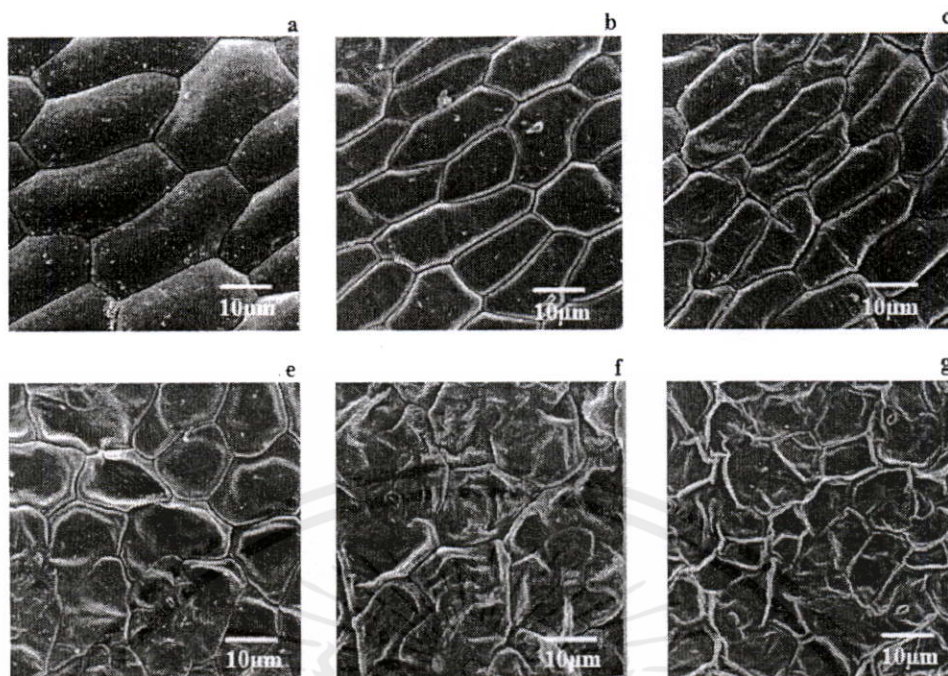
จากผลการทดลองข้างต้นพบว่าการลดลงของปริมาณความชื้นของตัวอย่างเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการอบแห้ง เนื่องจากช่วงแรกของการอบแห้งมีความแตกต่างของปริมาณความชื้นภายในตัวอย่างมีปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากภายในขึ้นตัวอย่างไปสู่ผิวและบรรยากาศได้รวดเร็ว น้ำที่ระเหยในช่วงนี้เป็นน้ำในชั้นตัวอย่างที่เกาะกันอย่างหลวม ๆ รวมถึงน้ำส่วนเกินที่เกาะอยู่ที่ผิวหน้าของกุ้งทำให้ระเหยออกไปได้ง่าย หลังจากนั้นปริมาณความชื้นจะลดลงอย่างช้า ๆ และคงที่ในที่สุด เนื่องจากความชื้นที่เหลือเป็นความชื้นสมดุลของกุ้งที่สภาวะการอบแห้งนั้น ๆ ที่ไม่สามารถจะกำจัดออกไปให้หมดได้ เส้นกราฟจึงคงที่ในที่สุด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้จะสอดคล้องกับค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของกุ้งระหว่างอบแห้งด้วย เมื่อเปรียบเทียบการลดลงของปริมาณความชื้นและค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของกุ้งที่สภาวะอบแห้งต่างๆ พบว่าเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นอัตราเร็วในการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยกุ้งที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งจนถึงสภาวะสมดุลที่ 16, 12 และ 7 ชั่วโมงตามลำดับ และจากผลทางสถิติพบว่าอุณหภูมิและเวลาในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ และอุณหภูมิผิวหน้าของกุ้งอย่างมีนัยสำคัญ

4.2 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผิวหน้ากึ่ง

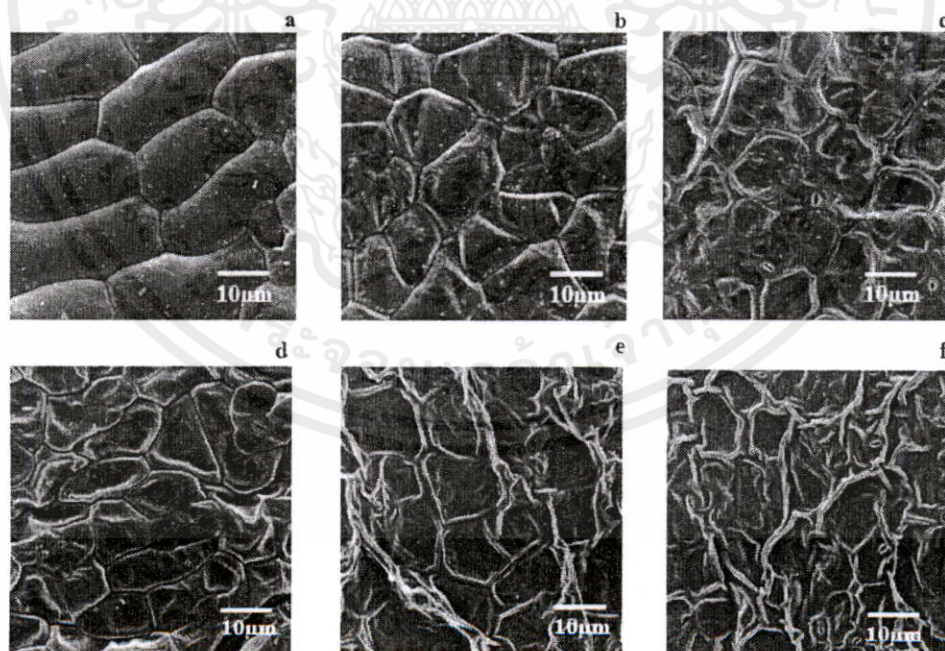
รูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 แสดงภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 350 เท่า ของผิวหน้ากึ่งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยจับภาพตัวอย่างขนาด 520×520 พิกเซล พบว่าลักษณะการหดตัวของตัวอย่างเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออบแห้งเป็นเวลานานขึ้น โดยลักษณะผิวหน้ากึ่งก่อนอบมีความเรียบเมื่อเทียบกับลักษณะผิวหน้ากึ่งที่อบแห้งในช่วงเวลาอื่น หลังจากอบแห้งนานขึ้นลักษณะผิวหน้ากึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเซลล์กึ่งเกิดการหดตัว เนื่องจากน้ำภายในเซลล์กึ่งระเหยออกทำให้สูญเสียความสมบูรณ์ของเซลล์กึ่ง และอบแห้งนานมากขึ้นจะเห็นการหดตัวของเซลล์กึ่งได้ชัดเจนขึ้น สำหรับกึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกับที่ 50 องศาเซลเซียส โดยตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงกว่ามีอัตราการหดตัวมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งส่งผลโดยตรงต่อลักษณะการหดตัวของผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการทดลองสังเกตได้ว่าช่วงแรกของการอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผิวหน้า (การหดตัว) ของตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ จนคงที่เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดความแตกต่างของความชื้น ณ จุดต่างๆ ภายในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น และทำให้เกิดแรงเครียดภายใน (Internal stress) มากขึ้น ตัวอย่างจึงมีการหดตัวเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ Devahastin และคณะ (2004)

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ ณ เวลาเดียวกัน พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีการหดตัวน้อยกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า (60 และ 70 องศาเซลเซียส) (รูปที่ 4.6)

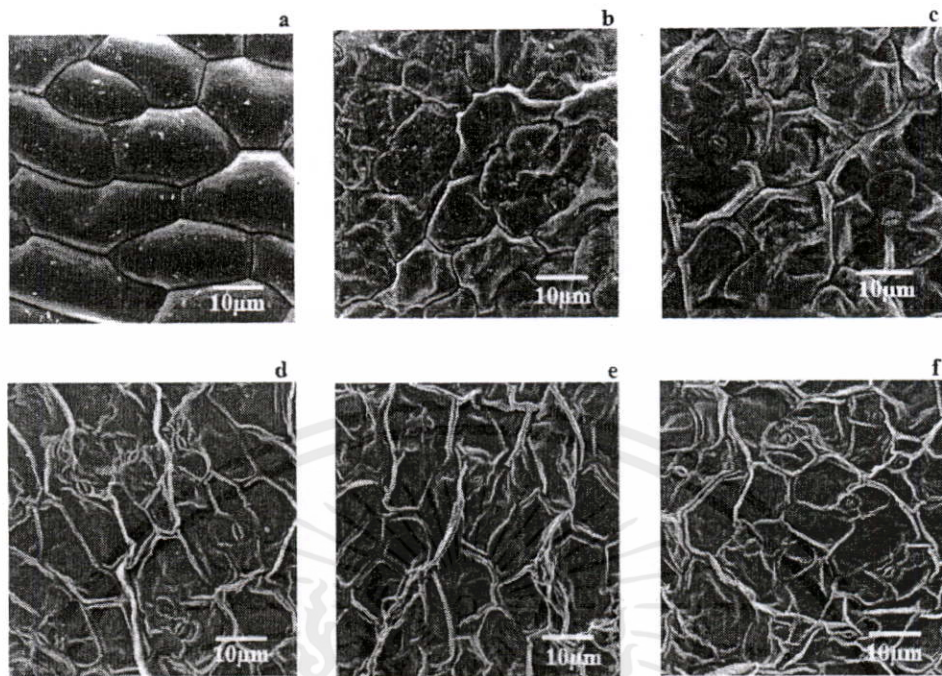
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



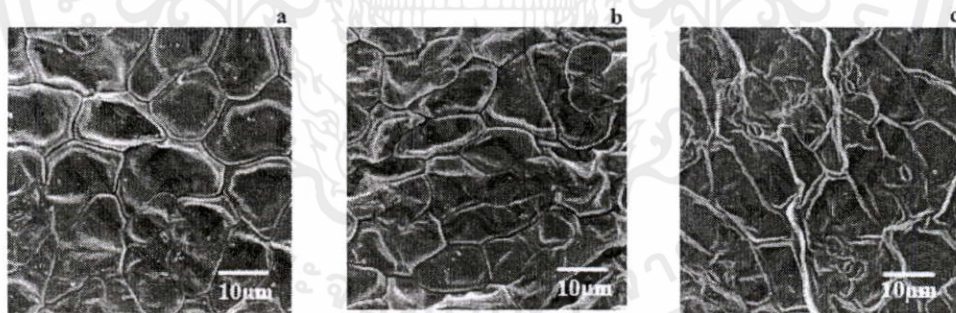
รูปที่ 4.3 ภาพ Micrograph (กำลังขยาย 350 เท่า) แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา (a) 0, (b) 4, (c) 8, (d) 12, (e) 16 และ (f) 20 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณี **รูปที่ 4.4** ภาพ Micrograph (กำลังขยาย 350 เท่า) แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่ง
ระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา (a) 0, (b) 4, (c) 8, (d) 12, (e) 16 และ
(f) 20 ชั่วโมง

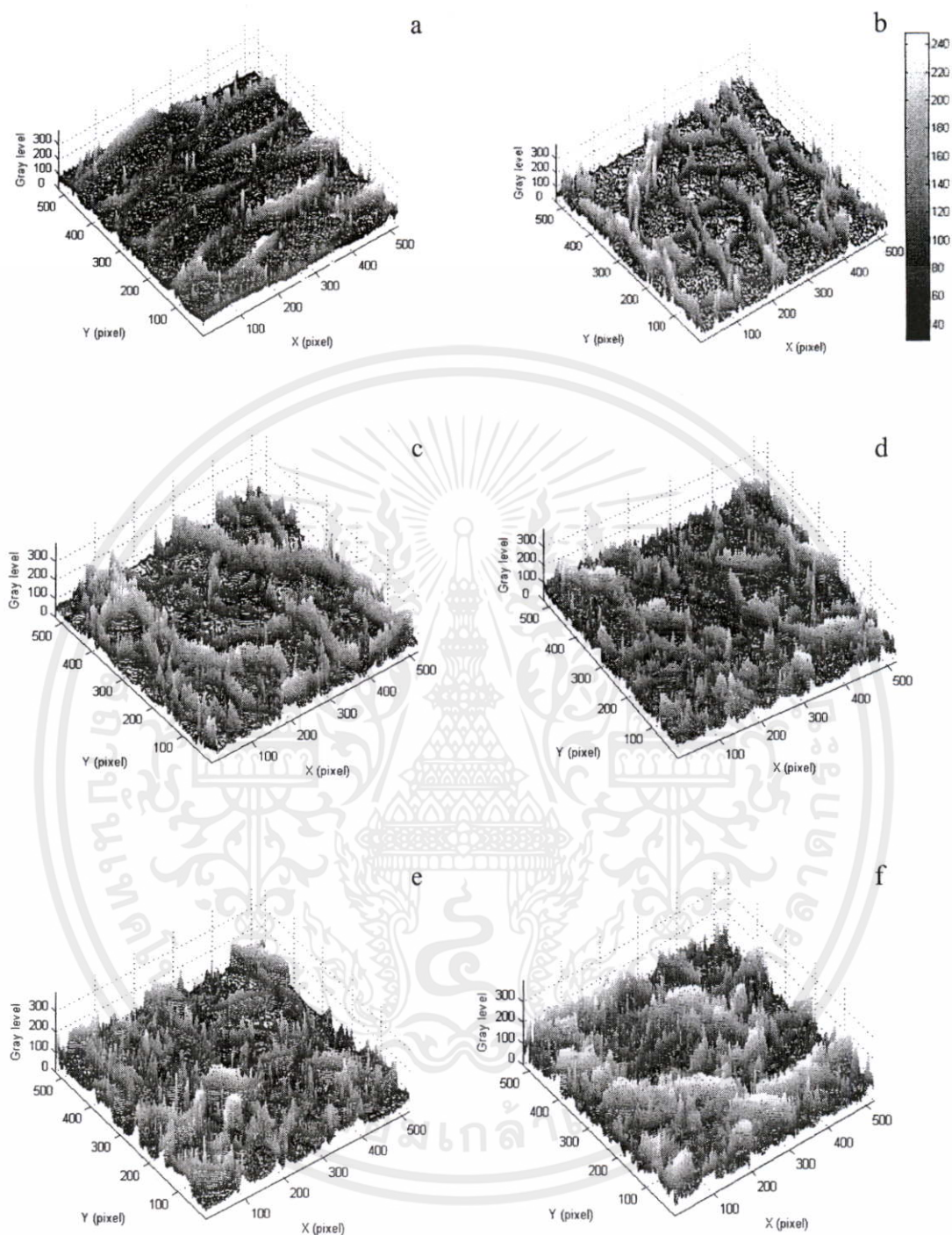


รูปที่ 4.5 ภาพ Micrograph (กำลังขยาย 350 เท่า) แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา (a) 0, (b) 4, (c) 8, (d) 12, (e) 16 และ (f) 20 ชั่วโมง



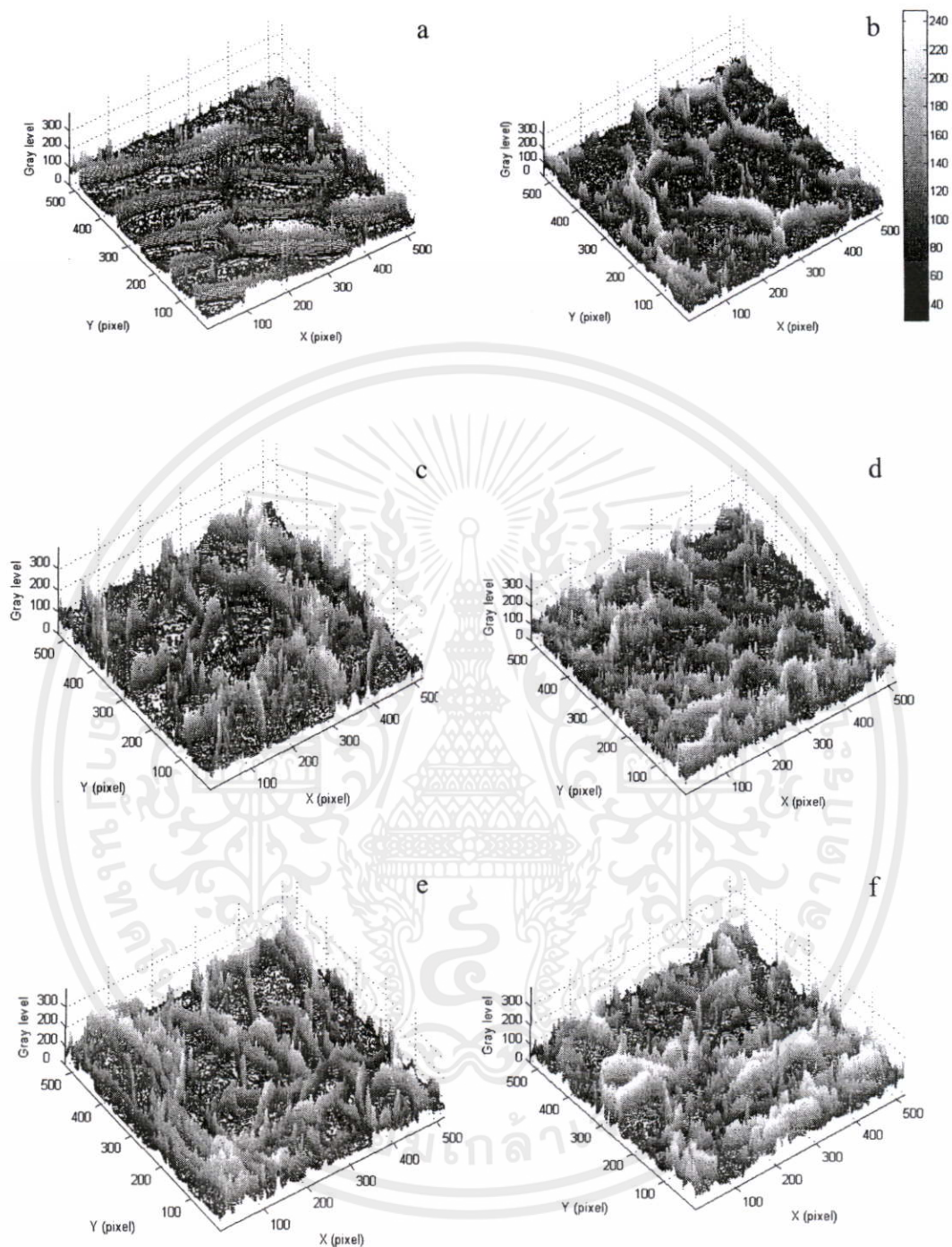
รูปที่ 4.6 ภาพ Micrograph (กำลังขยาย 350 เท่า) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ (1) 50, (2) 60 และ (3) 70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



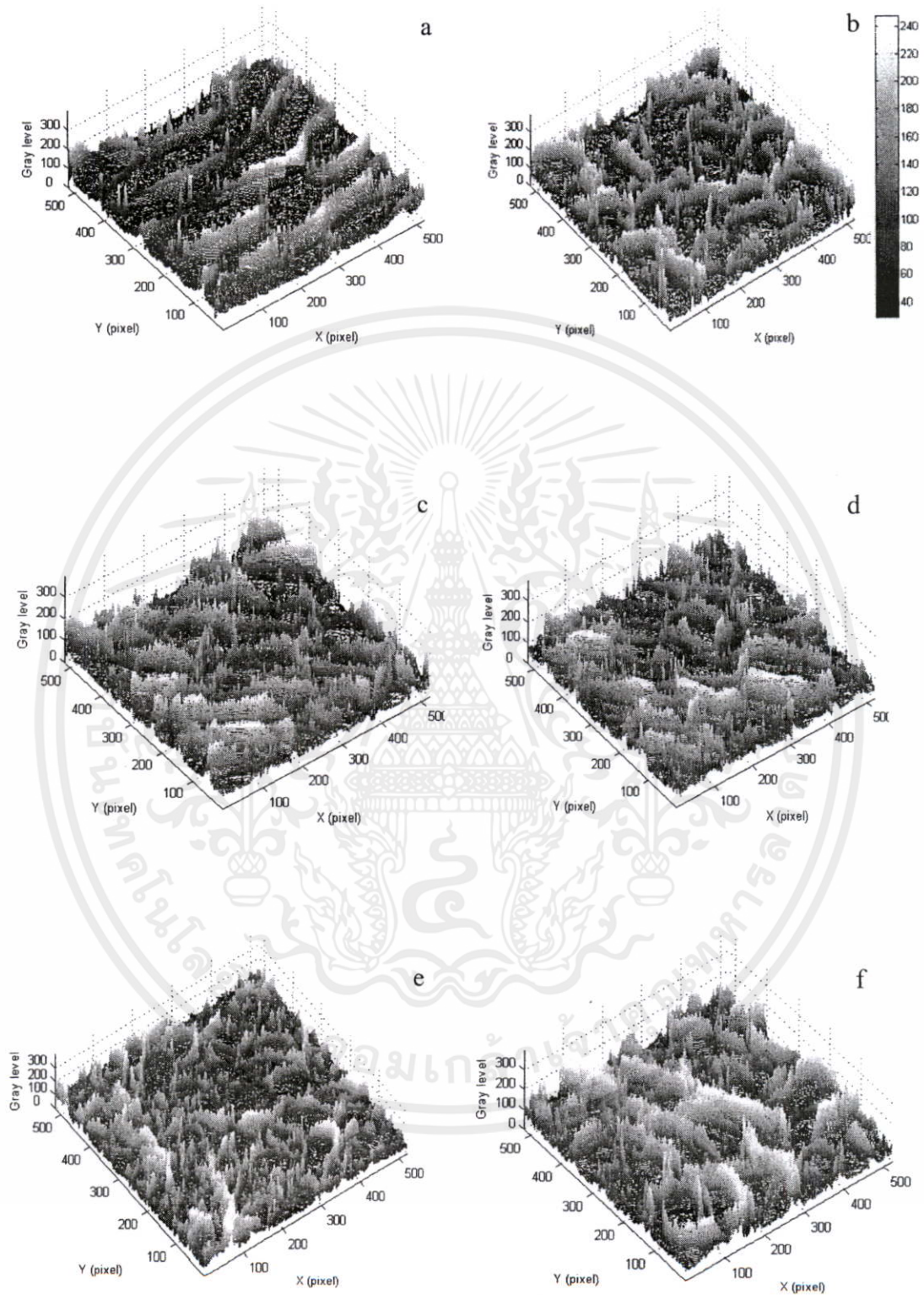
รูปที่ 4.7 Intensity map แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากิ่งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

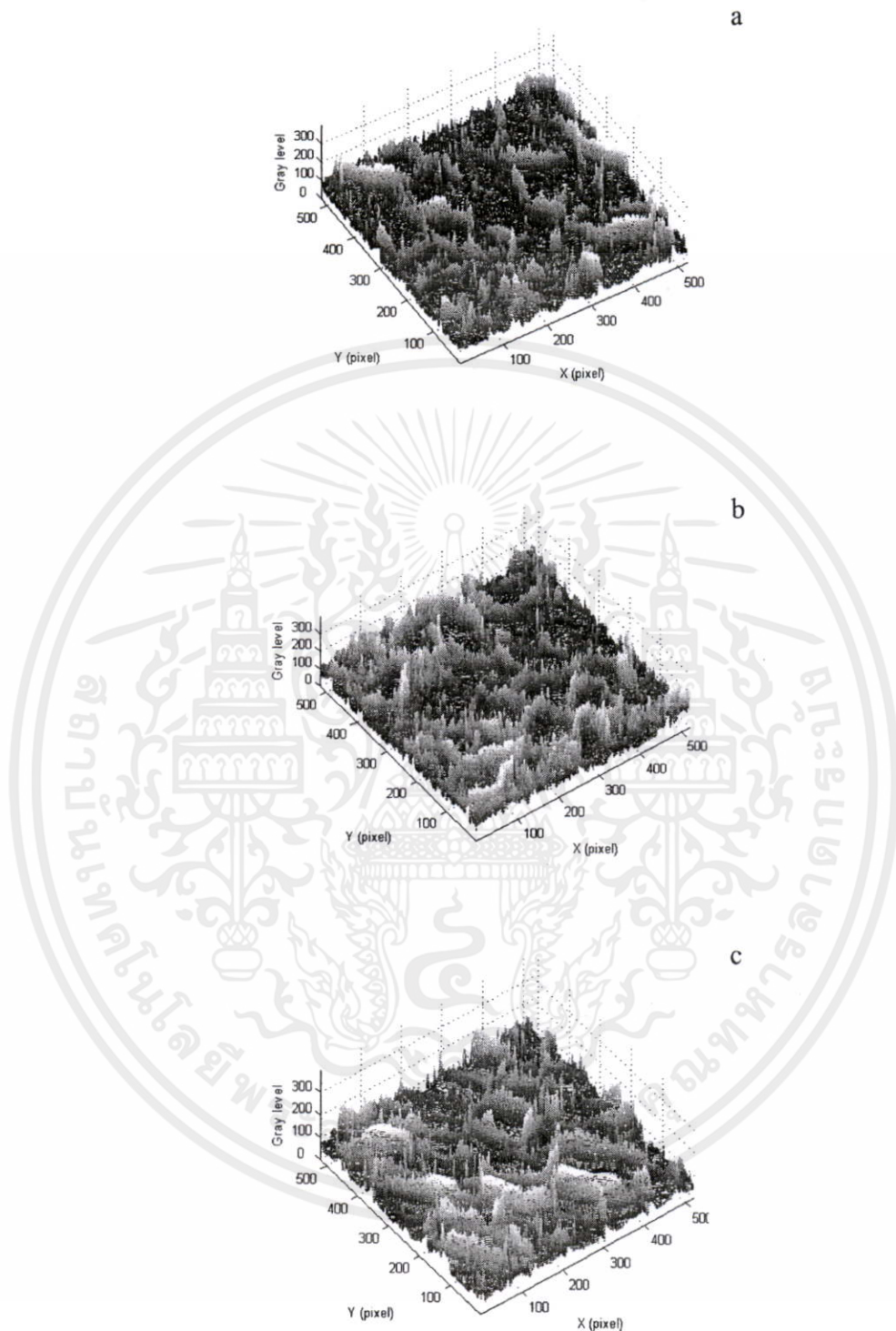


รูปที่ 4.8 Intensity map แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากิ่งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา (a) 0, (b) 4, (c) 8, (d) 12, (e) 16 และ (f) 20 ชั่วโมง

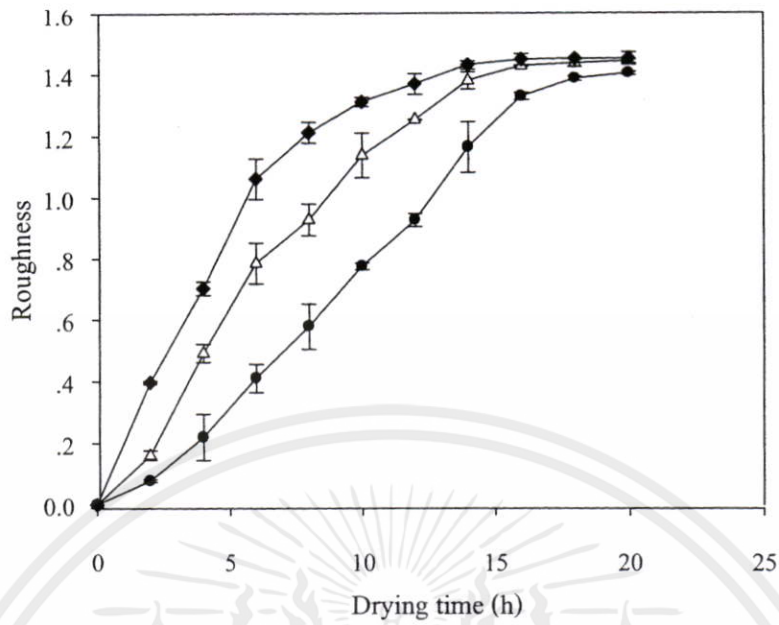
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



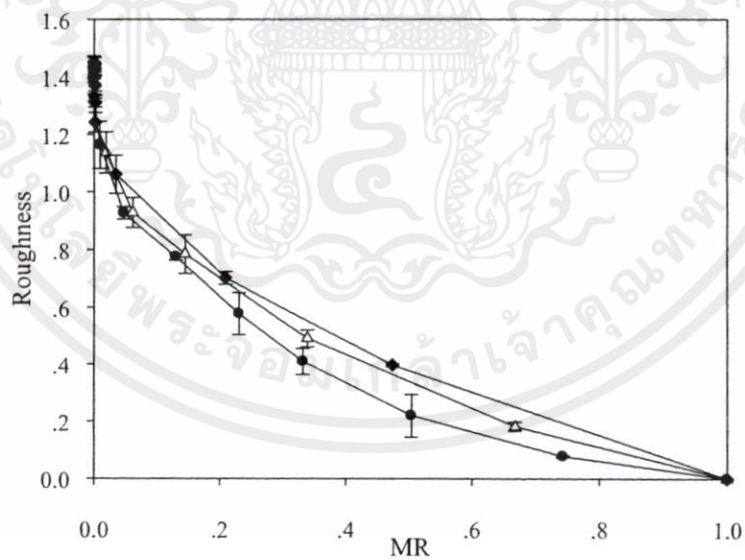
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ **รูปที่ 4.9** Intensity map แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากิ่งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา (a) 0, (b) 4, (c) 8, (d) 12, (e) 16 และ (f) 20 ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.10 Intensity map เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากิ่งระหว่างอบแห้งที่
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 อุณหภูมิต่ำ (a) 50, (b) 60 และ (c) 70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12 ชั่วโมง



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้ง (Roughness) ที่อุณหภูมิ 50(●), 60(Δ) และ 70(◆) องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้ง (Roughness)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ที่อุณหภูมิ 50(●), 60(Δ) และ 70(◆) และอัตราส่วนความชื้น (MR) ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำภาพถ่ายจาก SEM มาทำการแปลงเป็นค่า Gray scale จะสามารถเขียนกราฟ Intensity map ดังแสดงในรูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9 ซึ่งกราฟ intensity map ดังกล่าวสามารถใช้เป็นตัวแทนภาพ SEM ได้เป็นอย่างดี พบว่ากุ้งที่มีลักษณะผิวเรียบ จะทำให้มองเห็นภาพค่อนข้างดำ นั่นคือค่า Gray scale ต่ำ แต่เมื่ออบแห้งนานขึ้นผิวหน้ากุ้งหดรัดตัวมากขึ้น ทำให้มองเห็นภาพเป็นสีขาวมากขึ้น ค่า Gray scale จึงสูงขึ้นด้วย โดยกราฟ Intensity map ดังกล่าวสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้ง

สำหรับการอธิบายการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้งในระหว่างอบแห้งได้อธิบายในรูปของค่า R (Roughness factor) ซึ่งอยู่ในรูปของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า R เทียบกับค่าเริ่มต้น รูปที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า R เมื่ออบแห้งที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ โดยพบว่าค่า R จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการอบแห้งช่วงแรก และจะลดลงอย่างช้าๆ ก่อนเข้าสู่จุดคงที่ ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณความชื้น (รูปที่ 4.12) กล่าวคือการหดรัดตัวของผิวหน้ากุ้งจะแปรผันตามปริมาณความชื้น โดยการหดรัดตัวจะมากช่วงแรกของการอบแห้ง เนื่องจากน้ำภายในเซลล์กุ้งระเหยออกอย่างรวดเร็ว เมื่ออบแห้งเป็นเวลานานขึ้น การหดรัดตัวของผิวหน้ากุ้งจะลดลงอย่างช้าๆ และคงที่ในที่สุดซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณความชื้นเข้าสู่สภาวะสมดุล

นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างค่า R กับปริมาณความชื้น สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า Volumetric shrinkage กับปริมาณความชื้น โดยลักษณะเส้นกราฟเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Hatamipour and Mowla, 2002) ซึ่งแสดงว่าค่า R ที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีในการตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของวัสดุอาหาร ในระหว่างการอบแห้งได้

4.3 ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อค่าการต้านทานความร้อนของ *S. Anatum* ในกุ้ง

จากการตรวจนับจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในกุ้งหลังจากผ่านขั้นตอนต่างๆ พบว่ากุ้งมีจำนวนแบคทีเรียทั้งหมดเท่ากับ $10^4 - 10^5$ cfu/g ดังตารางที่ 4.1 หลังจากล้างกุ้งด้วยน้ำประปาจะสามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้เพียงเล็กน้อย จากนั้นทำการลดจำนวนจุลินทรีย์ที่หลงเหลืออยู่ โดยต้มกุ้งเป็นเวลา 2 นาที ซึ่งเป็นเวลาที่ไม่ทำให้เนื้อเยื่อกุ้งเสียหาย (Kaur and Viswannathan, 2001) สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้ 1 log และไม่พบการปนเปื้อนของจำนวน *Salmonella* spp. เริ่มต้นจากผลข้างต้นแสดงว่ากุ้งสดที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนแบคทีเรียที่หลงเหลืออยู่มีปริมาณน้อยกว่าจำนวน *S. Anatum* ที่ทำการปนเปื้อน ซึ่งมีจำนวน 10^6 cfu/g ดังนั้นจำนวนโคโลนีส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 จำนวนจุลินทรีย์ในกุ้งที่ผ่านขั้นตอนต่างๆ

ขั้นตอน	แบคทีเรียทั้งหมด (log cfu/g)	<i>Salmonella</i>
กุ้งสด	5.88±0.66	-
กุ้งสดปอกเปลือก	4.67±2.55	-
กุ้งที่ล้างด้วยน้ำประปา	4.38±0.45	-
กุ้งต้ม	3.50±1.46	-

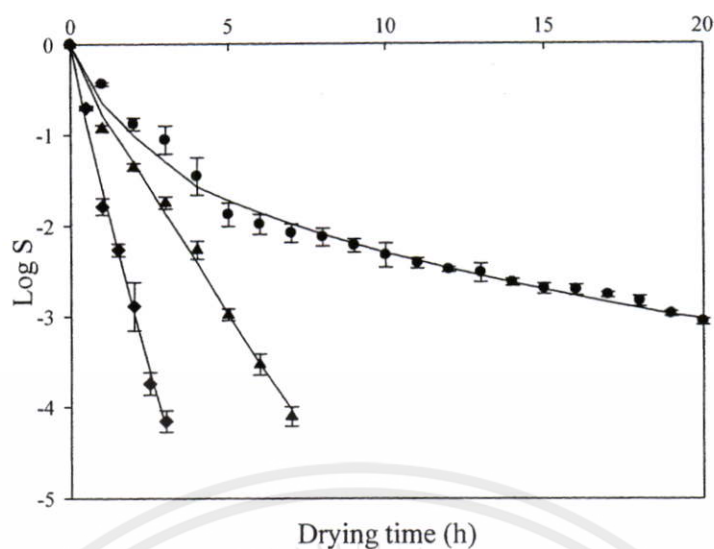
ใหญ่บนผิวหน้ากุ้งสำหรับทดลองจึงมาจาก *Salmonella* โดยกุ้งตัวอย่างที่ทำการทดลองมีจำนวน *Salmonella* เกาะติดที่ผิวของกุ้งเริ่มต้นเท่ากับ $3.50 \times 10^6 \pm 1.64 \times 10^6$ cfu/g หลังจากทำการปนเปื้อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

สำหรับผลการศึกษาผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อค่าการต้านทานความร้อนของ *S. Anatum* ในกุ้ง (รูปที่ 4.13) พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส กราฟการรอดชีวิตจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งหงาย แสดงว่าจุลินทรีย์แต่ละเซลล์มีค่าการต้านทานความร้อนแตกต่างกัน ขณะที่กราฟการรอดชีวิตที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส มีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง เนื่องจากการลดลงของ *Salmonella* เป็นไปอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราค่อนข้างคงที่

งานวิจัยนี้ได้นำสมการทางคณิตศาสตร์ของ Weibull มาใช้ในการอธิบายการลดจำนวนของจุลินทรีย์ในเชิงกายภาพ พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวสามารถอธิบายการรอดชีวิตของ *S. Anatum* ได้ดี (R^2 มากกว่า 0.90) ซึ่งค่าคงที่ b และ n จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

สำหรับการศึกษาค่าการต้านทานความร้อนของ *S. Anatum* ในกุ้ง พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส มีค่า n น้อยกว่า 1 จึงทำให้ได้กราฟการรอดชีวิตที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งหงาย (Upward concave) (รูปที่ 4.15) แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์แต่ละเซลล์มีค่าการต้านทานความร้อนไม่เท่ากัน จุลินทรีย์ที่อ่อนแอกว่าถูกทำลายได้ง่ายกว่าเซลล์ที่แข็งแรง (Peleg, 2000) โดยจุลินทรีย์ที่อ่อนแอจะถูกทำลายอย่างรวดเร็วในช่วงแรกแต่เมื่อเวลาผ่านไปจุลินทรีย์ที่เหลือรอดจากความร้อนจะสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อม ทำให้สามารถทนร้อนและมีชีวิตรอดอยู่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



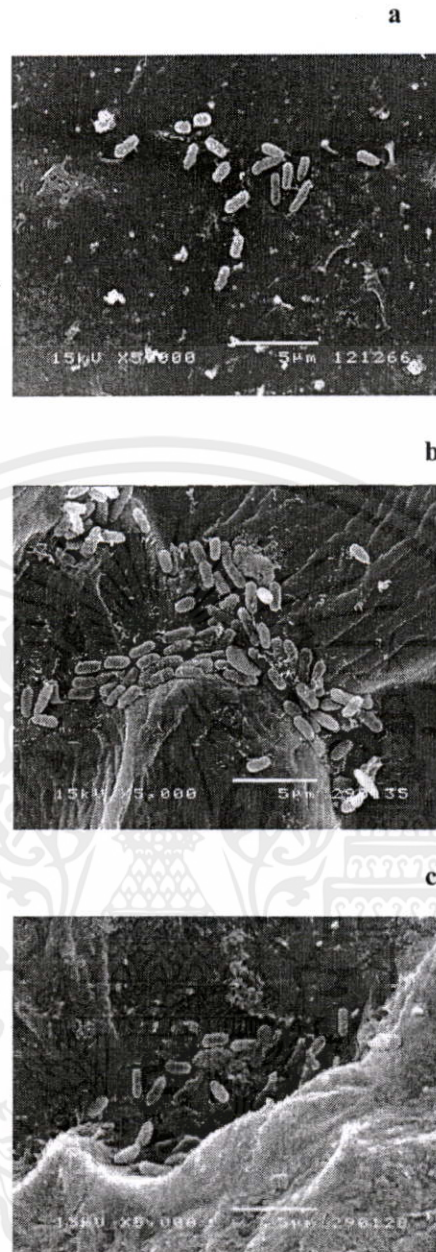
รูปที่ 4.13 การเหลือรอดของ *S. Anatum* ในกึ่งระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50(●), 60(Δ) และ 70(◆) องศาเซลเซียส

ส่วนเส้นกราฟ การรอดชีวิตของ *S. Anatum* ที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส จะได้ค่า n เข้าใกล้ 1 ซึ่งหมายความว่ากราฟการรอดชีวิตที่ได้จากการทดลองเกือบเป็นเส้นตรง โดย *Salmonella* ถูกทำลายอย่างต่อเนื่องในอัตราที่คงที่ ผลการทดลองแสดงว่าอุณหภูมิอบแห้งที่ต่างกันมีผลต่อค่าการต้านทานความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำลาย *S. Anatum* จำนวน 3 log ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลามากกว่าอบแห้งที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส ถึงประมาณ 4 และ 9 เท่า ตามลำดับ (ตารางที่ 4.2)

ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ และเวลาที่ใช้ในการลดจำนวน *S. Anatum* ในกึ่ง 3 log ที่สภาวะการอบแห้งต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	b	n	เวลาที่ใช้ในการลดจำนวน <i>S. Anatum</i> 3 log (นาที)	R^2
50	0.80±0.07	0.43±0.03	1186.27±1.26	0.9807
60	0.68±0.04	0.91±0.03	265.83±0.66	0.9986
70	1.61±0.06	0.96±0.08	133.88±0.93	0.9995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หมายเหตุ: ค่าที่ใช้ในตารางเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ



รูปที่ 4.14 แสดงภาพ SEM (กำลังขยาย 5,000 เท่า) ของ (a) กิ่งต้ม (b) กิ่งอบแห้ง 4 ชั่วโมง (c) กิ่งอบแห้ง 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะการยึดเกาะ *S. Anatum* บนผิวของกิ่งระหว่างอบแห้ง พบว่า *S. Anatum* ยึดเกาะอยู่ทั่วบริเวณผิวกิ่ง แต่มักพบเซลล์ *S. Anatum* ส่วนใหญ่เกาะอยู่ที่บริเวณส่วนที่มีความลึกและเป็นรอยหยักเหมาะต่อการยึดเกาะของจุลินทรีย์ ซึ่งผลการสังเกตสอดคล้องกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รายงานการวิจัยก่อนหน้านี้ โดย Behring และคณะ (2003) ศึกษาผลของการล้างด้วยคลอรีนได้ ไม่ว่าจะฉีดน้ำที่อุณหภูมิอื่น อีกทั้งห้ามมิให้ดื่มไปลงนอหา และต้องล้างมือถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ออกใช้ต่อการเลือกรอดและการยึดเกาะของ *Escherichia coli* O157:H7 บนผิวพริกหยวก ซึ่งพบ *Escherichia coli* O157:H7 มักยึดเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวพริกหยวกที่มีความขรุขระ ซึ่งลักษณะ

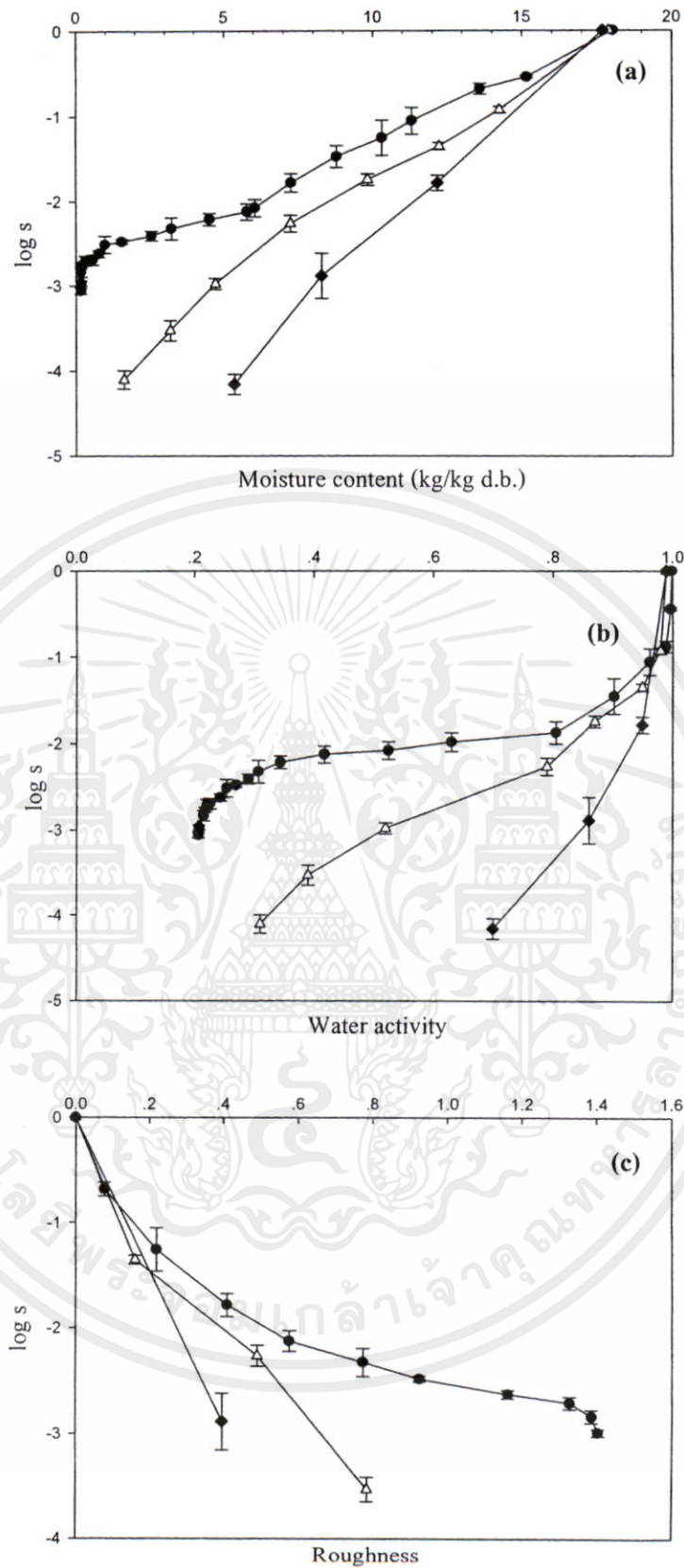
ดังกล่าวอาจป้องกันไม่ให้เซลล์แบคทีเรียสัมผัสโดยตรงกับสารเคมีที่ใช้ในการล้าง ซึ่งทำให้มีแบคทีเรียเหลือรอดหลังกระบวนการล้างมากยิ่งขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้พบว่า เมื่ออบแห้งกึ่งที่อุณหภูมิสูงขึ้นและเวลานานขึ้นการหดตัวจะมากขึ้นด้วย เนื่องจากการสูญเสียภายในเซลล์ ทำให้มีร่องลึกมากขึ้น และเสียหายจากความร้อนในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ซึ่งจะส่งผลต่อการยึดเกาะของจุลินทรีย์ (รูปที่ 4.14a, b, และc) โดยสังเกตเห็นจุลินทรีย์เกาะอยู่ตามร่องที่ลึกขึ้น

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ ปริมาณความชื้น และค่าการเปลี่ยนแปลงผิวหน้ากึ่ง (Roughness) ต่อการเหลือรอดของ *S. Anatum* ในกึ่งในระหว่างการอบแห้ง

รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ และค่าการเปลี่ยนแปลงผิวหน้ากึ่ง (R) กับการเหลือรอดของ *S. Anatum* ในระหว่างการอบแห้ง ซึ่งค่าดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาและอุณหภูมิในการอบแห้ง จากผลการทดลองพบว่า *Salmonella* ถูกทำลายอย่างรวดเร็วในช่วงต้นของการอบแห้ง ซึ่งค่าวอเตอร์แอกติวิตี้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่าปริมาณน้ำในเซลล์จุลินทรีย์มีผลโดยตรงต่ออัตราการทำลาย *Salmonella*

โดยทั่วไปความร้อนทำลายจุลินทรีย์โดยทำให้โปรตีนภายในเซลล์เกิดการเสียสภาพ (Denaturation) และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับกระบวนการเมตาบอลิซึมภายในเซลล์ (Jay, 2000) โดยเฉพาะอย่างยิ่งไรโบโซมซึ่งทำหน้าที่สร้างโปรตีน โดยความร้อนมีผลทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ได้รับพลังงานและเกิดการสั่นสะเทือนเป็นเหตุให้ไรโบโซมถูกทำลาย เสียความสามารถในการทำงาน เมื่อเพิ่มระยะเวลาอบแห้งน้ำในระบบระเหยไปเมื่อมีน้ำภายในเซลล์น้อยลงจึงเกิดการสั่นสะเทือนของไรโบโซมน้อยลง เซลล์จึงทนต่อความร้อนดีกว่าสภาวะที่มีน้ำในเซลล์มาก



เอกสารนี้รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการเหลือรอดของ *S. Anatum* ในกึ่งกับค่าอเดออร์แอคตีวิตี (a), ฐานการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ปริมาณความชื้น (b) และค่าการเปลี่ยนแปลงผิวหน้ากึ่ง (Roughness) (c) ระหว่างการใช้อบแห้งที่ อุณหภูมิ 50 (●), 60 (▲) และ 70 (◆) องศาเซลเซียส

การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็นการเพิ่มอัตราการลดลงของปริมาณความชื้นและค่าอ-เตอร์แอกติวิตีของกุ้ง อุณหภูมิของผิวกุ้งสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน ดังนั้นจึงส่งผลต่อการเพิ่มอัตราการถูกทำลายของ *Salmonella*

สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปลี่ยนแปลงค่า Roughness ของกุ้งกับการเหลือรอดของ *S. Anatum* ในระหว่างการอบแห้ง (รูปที่ 4.15c) พบว่าเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิมอบแห้งสูงขึ้นและเวลานานขึ้นอัตราการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของตัวอย่างเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปริมาณการเหลือรอดของ *S. Anatum* ลดลง เมื่อพิจารณาที่เวลาในการอบแห้งเท่ากันตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงกว่ามีอัตราการหดตัวมากกว่า และระหว่างการอบแห้งพบว่าการหดตัวหรือค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนเข้าสู่ค่าคงที่ ณ สภาวะที่กุ้งมีความชื้นเท่ากับค่าปริมาณความชื้นสมดุล ในขณะที่ *Salmonella* ถูกทำลายไปในอัตราที่เร็วกว่าการหดตัวของกุ้ง ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง น่าจะเป็นปัจจัยหลักที่ควบคุมอัตราการเหลือรอดของ *Salmonella* บนผิวหน้ากุ้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ สำหรับผลของอุณหภูมิอบแห้งต่างๆ (50-70 องศาเซลเซียส) ต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าแอมพลิจูดของกึ่ง พบว่าปริมาณความชื้นของกึ่งลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและค่อยๆเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งลักษณะการลดลงของความชื้นนั้นมีทิศทางเดียวกับการลดลงของค่าแอมพลิจูดของกึ่ง

สำหรับผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผิวหน้ากึ่ง พบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการอบแห้งช่วงแรก และจะลดลงอย่างช้าๆ ก่อนเข้าสู่สภาวะสมดุล นอกจากนี้ที่เวลาในการอบแห้งเท่ากัน กึ่งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงกว่ามีอัตราเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ามากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้การอบแห้งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของผลิตภัณฑ์ โดยกราฟความเข้มเทา (Intensity map) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งได้เป็นอย่างดี และสามารถใช้ค่า Roughness ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ภาพด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นเป็นดัชนีในการตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของกึ่งในระหว่างการอบแห้งได้

สำหรับผลการศึกษาค่าการต้านทานความร้อนของ *S. Anatum* ที่เกาะผิวหน้าของกึ่งที่สภาวะต่างๆ พบว่าการใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงขึ้น ทำให้ค่าการต้านทานความร้อนของ *S. Anatum* ลดลง โดยที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการทำลาย *S. Anatum* จำนวน 3 log เท่ากับ 1186.27 ± 1.26 265.83 ± 0.66 และ 133.88 ± 0.93 นาที ตามลำดับ

สำหรับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปลี่ยนแปลงค่า Roughness factor (R) ของกึ่งกับการเหลือรอดของ *S. Anatum* ในระหว่างการอบแห้ง พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของตัวอย่างเพิ่มขึ้นเมื่ออบแห้งนานขึ้นและอุณหภูมิสูงขึ้น ระหว่างการอบแห้งพบว่าการหดตัวหรือค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนเข้าสู่สภาวะคงที่ ในขณะที่ปริมาณการเหลือรอดของ *S. Anatum* จะลดลง และจะหมดไปในที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงซึ่งเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าตัวอย่างและการเหลือรอดของ *S. Anatum* เป็นผล

มาจากอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลโดยตรงของผลิตภัณฑ์นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ ดังนั้นสภาวะอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ คือ อบแห้งกึ่งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เนื่องจากเป็นสภาวะที่สามารถลดปริมาณความชื้นในกึ่งได้ในระดับที่ต้องการ (Final moisture content) เท่ากับ 0.10 กิโลกรัม/กิโลกรัม น้ำหนักฐานแห้ง สภาวะการ

อบแห้งนี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกายภาพของอาหาร หรือการหดตัวไม่มากนัก อีกทั้งสามารถทำลายจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด และใช้เวลาสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะการอบแห้งอื่น (50 และ 60 องศาเซลเซียส)

5.2 ข้อเสนอแนะ

ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกายภาพ (โครงสร้างของผิวหน้ากึ่ง) และการเหลือรอดของเชื้อจุลินทรีย์ของกึ่งในระหว่างการอบแห้งนี้นับเป็นงานที่น่าสนใจ และมีประโยชน์ในการนำไปใช้เพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งต่อไป อย่างไรก็ตามการนำตัวอย่างที่มีความแตกต่างกัน มาเป็นวัตถุดิบในการศึกษา จะช่วยให้สามารถเข้าใจถึงกลไกการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ได้กับอุตสาหกรรมการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำเทคนิคการประมวลผลภาพ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของผิวหน้ากึ่งไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการอบแห้ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาศิก, 2537, กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร, โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ,
หน้า 244-260.

มลฉัตรณ์ นาน่วม, 2548, ผลของกรดอะซิติกร่วมกับอุณหภูมิต่อการยับยั้งการเจริญของ
Salmonella Anatum และปฏิกิริยาสีน้ำตาลจากเอนไซม์ในกะหล่ำปลีตัดแต่งพร้อม
บริโกล, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 77 หน้า.

วริษฐา ภัคดี, 2547, อิทธิพลของค่าวอเตอร์แอกทิวิตีต่อค่าด้านทานความร้อนของ *Salmonella*
Krefeld ในอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวและแห้ง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี, 90 หน้า.

วรางคณา ณ พัทลุง, ถวิลพันธุ์ ถนอมน้อย, วรเชษฐ์ คงทน และ สุภวรรณ ภูริระวิชย์กุล, 2551,
การพัฒนาเครื่องอบแห้งกึ่งใช้พลังงานความร้อนร่วมจากพลังงานแสงอาทิตย์และ
พลังงานไฟฟ้า, การประชุมวิชาการเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่าง
ยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สมเกียรติ อุดมหารษากุล, 2550, การประมวลผลภาพเบื้องต้น. คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ, หน้า 1-76.

สิทธิโชค ขอดระยับ, 2550, การเขียนโปรแกรม Digital Image Processing ด้วย Visual Basic,
ส.ส.ท สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, หน้า 114-124.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม, 2546, วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพฯ, หน้า 187-195-76.

สุนันท์ ศรีณย์นิคย์, 2545, การถ่ายเทความร้อน, ส.ส.ท สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),
กรุงเทพฯ, หน้า 1-23.

สุเมธชา วัฒนสินธุ์, 2545, จุลชีววิทยาทางอาหาร, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ,
หน้า 34-40.

โสธยา เกิดพิบูลย์, 2549, การใช้การวิเคราะห์แฟรคทัลในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงเชิง

กายภาพของอาหารระหว่างอบแห้ง, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,
122 หน้า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อรุณ ป่างตระกุลนนท์, ศรีรัตน์ พรเรืองวงศ์, ชัยวัฒน์ พูลศรีกาญจน์, ปฐม สวรรค์ปัญญาวงเลิศ, Arestrup, F.M. และ Wong, D.M.A.L.F., 2546, “การระบาดของ *Salmonella* serovars ในคน สัตว์ และอาหารในประเทศไทย (ระหว่างปี พ.ศ. 2536-2545)”, **วารสารการประชุมวิชาการครั้งที่ 1 พันมิตรร่วมมือเพื่อการสร้างสุขภาพใหม่**, หน้า 74.

Adam, M.R. and Hall, C.J., 1988 “Growth Inhibit Foodborne Pathogens by Lactic and Acetic Acids and Their Mixtures”, **International Journal of Food Science and Technology**, Vol. 23, pp. 287-292.

Adams, M.R. and Moss, M.O., 2002, **Food Microbiology**, 2nd ed., The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 479 p.

Aguilera, J.M. and Stanley, D.W., 1999, **Microstructural Principles of Food Processing and Engineering**, Aspen Publishers, Gaithersburg, Maryland, pp. 1-70.

Aguilera, J.M., Cadoche, L., Lopez, C. and Gutierrez, G., 2001, “Microstructural Changes of Potato Cells and Starch Granules Heated in Oil”, **Food Research International**, Vol. 34, No. 10, pp. 939-947.

Aguilera, J.M., 2003, “Drying and Dried Products under the Microscope”, **Food Science and Technology International**, Vol. 9, No. 3, pp. 137-143.

Archer, M.R. and Moss, M.O., 2002, **Food Microbiology**, 2nd ed., The Royal society of Chemistry, Cambridge, 479 p.

AOAC, 2000, **Association of Official Analytical Chemistry**, Washington, D.C.

Bangtrakulnonth, A., Pornreongwong, S., Pulsrikarn, C., Sawanpanyalert, P., Hendriksen, R.S., Lo Fo Wong, D.M.A. and Ararestrup, F.M., 2004, “*Salmonella* Serovars from Humans and Other Sources in Thailand, 1993-2002”, **Emerging Infectious Diseases**, Vol. 10, No. 1, pp. 131-136.

Barrile, J.C. and Cone, J.F., 1970 “Effect of Added Moisture on the Heat Resistance of *Salmonella* Anatum in Milk Chocolate”, **Journal of Applied Microbiology**, Vol. 19, pp. 63-71.

Behrsing, J., Jaeger, J., Horlock, F., Kita, N., Franz, P. and Premier, R., 2003, “Survival of

Listeria innocua, *Salminella* Salford and *Esherichia coli* on the Surface of Fruit Inedible Skins”, **Postharvest Biology and Technology**, Vol. 29, pp. 249-256. เรานำมาใช้

- Bell, C. and Kyriakides, A., 2002, **Salmonella : A Practical Approach to the Organism and Its Control in Food**, Blackwell Science Ltd., Malden, The United Kingdom, 330 p.
- Beuchat, L.R. and Scouten, A.J., 2002, "Combination Effects of Water Activity, Temperature and Chemical Treatment on the Survival of *Salmonella* and *Escherichia coli* O157:H7 on Alfalfa Seed", **Journal of Applied Microbiology**, Vol. 92, pp. 382-395.
- Bourne, M.C., 1983, **Physical Properties and Structure of Horticultural Crops**, In Physical Properties of Foods, Peleg, M. and Bagley, E.B. (Ed.), AVI Publishing, Connecticut, USA, pp. 207-228.
- Briones, V. and Aguilera, J.M., 2005, "Image Analysis of Changes in Surface Color of Chocolate", **Food Research International**, Vol. 38, No. 1, pp. 87-94.
- Canovas, G.V.B. and Mercado, H.V., 1996, **Dehydration of Foods**, Chapman and Hall, New York, USA, pp. 229-263.
- Casadei, M.A., Esteves de Matos, R., Harrison, S.T. and Gaze, J.E., 1998, "Heat Resistance of *Listeria monocytogenes* in Dairy products as Affected by the Growth Medium", **Journal of Applied Microbiology**, Vol. 84, No. 2, pp. 234-239.
- Chanola, P.J.J., Alamilla, B.L., Farrera, R.R.R., Quevedo, J.M. and Gutierrez, L.G.F., 2003, "Description of the Convective Air-Drying of a Food Model by Means of the Fractal Theory", **Food Science and Technology International**, Vol. 9, No. 3, pp. 207-213.
- Dalen, G.V., 2004, "Determination of the Size Distribution and Percentage of Broken Kernels of Rice using Flatbed Scanning and Image Analysis", **Food Research International**, Vol. 37, No. 1, pp. 51-58.
- Decoteau, D.R., 2000, **Vegetable Crop**, Science Publishers, Inc., USA, pp.207-213.
- Devahastin, S., Suvarnakuta, P., Soponronnarit, S. and Mujumdar, A.S., 2004, "A Comparative Study of Low-Pressure Superheated Steam and Vacuum Drying of a Heat-Sensitive Material", **Drying Technology**, Vol. 22, No. 8, pp. 1845-1867.
- Devahastin, S. and Suvarnakuta, P., 2004, **Superheated-Steam-Drying of Food Products**, In Dehydration of products of biological origin, Arun S. Mujumdar (Ed.), Science Publishers, Inc., USA, pp. 493-512.

เอกสารนี้ Doymaz, I., 2004, "Convective Air Drying Characteristics of Thin Layer Carrots", **Journal of Food Engineering**, Vol. 61, No. 3, pp. 359-364. ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ells, T.C., Truelstrup Hansen, L. and 2005, Strain and Growth Temperature Influence *Listeria spp.* Attachment to Intact and Cut Cabbage, **Journal of Food Microbiology**, Vol. 111, No. 1, pp. 34-42.
- Escartin, E.F., Ayala, A.C. and Lozano, J.S., 1989, "Survival and Growth of *Salmonella* and *Shigella* on Sliced Fresh Fruit", **Journal of Food Protection**, Vol. 52, No. 7, pp. 471-472, 483.
- Frazier, W.C and Westhoff, D.C., 1988, **Food Microbiology**, 4th ed., McGraw-Hill, New York, pp. 85-130.
- Fernandez, L., Castellero, C. and Aguilera, J.M., 2005, "An Application of Image Analysis to Dehydration of Apple Discs", **Journal of Food Engineering**, Vol. 67, No. 1-2 , pp. 185-193.
- Goepfert, J.M., Iskander, I.K. and Amundson, C.H., 1970, "Relation of the Heat Resistance of *Salmonella* to the Water Activity of the Environment", **Applied microbiology**, Vol. 19, No. 6, pp. 429-433.
- Golden, D.A., Rhodehamel, E.J. and Kautter, D.A., 1993, "Growth of *Salmonella spp.* in Cantalope, Watermelon and Melon", **Journal of Food Protection**, Vol. 56, No. 3, pp. 194-196.
- Hartel, R.W. and Heldman, D.R., 1999, **Principles of Food Processing**, Chapman & Hall Publishing, Connecticut, New York, USA, pp. 118-119.
- Hatamipour, M.S. and Mowla, D., 2002, "Shrinkage of Carrots during Drying in an Inert Medium Fluidized Bed", **Journal of Food Engineering**, Vol. 55, No. 3, pp. 247-252.
- Hourner, K.J., 1997, Anagnostopoulos, G.D., 1975, "Effect of Water Activity on Heat Survival of *Staphyococcus aureus*, *Salmonella typhimurium* and *Salmonella seftenberg*", **Journal of Applied Bacteriology**, Vol. 38, No. 2, pp. 9-17.
- Jay, J.M., 2000, "High-Temperature Food Preservation and Characteristic of Thermophilic Microorganisms", **Modern food Microbiology**, 6th ed., Aspen Publishing, Gaithersburg, pp. 341-356.
- Juneja, V.K. and Eblen, B.S., 2000, "Heat Inactivation of *Salmonella Typhimurium* DT104 in Beef as Affected by Fat Content", **Letters in Applied Microbiology**, Vol. 68, No. 6, pp. 241-246.

- Kerpiboon, S., Devahastin, S. and Kerr W. L., 2007, "Comparative fractal characterization of physical changes of different food products during drying", **Journal of Food Engineering**, Vol. 38, No. 3, pp. 270-279.
- Khraisheh, M.A.M., McMinn, W.A.M. and Magee, T.R.A., 2004, "Quality and Structural Changes in Starchy Foods during Microwave and Convective Drying", **Food Research International**, Vol. 37, No. 5, pp. 497-503.
- Lewicki, P.P., 1998, "Some Remarks on Rehydration of Dried Foods", **Journal of Food Engineering**, Vol. 36, No. 1, pp. 81-87.
- Mayor, L. and Sereno, A.M., 2004, "Modelling Shrinkage during Convective Drying of Food Materials: A Review", **Journal of Food Engineering**, Vol. 61, No. 3, pp. 373-386.
- Mattick, K.L., Jorgen, F., Wang, P., Poind, J., Vandeven, M.H. and Ward, L.R., 2001, "Effect of Challenge Temperature and Solute Type on Heat Tolerance of *Salmonella* Serovars at Low Water Activity", **Applied and Environmental Microbiology**, Vol. 67, No. 9, pp. 4128-4136.
- McMinn, W.A.M. and Magee, T.R.A., 1997, "Physical Characteristics of Dehydrated Potatoes Part II", **Journal of Food Engineering**, Vol. 33, No. 1-2, pp. 49-55.
- Moreira, R.G., 2001, "Impingement Drying of Foods Using Hot Air and Superheated Steam," **Journal of Food Engineering**, Vol. 49, No. 4, pp. 291-295.
- Nieto, A.B., Salvatori, D.M., Castro, M.A. and Alzamora, S.M., 2004, "Structural Changes in Apples Tissue during Glucose and Sucrose Osmotic Dehydration: Shrinkage, Porosity, Density and Microscopic Features", **Journal of Food Engineering**, Vol. 61, No. 2, pp. 269-278.
- Ochoa, M.R., Kessler, A.G., Pirone, B.N., Marquez, C.A. and DeMichelis, A., 2002a, "Volume and Areas Shrinkage during Dehydration of Whole Sour Cherry Fruits (*Prunus Cerasus*)", **Drying Technology**, Vol. 20, No. 1, pp. 147-156.
- Ochoa, M.R., Kessler, A.G., Pirone, B.N., Marquez, C.A. and DeMichelis, A., 2002b, "Shrinkage during Convective Drying of Whole Rose Hip (*Rosa Rubiginosa* L.) Fruits", **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, Vol. 35, No. 5, pp. 400-406.
- Panyawong, S. and Devahastin, S. 2007, "Determination of Deformation of a Food Product Undergoing Different Drying Methods and Conditions via Evolution of a Shape Factor", **Journal of Food Engineering**, Vol. 78, No. 1, pp. 151-161.

- Peleg, M. and Normand, M.D., 1985, "Characterization of the Ruggedness of Instant Coffee Particle Shape by Natural Fractals", **Journal of Food Science**, Vol. 50, No. 1, pp. 829-831.
- Peleg, M., 2000, "Microbial Survival Curve: The Reality of Flat Shoulders and Absolute Thermal Death Times", **Food Research International**, Vol. 33, pp. 531-538.
- Piagentini, A.M., Pirovani, M.E., Guemes, D.R., Di Pentima, J.H. and Tessi, M.A., 1997, "Survival and Growth of *Salmonella* Hadar on Minimally Processed Cabbage as Influenced by Storage Abuse Conditions", **Journal of Food Science**, Vol. 62, No. 3, pp. 616-618, 631.
- Posomboon, W., 1998, Processing Effect on Quality of Dried Shrimp, Master of Science Thesis, Agricultural and Food Engineering Program, Faculty of Science, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 101 p.
- Pratt, William K., 2007, **Digital Image Processing**, 4th ed., California, pp. 419-613.
- Quevedo, R. and Aguilera, J.M., 2004, "Characterization of Food Surface Roughness Using the Glistening Points Method", **Journal of Food Engineering**, Vol. 65, No. 1, pp. 1-7.
- Rahman, M.S., "Microbial Survival Curves—the Reality of the Flat "shoulders" and Absolute Thermal Death Times", **Food Research International**, Vol. 33, pp. 531-538.
- Ratti, C., 1994, "Shrinkage during Drying of Foodstuffs", **Journal of Food Engineering**, Vol. 23, No. 1, pp. 91-105.
- Russ, J.C., 2005, **Image Analysis of Food Structure**, CRC Press, Florida, USA, pp. 1-359.
- Szczesniak, A.S., , **Physical Properties of Foods: What They Are and Their Relation to Other Food Properties**, In Physical Properties of Foods, Peleg, M. and Bagley, E.W., (eds.), Avi Publishing Company, Westport, Connecticut, USA, pp. 1-41.
- Wang, N. and Brennan, J.G., 1995, "Changes in Structure, Density and Porosity of Potato during Dehydration", **Journal of Food Engineering**, Vol. 24, No. 1, pp. 61-76.
- Wright, A.J. and Maragoni, A.G., 2003, "The Effect of Minor Components on Milk Fat Microstructure and Mechanical Properties", **Journal of Food Science**, Vol. 68, No. 1, pp. 182-186.
- Yousef, E.A. and Juneja, V.K., 2002, "Basic of Stress Adaptation and Implications in New Generation Food", **Microbial Stress Adaptation and Food Safety**, CRC Press, pp. 1-25.

Zhuang, R.Y., Beuchat, L.R. and Angulo, F.j., 1995, 'Fate of *Salmonella* Montevideo on and in Raw Tomatoes as Affected by Temperature and Treatment with Chlorine', **Applied Environmental Microbiology**, Vol. 61, No. 6, pp. 2127-2131.



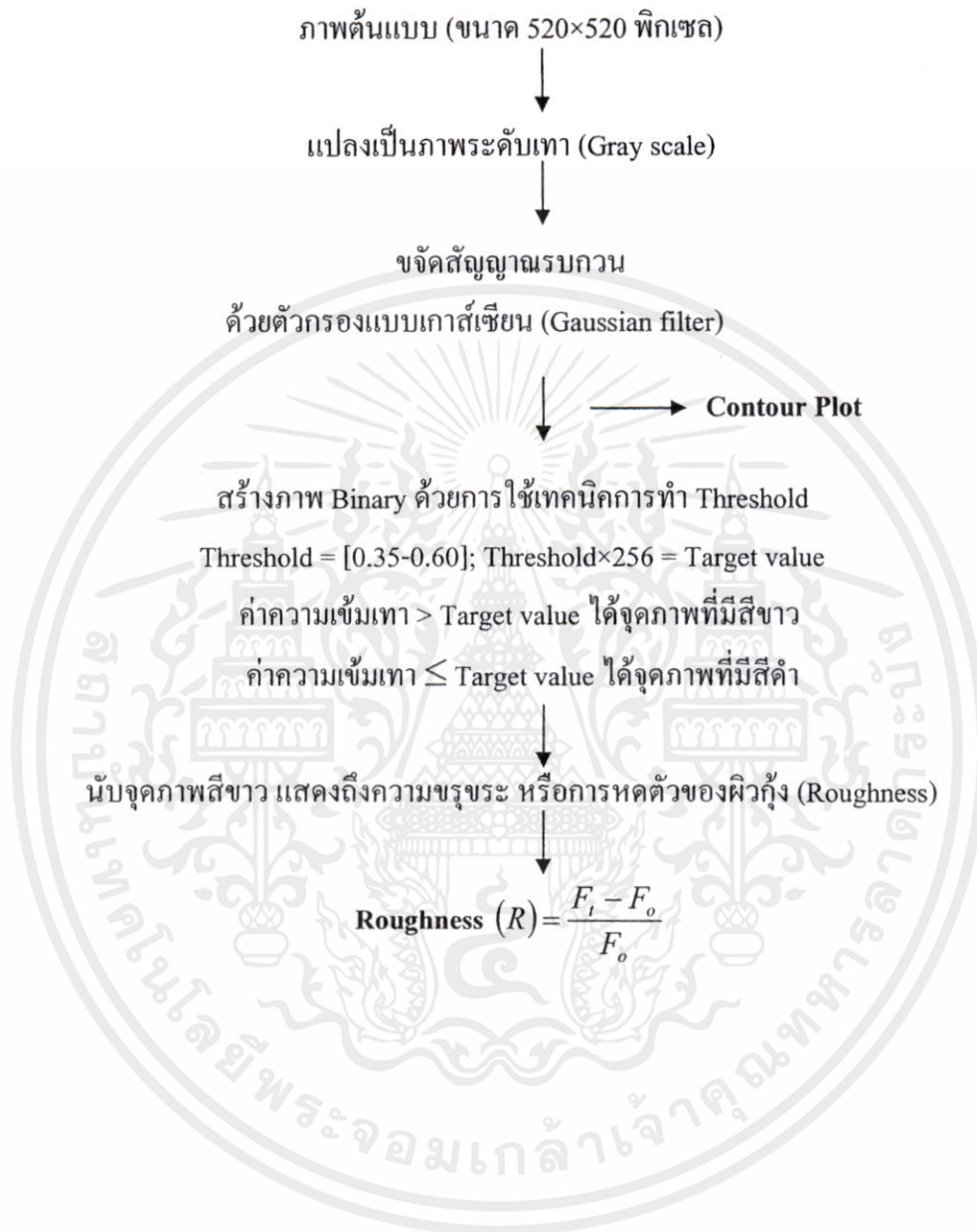
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์และการใช้เครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 การวิเคราะห์พื้นผิวกึ่งระหว่างอบแห้งด้วยการประมวลผลภาพ
(Image Processing)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การใช้เครื่องทำแห้ง (Critical point dryer)

ยี่ห้อ Balzers รุ่น CPD 020 ประเทศผู้ผลิต Liechtenstein

ประโยชน์ ใช้ทำตัวอย่างให้แห้งสำหรับตัวอย่างทางชีววิทยา เพื่อนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

หลักการ ตัวอย่างที่จะนำมาทำแห้งจะต้องผ่านการรักษาสภาพด้วยน้ำยาคองและเอาน้ำออกด้วยสารละลายอินทรีย์ ได้แก่ แอลกอฮอล์หรืออะซีโตน แล้วใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวไปแทนที่สารละลายอินทรีย์ จากนั้นทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊ส ภายใต้อุณหภูมิและความดันที่จุดวิกฤติ (critical point) ซึ่งเป็นจุดที่ของเหลวและแก๊สมีความหนาแน่นเท่ากัน (อุณหภูมิวิกฤติ 31 °C ความดันวิกฤติ 73.8 bar) ทำให้ตัวอย่างแห้งและคงรูป โดยที่พื้นผิวและโครงสร้างของตัวอย่างไม่ถูกทำลาย

ขั้นตอนการใช้เครื่อง

1. ตรวจสอบเช็คว่าวาล์ว GAS IN, GAS OUT และ METERING ปิดสนิท
2. เปิดฝา chamber ออกแล้วใส่แอลกอฮอล์หรืออะซีโตน (ขึ้นอยู่กับว่าใช้สารอะไรในการ dehydrate) โดยให้ท่วมตัวอย่าง จากนั้นใส่ตัวอย่างลงไป ให้ระดับความสูงของตัวอย่างไม่เกินครึ่ง chamber แล้วรีบปิดฝา chamber เข้าที่เดิมให้สนิท
3. เปิดสวิตช์ MAINS และท่อคาร์บอนไดออกไซด์เหลว หากต้องการกวนสารละลายให้กดสวิตช์ STIRRER
4. ตั้งอุณหภูมิที่ 15 °C กดสวิตช์ TEMP ตั้งเกิด chamber จะค่อยๆ เย็นลงจนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้
5. ค่อยๆเปิดวาล์ว GAS IN ปล่อยให้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวไหลเข้า chamber จนเต็มแล้วปิดวาล์ว
6. เปิดวาล์ว METERING เต็มที่และค่อยๆ เปิดวาล์ว GAS OUT ให้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวไหลออก จนถึงระดับตัวอย่างแล้วปิดวาล์วเฉพาะ GAS OUT
7. ทำซ้ำตามข้อ 5 – 6 ประมาณ 15 - 20 ครั้ง ปิดวาล์ว GAS IN และ GAS OUT พักไว้ 5 นาที
8. ทำซ้ำข้อ 7 หากเป็นตัวอย่างชิ้นใหญ่หรือเซลล์ที่เลี้ยงบนวุ้นให้ทำซ้ำในข้อ 7 2 – 3 ครั้ง จากนั้นให้คาร์บอนไดออกไซด์เหลวอยู่ระดับครึ่ง chamber แล้วปิดวาล์วทุกตัวรวมทั้งท่อคาร์บอนไดออกไซด์เหลว
9. ตั้งอุณหภูมิที่ 40 °C พักไว้ประมาณ 20 นาที ความดันจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นถึงระดับ 85 bar
10. ปิดสวิตช์ TEMP เปิดวาล์ว GAS OUT แล้วค่อยๆ เปิดวาล์ว METERING ให้แก๊สออกอย่างช้าๆ ควรใช้เวลา 15 นาทีหรือมากกว่า เมื่อความดันลดลงเข้าใกล้ 0 ให้เปิดวาล์วเต็มที
11. ปิดฝา chamber แล้วเอาตัวอย่างออก ปิดสวิตช์ STIRRER และ MAINS

ก.3 การใช้เครื่องฉาบผิว (Sputter Coater)

ยี่ห้อ	Balzers รุ่น SCD 040 ประเทศผู้ผลิต Liechtenstein
ประโยชน์	ใช้ฉาบผิวตัวอย่างให้เป็นฟิล์มบางด้วยทอง เพื่อให้พื้นผิวตัวอย่างนำไฟฟ้าก่อนที่จะนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
หลักการ	ใช้แผ่นทองเป็นเป้าโลหะติดไว้ที่ขั้วแคโทด ส่วนตัวอย่างที่จะฉาบวางไว้ที่แอโนด แล้วดูดอากาศภายในภาชนะออกจนเป็นสุญญากาศที่ระดับความดันประมาณ 0.05 mbar จากนั้นปล่อยแก๊สอาร์กอนเข้าไปและให้กระแสไฟฟ้าอาร์กอน ไอออนประจุบวกจะเคลื่อนไปที่แคโทดและพุ่งชนเป้า ทำให้อะตอมของทองหลุดออกมา ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนไปที่แอโนด การเคลื่อนที่ของไอออนและอิเล็กตรอนระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง จะเกิดการชนกับอะตอมของทอง ทำให้อะตอมฟุ้งกระจายและกระทบกับผิวตัวอย่าง จนเกิดเป็นฟิล์มบางเคลือบที่ผิว ในขณะที่เดียวกันจะเห็นแสงสีม่วงระหว่างขั้วอิเล็กโทรด เรียกว่า Glow discharge ซึ่งเกิดจากกลุ่มอะตอมของแก๊สที่อยู่ในสถานะกระตุ้น (excited state) เมื่อกลับสู่สถานะพื้นฐาน (ground state) จะมีการคายพลังงานออกมาในรูปของแสง



ขั้นตอนการใช้เครื่อง

1. ยก sputtering head ค้างไว้ (ปกติเมื่อยกขึ้นจะค้างไว้ได้เอง แต่ปัจจุบันเสียแล้วให้หาวัสดุมาหนุนแทน) วางสตั๊บบตัวอย่างบนแท่น (specimen table) และจัดวางให้อยู่ตรงกลาง (สตั๊บบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 ซม. วางได้ประมาณ 15 อัน) แล้วยก sputtering head ลง ตรวจสอบเช็คด้วยว่าวาง o-ring อยู่ในสภาพเรียบร้อยและปิดสนิท
2. เปิดสวิตช์ power ด้านข้างตัวเครื่อง (ขวามือ) จะได้ยินเสียงบี๊มทำงาน รอจนกระทั่งความดันภายใน chamber ประมาณ 0.05 mbar

3. ระหว่างคอยให้ chamber เป็นสุญญากาศให้ตั้งเวลาฉายที่ TIMER โดยกดปุ่ม SET ค้างไว้ พร้อมกับกดปุ่ม FAST หรือ SLOW จนตัวเลขบนหน้าปัดเครื่องแสดงเวลาตามที่ต้องการ และตรวจเช็คระยะห่างการฉาย (working distance) ซึ่งดูได้จากสเกลด้านหน้า chamber ปกติจะตั้งที่ระยะ 6 ซม. กรณีที่ใช้สตัปสูง 1 ซม. หากต้องการเปลี่ยนแปลงให้ไปที่ TABLE แล้วกด UP หรือ DOWN จนได้ระยะห่างตามต้องการ
4. เปิดท่อแก๊สอาร์กอน หมุน pressure gage ไปที่ 60 psi แล้วหมุน gas dosing valve ให้แก๊สอาร์กอนเข้าไปใน chamber แล้วปิด ความดันภายใน chamber จะเพิ่มขึ้น ให้รอจนกระทั่งความดันลงมาถึง 0.05 mbar อีกครั้ง
5. กดปุ่ม SPUTTERING 2 ครั้ง (ไฟเหลืองติด)
6. กดปุ่ม STOP (ไฟแดงกระพริบ) แล้วตั้งกระแสที่ CURRENT โดยกดปุ่ม UP หรือ DOWN จนตัวเลขบนหน้าปัดแสดง 15 mA
7. กดปุ่ม START (ไฟเขียวติด) เวลาที่หน้าปัดจะนับถอยหลังไปเรื่อยๆ จนถึง 0
8. ปิดสวิทช์ power ปิดท่อแก๊สอาร์กอนแล้วคลายเกลียว pressure gage จากนั้นเอาสตัปออกจาก chamber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าแอกทีวิตีในกุ้งอบแห้งที่
อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	#1		#2	
	Moisture ratio	a_w	Moisture ratio	a_w
0	1.00	0.99	1.00	0.99
1	0.87	0.99	0.83	0.98
2	0.74	0.99	0.74	0.97
3	0.68	0.97	0.67	0.96
4	0.60	0.94	0.58	0.95
5	0.48	0.92	0.47	0.93
6	0.39	0.89	0.39	0.90
7	0.35	0.81	0.35	0.82
8	0.31	0.77	0.31	0.82
9	0.24	0.73	0.24	0.78
10	0.17	0.68	0.17	0.68
11	0.13	0.65	0.13	0.64
12	0.07	0.56	0.08	0.57
13	0.04	0.51	0.05	0.53
14	0.03	0.44	0.04	0.43
15	0.02	0.37	0.02	0.35
16	0.01	0.27	0.01	0.26
17	0.00	0.26	0.00	0.26
18	0.00	0.25	0.00	0.25
19	0.00	0.24	0.00	0.24
20	0.00	0.22	0.00	0.23

หมายเหตุ #1 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 1

#2 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าออกเตอร์แอคทีวิตีในกุ้งอบแห้งที่
อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	#1		#2	
	Moisture ratio	a_w	Moisture ratio	a_w
0	1.00	0.99	1.00	0.99
1	0.78	0.98	0.77	0.98
2	0.64	0.97	0.61	0.97
3	0.40	0.93	0.47	0.94
4	0.29	0.86	0.30	0.88
5	0.22	0.81	0.21	0.83
6	0.15	0.77	0.14	0.78
7	0.09	0.71	0.08	0.71
8	0.06	0.64	0.05	0.65
9	0.04	0.56	0.03	0.52
10	0.02	0.31	0.02	0.34
11	0.02	0.28	0.01	0.30
12	0.00	0.24	0.00	0.25
13	0.00	0.23	0.00	0.23
14	0.00	0.20	0.00	0.20
16	0.00	0.19	0.00	0.19
18	0.00	0.18	0.00	0.19
20	0.00	0.17	0.00	0.18

หมายเหตุ

#1 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 1

#2 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่าแวลอร์แอกทิวิตี้ในถุงอบแห้งที่

อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	#1		#2	
	Moisture ratio	a_w	Moisture ratio	a_w
0	1.00	0.99	1.00	0.99
1	0.72	0.92	0.65	0.93
2	0.47	0.81	0.46	0.84
3	0.32	0.66	0.27	0.69
4	0.20	0.47	0.22	0.52
5	0.10	0.44	0.10	0.49
6	0.04	0.41	0.03	0.45
7	0.00	0.27	0.00	0.31
8	0.00	0.20	0.00	0.21
9	0.00	0.19	0.00	0.20
10	0.00	0.20	0.00	0.19
12	0.00	0.19	0.00	0.19
14	0.00	0.18	0.00	0.18
16	0.00	0.17	0.00	0.17
18	0.00	0.18	0.00	0.17
20	0.00	0.17	0.00	0.17

หมายเหตุ #1 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 1
#2 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 2

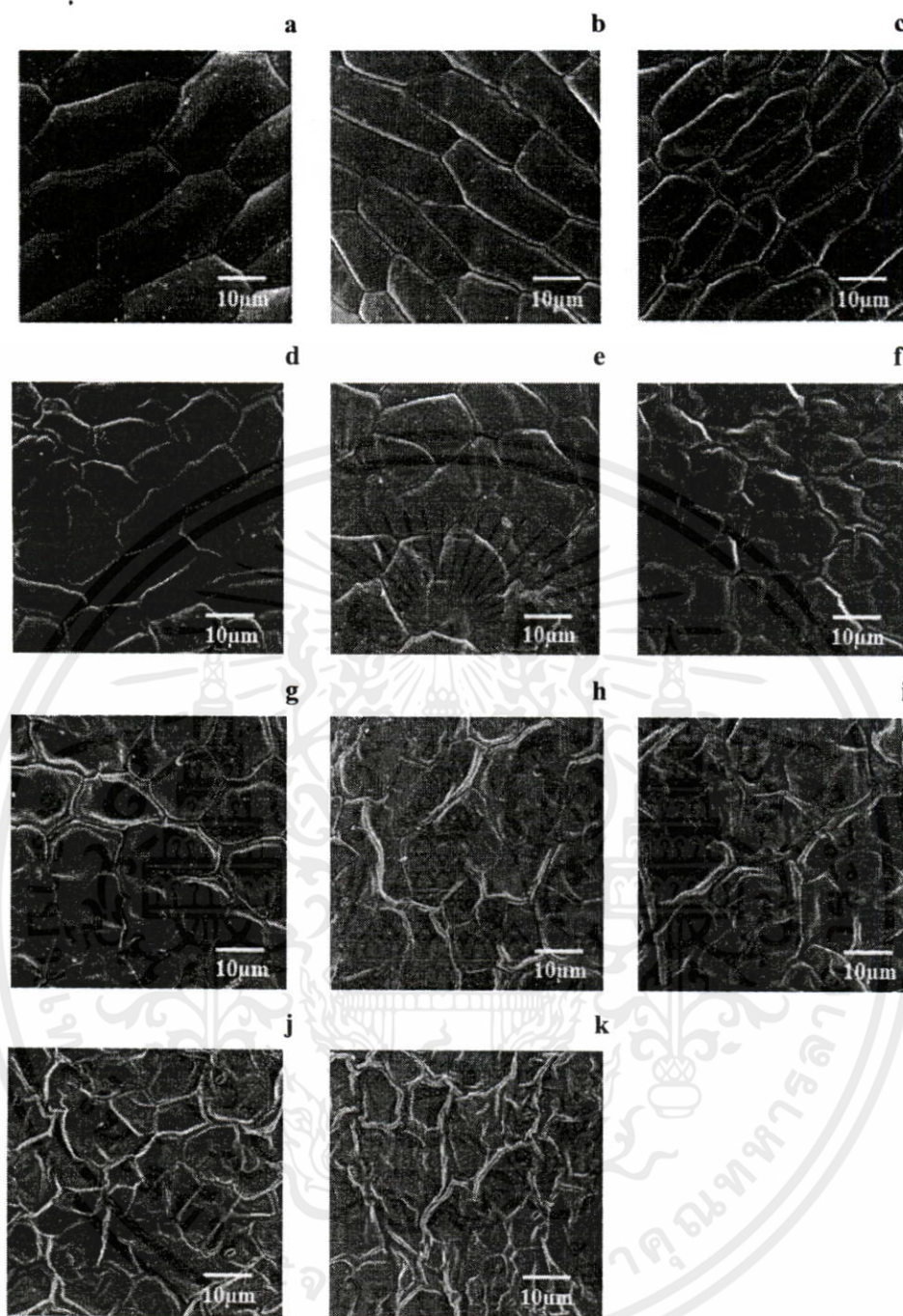
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหนังระหว่างอบแห้งที่สภาวะต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ(°C)					
	50		60		70	
	#1	#2	#1	#2	#1	#2
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.08	0.07	0.17	0.15	0.40	0.39
4	0.17	0.27	0.47	0.51	0.72	0.69
6	0.44	0.38	0.74	0.83	1.11	1.01
8	0.50	0.58	0.89	0.97	1.24	1.19
10	0.74	0.73	1.12	1.16	1.32	1.30
12	0.91	0.94	1.21	1.21	1.37	1.32
14	1.16	1.17	1.31	1.35	1.40	1.42
16	1.40	1.38	1.44	1.44	1.46	1.43
18	1.41	1.42	1.43	1.45	1.45	1.45
20	1.43	1.42	1.44	1.45	1.44	1.47

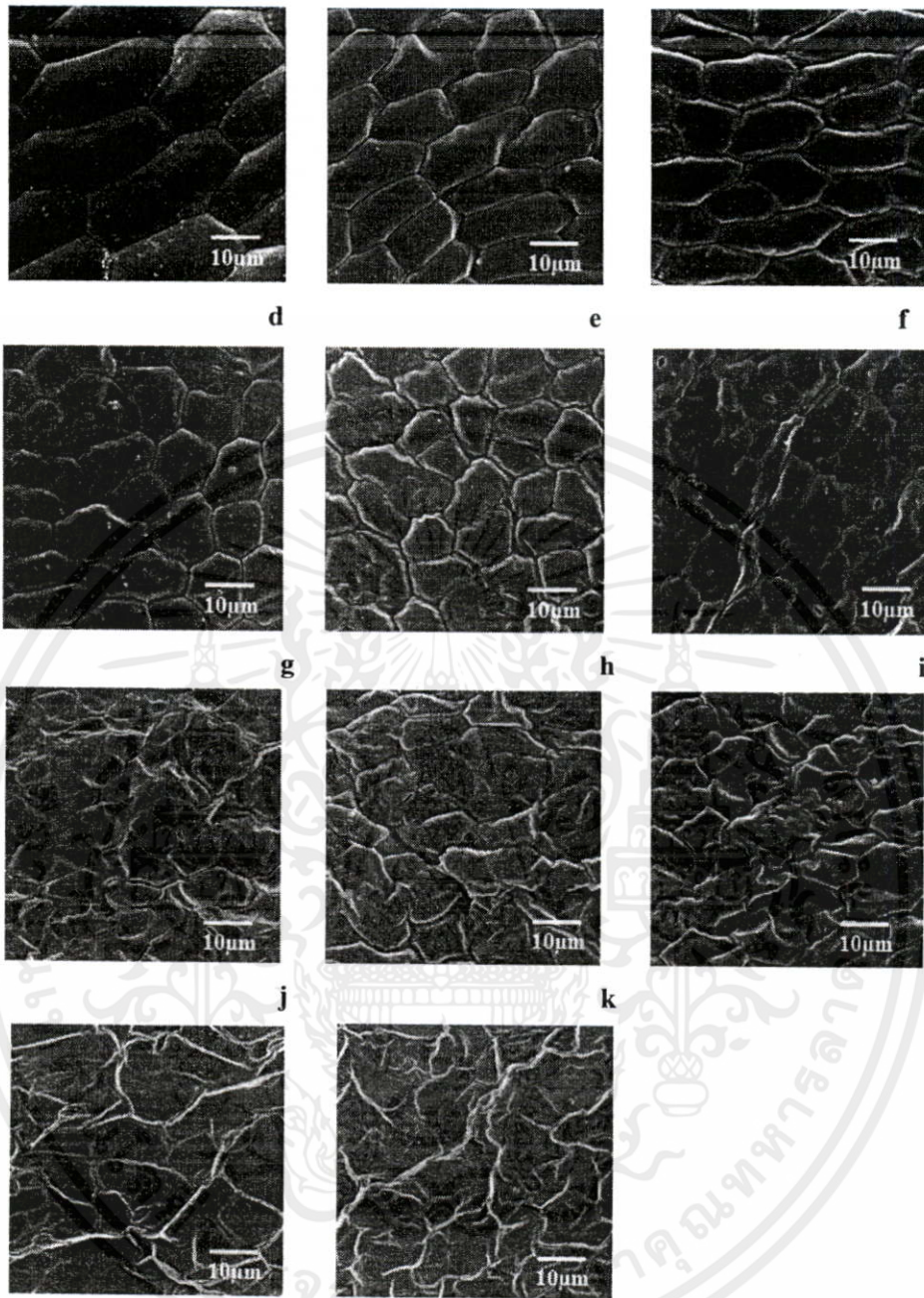
หมายเหตุ #1 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 1
#2 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



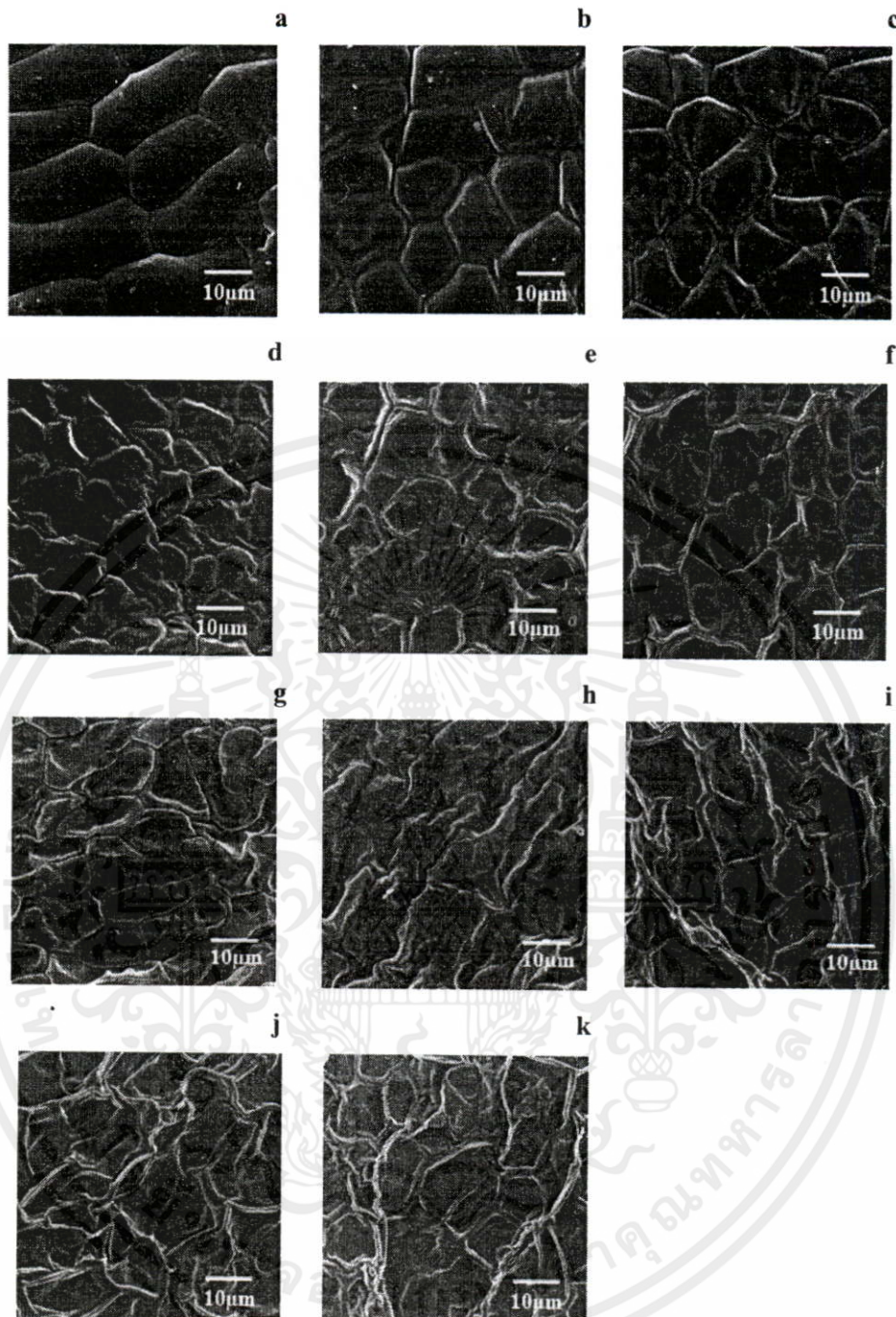
รูปที่ ข.1 ภาพ Micrograph (กำลังขยาย 350 เท่า) แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา (a)0, (b)2, (c)4, (d)6, (e)8, (f)10, (g)12, 14(h), 16(i), 18(j), 20(k) ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับการทดลองครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



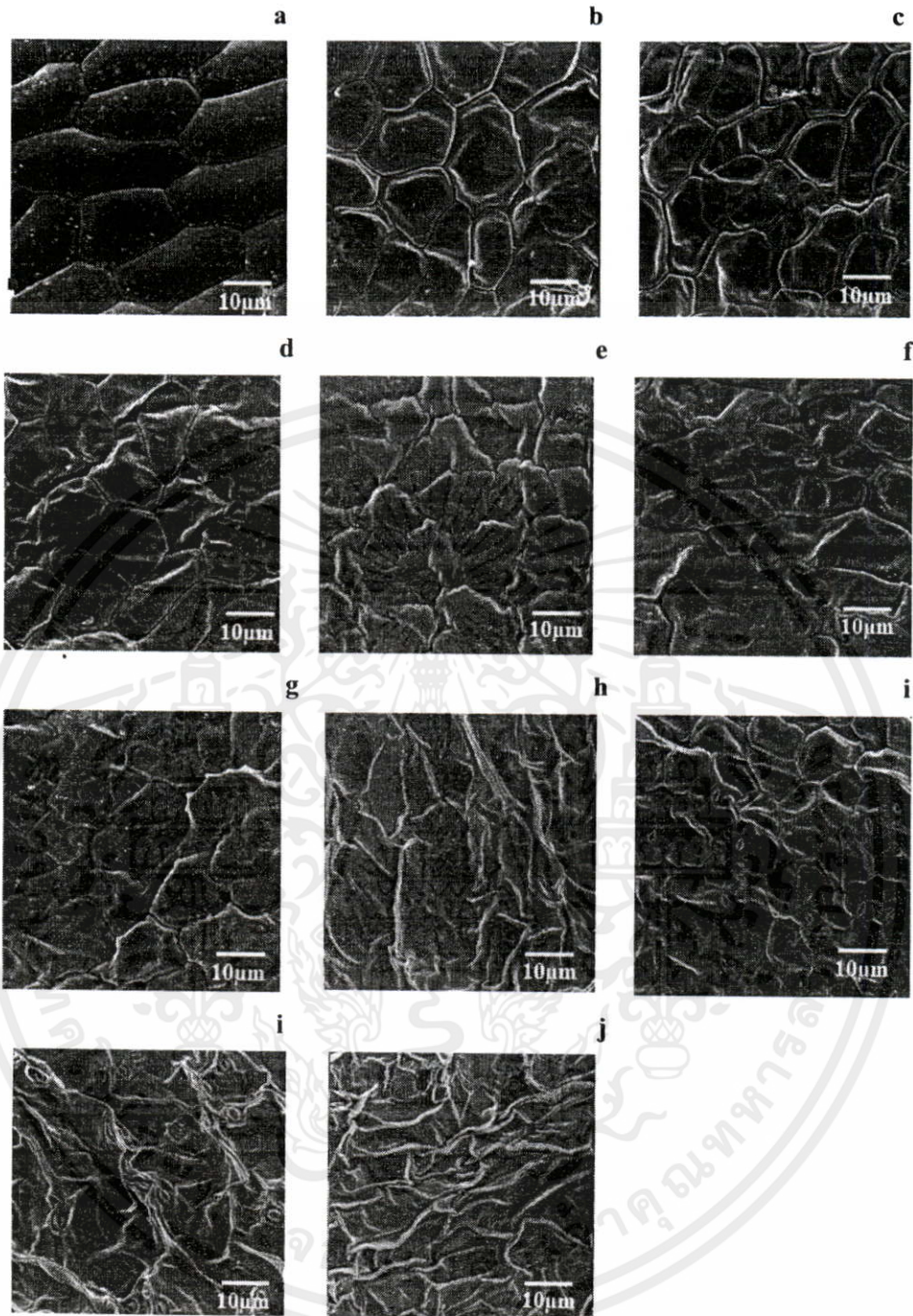
รูปที่ ข.2 ภาพ Micrograph (กำลังขยาย 350 เท่า) แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา (a)0, (b)2, (c)4, (d)6, (e)8, (f)10, (g)12, 14(h), 16(i), 18(j), 20(k) ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



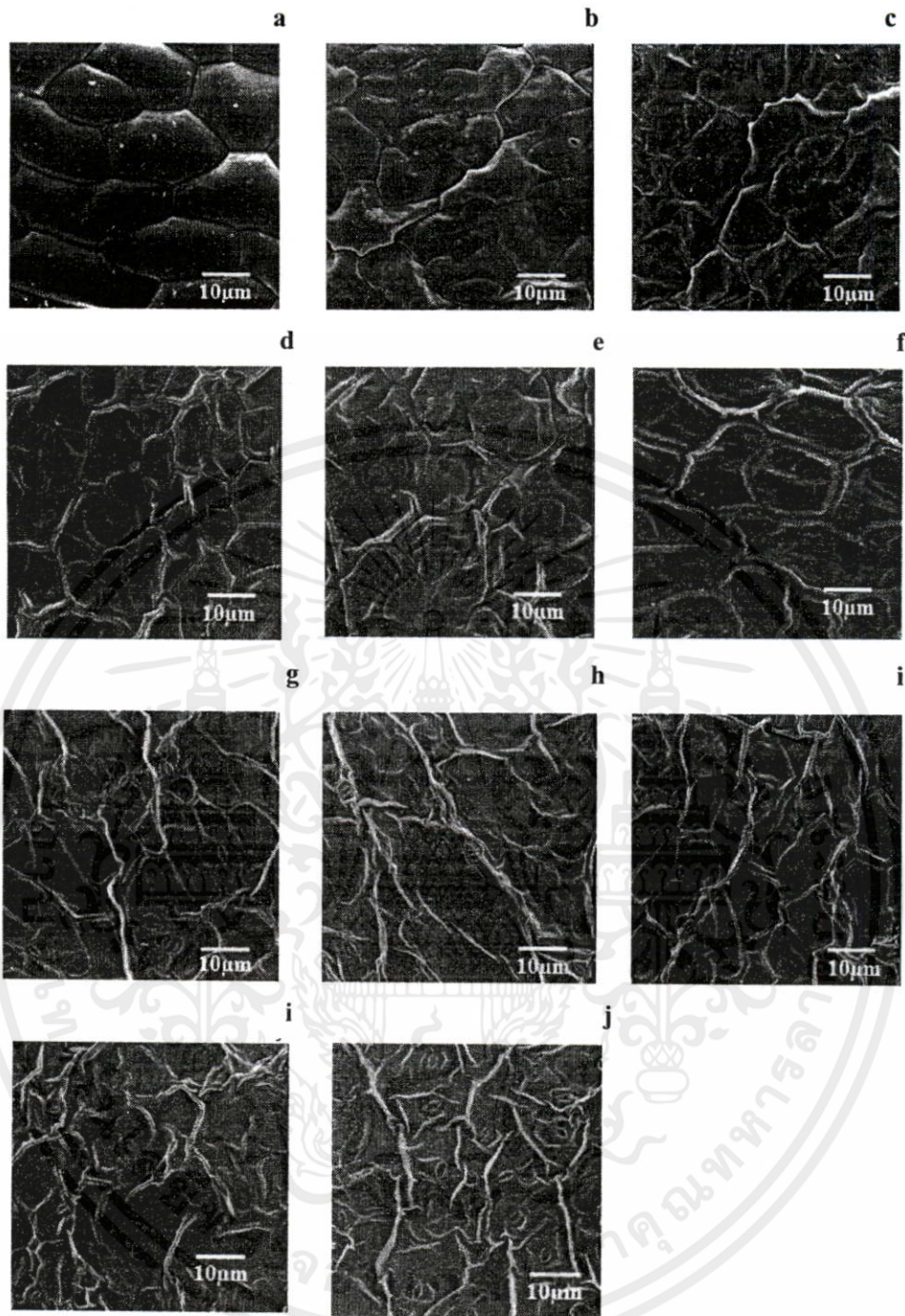
รูปที่ ข.3 ภาพ Micrograph (กำลังขยาย 350 เท่า) แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา (a)0, (b)2, (c)4, (d)6, (e)8, (f)10, (g)12, 14(h), 16(i), 18(j), 20(k) ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับการทดลองครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



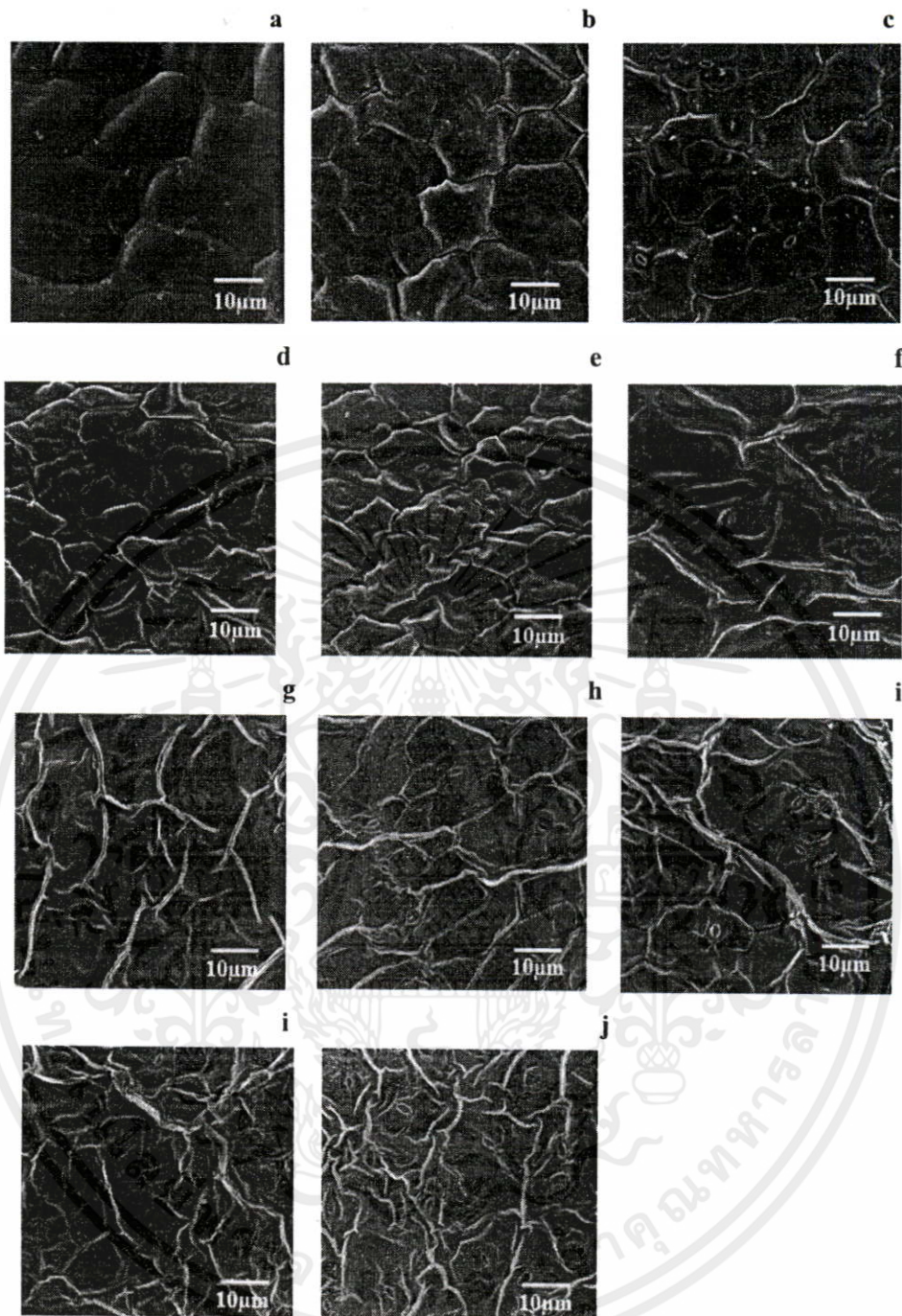
รูปที่ ๔.4 ภาพ Micrograph (กำลังขยาย 350 เท่า) แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา (a)0, (b)2, (c)4, (d)6, (e)8, (f)10, (g)12, 14(h), 16(i), 18(j), 20(k) ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.5 ภาพ Micrograph (กำลังขยาย 350 เท่า) แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา (a)0, (b)2, (c)4, (d)6, (e)8, (f)10, (g)12, 14(h), 16(i), 18(j), 20(k) ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับการทดลองครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๖.๖ ภาพ Micrograph (กำลังขยาย 350 เท่า) แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากึ่งระหว่างอบแห้งที่ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา (a)0, (b)2, (c)4, (d)6, (e)8, (f)10, (g)12, 14(h), 16(i), 18(j), 20(k) ชั่วโมง ตามลำดับ สำหรับการทดลองครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 การลดลงของ *S. Anatum* (cfu/g) ในกึ่งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 50

องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	#1	#2	#3
0	5.60E+06	6.00E+06	8.85E+06
1	1.96E+06	2.27E+06	3.18E+06
2	8.50E+05	8.05E+05	9.90E+05
3	6.00E+05	6.50E+05	5.15E+05
4	3.40E+05	2.42E+05	1.54E+05
5	9.95E+04	8.15E+04	8.65E+04
6	6.95E+04	6.95E+04	6.90E+04
7	5.00E+04	6.00E+04	5.65E+04
8	4.60E+04	5.30E+04	5.15E+04
9	3.90E+04	3.85E+04	4.45E+04
10	3.45E+04	3.06E+04	3.01E+04
11	2.85E+04	2.76E+04	2.96E+04
12	2.32E+04	2.55E+04	2.82E+04
13	2.00E+04	1.92E+04	2.66E+04
14	1.57E+04	1.91E+04	2.41E+04
15	1.31E+04	1.32E+04	2.33E+04
16	9.85E+03	1.24E+04	2.05E+04
17	9.60E+03	1.19E+04	1.99E+04
18	1.08E+04	1.15E+04	1.52E+04
19	8.45E+03	8.75E+03	1.28E+04
20	8.10E+03	8.90E+03	1.16E+04

หมายเหตุ #1 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 1

#2 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 2

#3 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 การลดลงของ *S. Anatum* (cfu/g) ในกึ่งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 60

องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	#1	#2	#3
0	6.20E+06	8.00E+06	5.80E+06
1	7.60E+05	1.00E+06	6.15E+05
2	2.69E+05	3.25E+05	2.86E+05
3	1.23E+05	1.20E+05	1.13E+05
4	2.82E+04	4.05E+04	4.09E+04
5	7.20E+03	7.05E+03	6.50E+03
6	2.00E+03	1.75E+03	2.12E+03
7	4.95E+02	4.20E+02	4.70E+02

หมายเหตุ #1 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 1
 #2 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 2
 #3 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 การลดลงของ *S. Anatum* (cfu/g) ในกึ่งระหว่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 70

องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	#1	#2	#3
0	6.00E+06	4.75E+06	4.75E+06
0.5	1.13E+06	1.00E+06	9.20E+05
1	1.16E+05	8.35E+04	6.10E+04
1.5	3.45E+04	2.94E+04	2.18E+04
2	2.94E+03	1.09E+04	9.25E+03
2.5	1.20E+03	1.08E+03	6.20E+02
3	3.40E+02	4.50E+02	2.95E+02

หมายเหตุ

#1 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 1

#2 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 2

#3 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ค่าพารามิเตอร์ b และ n ของ *S. Anatum* ในกึ่งระหว่างอบแห้งที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	b			N		
	#1	#2	#3	#1	#2	#3
50	1.04	0.72	0.76	0.38	0.48	0.46
60	0.67	0.70	0.69	0.88	0.89	0.89
70	1.63	1.65	1.54	0.92	0.90	0.93

หมายเหตุ #1 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 1
 #2 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 2
 #3 หมายถึง การทดลองครั้งที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายประสงค์ วิเศษสุนทร เกิดเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2526 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
บัณฑิต สาขาอุตสาหกรรมเกษตร จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คณะอุตสาหกรรมเกษตร ปีการศึกษา 2548 ศึกษาต่อในระดับวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ณ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในสาขาวิชาสุขาภิบาลอาหารปี พ.ศ. 2549 และ
สำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2552

ประวัติการทำงาน

พฤษภาคม พ.ศ. 2549

เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ บริษัท อินเตอร์
แปซิฟิก มารีน โปรดักส์ จำกัด

ตุลาคม พ.ศ. 2550

เจ้าหน้าที่ฝ่ายเทคนิค บริษัท บูโรเวอริทัส เซอทิฟิเคชั่น
(ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้