วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 28:2(29--36)

การใช้เทคนิคประมวลผลภาพเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวกุ้งระหว่างการอบแห้ง

Application of Image Processing to Analyse Surface Characteristics of Shrimp during Drying

ประสงค์ วิเศษสุนทร[1] และกิตติชัย บรรจง[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพเพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวของกุ้งในระหว่างกระบวนการอบแห้ง โดยใช้กุ้งเป็นตัวอย่างและทำการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50-70 องศาเซลเซียส การพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพเริ่มจากการถ่ายภาพลักษณะพื้นผิวกุ้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากนั้นจึงแปลงภาพต้นแบบให้เป็นค่าระดับสีเทา (Gray scale) แล้วจึงแปลงให้เป็นภาพแบบขาวดำ (Binary image) ด้วยการกำหนดค่า Threshold ที่เหมาะสม จากนั้นจึงทำการเก็บค่าแบบขาวดำของทุกๆ Pixel บนรูปภาพ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวกุ้ง โดยอธิบายลักษณะของพื้นผิวกุ้งในรูปของแฟคเตอร์ความขรุขระ (Roughness factor, R) จากผลการศึกษาพบว่าค่า R ของกุ้งเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการอบแห้งนานขึ้นและอุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ซึ่งค่า R สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณความชื้นของตัวอย่าง โดยค่า R สามารถใช้เป็นดัชนีแสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของกุ้งในระหว่างการอบแห้งได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : กุ้ง; การอบแห้ง; การประมวลผลภาพ

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.

Keywords : Shrimp; Drying; Image processing

[1]สาขาวิชาสุขาภิบาลอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมแปรรูปอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารที่ได้รับความนิยมวิธีหนึ่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดความชื้น การหยุดยั้งปฏิกิริยา เอนไซม์ และการทำลายจุลินทรีย์ในอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ Hartel and Heldman (1999) นอกจากนี้ยังช่วยให้อาหารมีลักษณะทางกายภาพ สี กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการเน่าเสีย รวมทั้งยังเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารอีกด้วย อย่างไรก็ตามในระหว่างกระบวนการอบแห้ง อาหารมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่าง ๆ ทั้งทางเคมี กายภาพ รวมถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหาร

สำหรับลักษณะทางกายภาพของอาหาร เป็นสมบัติเชิงปริมาณที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค ในระหว่างกระบวนการอบแห้ง อาหารจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เช่น การหดตัว การเปลี่ยนสี ทั้งนี้เกิดจากการสูญเสียน้ำและปริมาณความชื้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารแห้ง โดยวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยอธิบายการเปลี่ยนแปลงนี้ ได้แก่ การสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากภาพซึ่งได้จากกล้องถ่ายรูปกำลังขยายสูง เช่น scanning electron microscope (SEM) และ confocal scanning light microscope (CLSM) Aguilera (2003)

การประมวลผลภาพมีวัตถุประสงค์ต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของภาพ และข้อมูลที่ต้องการศึกษา ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่นำเทคนิคการวิเคราะห์ภาพมาใช้เพื่อศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารระหว่างกระบวนการผลิต

Nieto *et al.* (2004) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของแอปเปิ้ลในระหว่างการอบแห้งด้วยวิธีออสโมติก โดยสังเกตลักษณะการหดตัว ความเป็นรูพรุน ความหนาแน่น และโครงสร้างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Light microscope) และกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope) จากผลการสังเกตพบว่าภาพที่ได้จากกล้องทั้งสองชนิดสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าวได้ แต่อย่างไรก็ตามภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ในเชิงปริมาณ

Briones and Aguilera (2005) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของช็อกโกแลตโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์ภาพ จากการวิเคราะห์ภาพสามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงของผิวช็อกโกแลตในระหว่างการเกิดการรวมตัวของผิว (Blooming) และสามารถสังเกตเห็นลักษณะของเม็ดไขมันในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 16 และ 28 องศาเซลเซียส นาน 52 วัน โดยตัวอย่างถูกถ่ายภาพในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิดังกล่าวทุก ๆ 2 วัน เก็บภาพขนาด1600×1200 พิกเซล ในรูป JPG จากนั้นนำภาพไปวิเคราะห์โดยใช้ Matlab (version 6.5) วิเคราะห์สีโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ และวัดสีในระบบ Hunter *Lab* system ผลการทดลองพบว่าวิธีการวิเคราะห์ภาพโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการวิเคราะห์ภาพนี้ สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงของสีช็อกโกแลต ในระหว่างการเก็บรักษาได้ และสามารถนำผลการทดลองไปเป็นมาตรฐานในการสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของสีได้

อย่างไรก็ตามภาพที่ได้นั้นไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงได้ในเชิงปริมาณ ซึ่งการนำการวิเคราะห์ค่าเชิงปริมาณ ได้แก่ การวิเคราะห์ค่าแฟรคทัล (Fractal dimension) ค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้า (Roughness) ค่าการหดตัว (Shrinkage) มาใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเป็นวิธีที่น่าสนใจในการนำมาใช้เพื่อช่วยอธิบายการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุอาหาร

ปัจจุบันงานวิจัยที่นำการวิเคราะห์ค่าเชิงปริมาณจากเทคนิคการประมวลผลภาพมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารยังไม่เป็นที่แพร่หลายในการทำนายการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกายภาพของอาหารและการควบคุมคุณภาพของอาหารในระหว่างการอบแห้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผิวหน้าของกุ้ง โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing Technique) ในการพิจารณาและติดตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของกุ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมกุ้งตัวอย่างเพื่ออบแห้ง

กุ้งขาวขนาด 80 ตัวต่อกิโลกรัมจาก ตลาดสดหัวตะเข้ หักหัว ปอกเปลือก ล้างด้วยน้ำสะอาด นำไปต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที

การอบแห้งกุ้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการอบแห้งกุ้ง คือ ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) (ความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาที) ยี่ห้อ Memmert รุ่น ULM 600/II ประเทศเยอรมัน ก่อนอบแห้งทุกครั้งต้องรอให้อุณหภูมิภายในตู้ถึงจุดที่ตั้งไว้เป็นเวลา 30 นาที ในระหว่างการอบแห้งจะวางกุ้งบนถาดที่มีขนาด 30×40 ตารางเซนติเมตร จำนวน 3 ถาด ๆ ละ 1 ชั้น อบแห้งที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

การเตรียมตัวอย่างและศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้ง

เตรียมกุ้งตัวอย่างหลังอบแห้งให้มีขนาดไม่เกิน 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) โดยใช้กำลังขยาย 350X

ภาพ (Micrograph) ที่ได้จากการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ Jelo รุ่น JSM-540LV ประเทศญี่ปุ่น จะถูกบันทึกเป็นไฟล์รูปภาพแบบ BMP (Bitmap image file format) ขนาด 0.35×0.35 มิลลิเมตร จากนั้นนำภาพดังกล่าวมาวิเคราะห์ภาพด้วยเทคนิคการประมวลผลภาพ (Image Processing technique) โดยใช้โปรมแกรม Matlab (Matlab™ Software version 6.5) ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ

การประมวลผลภาพ ทำได้โดยนำภาพต้นแบบจากการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ขนาด 0.35×0.35 มิลลิเมตร มาปรับให้ภาพมีขนาด 520×520 พิกเซล หรือ 0.23×0.23 มิลลิเมตรของภาพจริง แล้วกลับสีภาพจากภาพแบบดัชนี (Index image) เป็นภาพแบบระดับสีเทา (Gray scale image) เพื่อต้องการทำให้ความเข้มของแม่สีในภาพมีระดับเดียวกัน (Intensity transformation) จะได้ภาพระดับสีเทาที่มีค่าสีตั้งแต่ 0-255 ก่อนนำมากรองสัญญาณรบกวน ด้วยตัวกรองแบบเกาส์เซียน (Gaussian filter) เพื่อขจัดสัญญาณรบกวนและเพิ่มความต่อเนื่องของข้อมูล จากนั้นนำภาพที่ผ่านการกรองสัญญาณรบกวนมาทำการวิเคราะห์ต่อด้วยการสร้างภาพเป็นภาพแบบขาวดำ (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 ที่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลในงานวิจัยนี้ คือ 0.35-0.60 ซึ่งได้จากการปรับค่าของช่วง Thresholdในระหว่างวิเคราะห์โดยใช้โปรมแกรม Matlab (Matlab™ Software version 6.5) ด้วยวิธีการสุ่มเพื่อให้ได้ภาพที่มีความชัดเจนของความแตกต่างของค่าสีขาวและสีดำที่ชัดเจนที่สุด โดยค่าต่ำที่สุดคือ 0 และมากที่สุดคือ 1 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 มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 0 และหากค่าของ Pixel มากกว่าค่า Target value ให้ Pixel นั้นมีค่าเป็น 1 จากนั้นทำการนับจุดสีขาว (มีค่าเท่ากับ 1) ที่เกิดขึ้น ซึ่งแสดงถึงค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้ง (Roughness factor) และสามารถคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้งในระหว่างการอบแห้ง

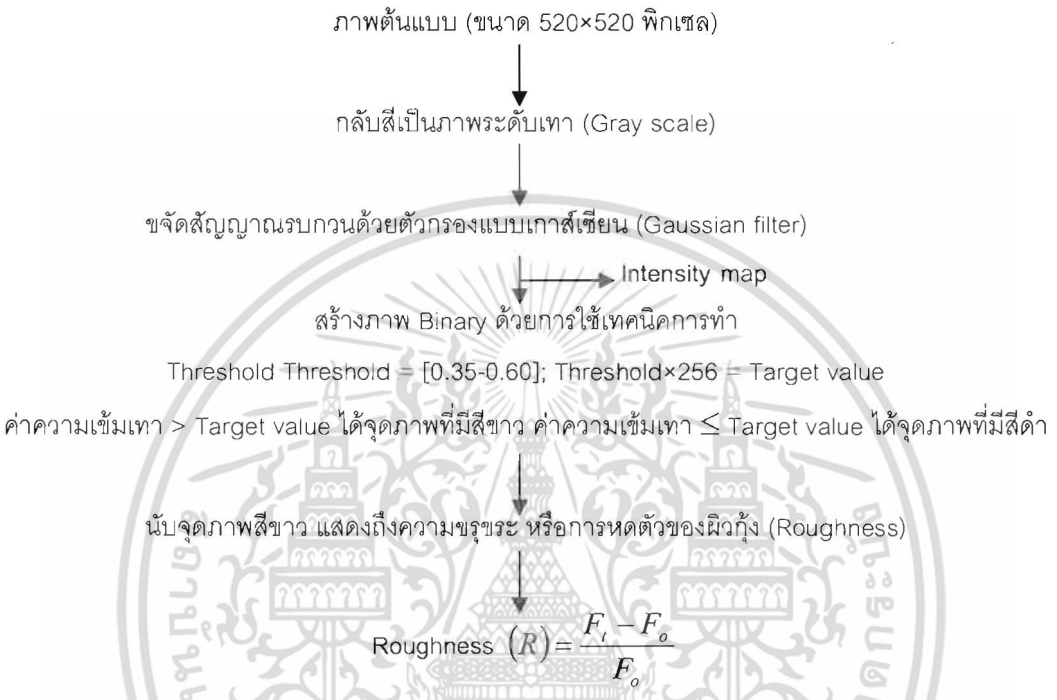

Figure 1 Step of Image Processing

การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (General full factorial design) ใช้โปรแกรม SPSS version 11 สำหรับการวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทำการทดลอง 3 ซ้ำและวิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองที่แสดงอยู่ในรูปค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผิวหน้ากุ้ง

Figure 2, 3 และ 4 แสดงภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 350 เท่า ของผิวหน้ากุ้งในระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส โดยจับภาพตัวอย่างขนาด 520×520 พิกเซล พบว่าลักษณะการหดตัวของตัวอย่างเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือการหดตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออบแห้งเป็นเวลานานขึ้น โดยลักษณะผิวหน้ากุ้ง ก่อนอบแห้งมีความเรียบเมื่อเทียบกับลักษณะผิวหน้ากุ้งที่อบแห้งในช่วงเวลาอื่น หลังจากอบแห้งนานขึ้นลักษณะผิวหน้ากุ้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยเซลล์กุ้งเกิดการหดตัว เนื่องจากน้ำภายในเซลล์กุ้งระเหยออกทำให้สูญเสียความสมบูรณ์ของเซลล์กุ้ง และอบแห้งนานมากขึ้นจะเห็นการหดตัวของเซลล์กุ้งได้ชัดเจนขึ้น สำหรับกุ้งอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

70 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้งเป็นไปในลักษณะเดียวกับที่ 50 องศาเซลเซียส โดยตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงกว่ามีอัตราการหดตัวมากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งส่งผลโดยตรงต่อลักษณะการหดตัวของผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการทดลองสังเกตได้ว่าช่วงแรกของการอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผิวหน้า (การหดตัว) ของตัวอย่างเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนคงที่เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้เกิดความแตกต่างของความชื้น ณ จุดต่างๆ ภายในผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ตัวอย่างจึงมีการหดตัวเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้งอบแห้งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ณ เวลาเดียวกัน พบว่าตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีการหดตัวน้อยกว่าตัวอย่างที่อบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า (60 และ 70 องศาเซลเซียส)

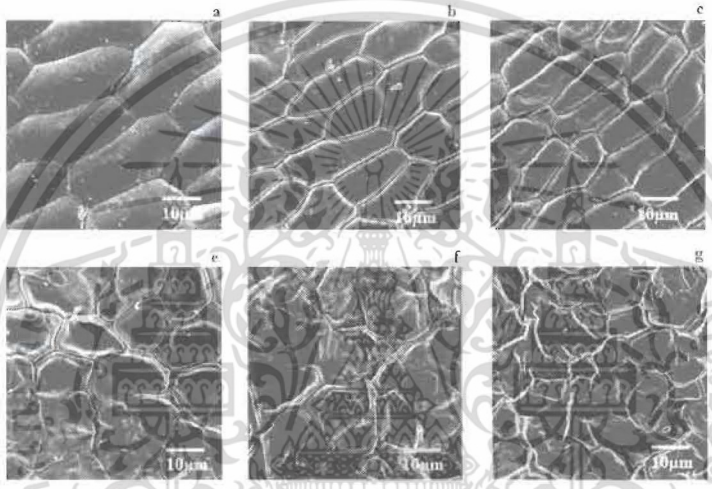

Figure 2 SEM images (350×) of shrimp surface during drying at 50 °C At (a) 0, (b) 4, (c) 8, (d) 12, (e) 16 and (f) 20 h

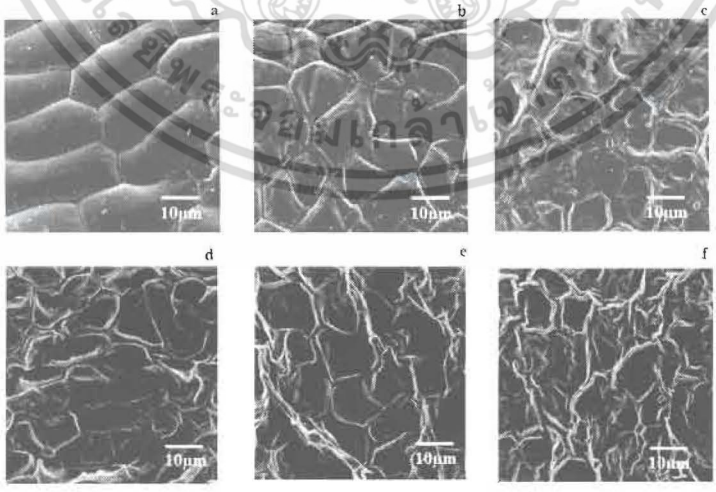

Figure 3 SEM images (350×) of shrimp surface during drying at 60 °C At (a) 0, (b) 4, (c) 8, (d) 12, (e) 16 and (f) 20 h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

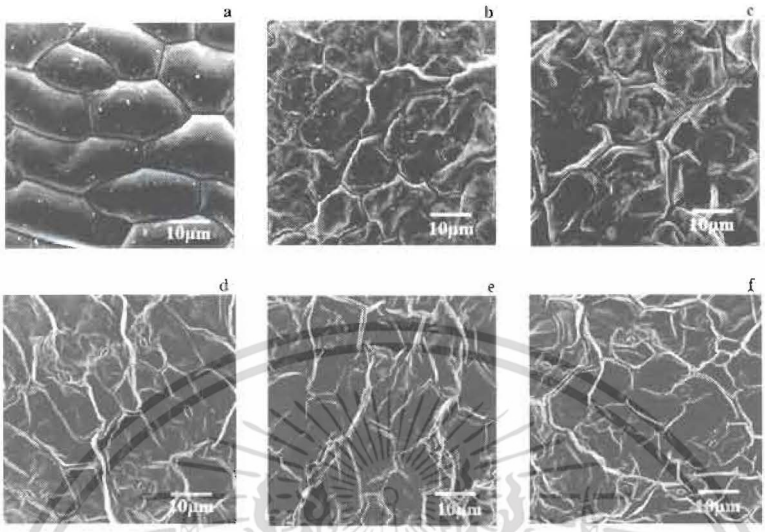

Figure 4 SEM images (350×) of shrimp surface during drying at 70 °C At (a) 0, (b) 4, (c) 8, (d) 12, (e) 16 and (f) 20 h

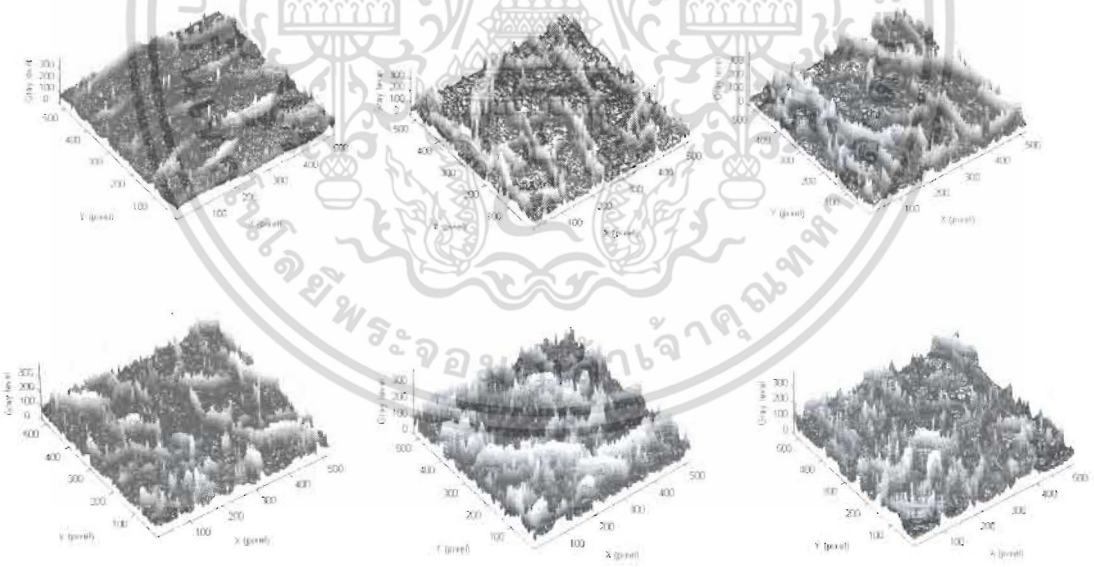

Figure 5 Representative of Intensity map obtained from SEM images of Figure 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

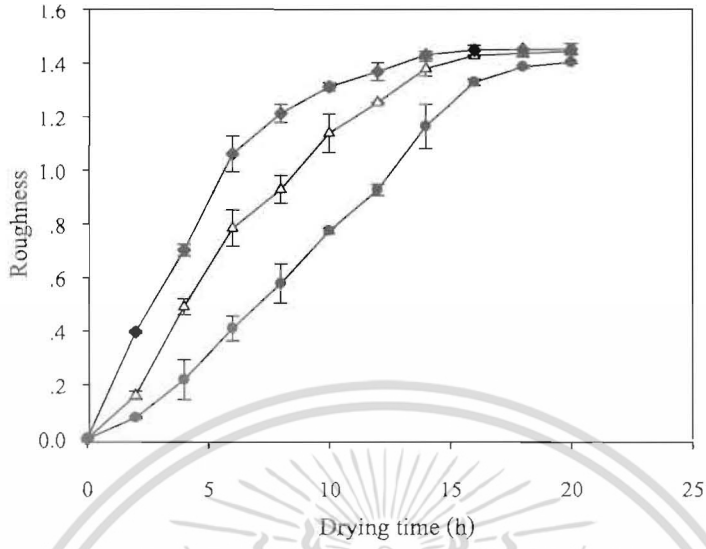

Figure 6 Roughness of shrimp undergoing hot air drying at 50(●), 60(Δ) and 70(◆) °C

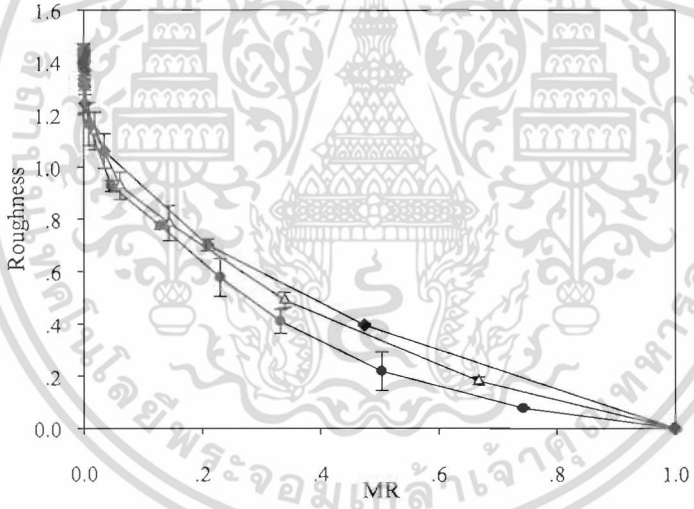

Figure 7 Roughness vs. moisture ratio of shrimp undergoing hot air drying at 50(●), 60(Δ) and 70(◆) °C

เมื่อนำภาพถ่ายจาก SEM มาทำการแปลงเป็นค่า Gray scale จะสามารถเขียนกราฟ Intensity map ดังแสดงใน Figure 5 ซึ่งกราฟ intensity map ดังกล่าวสามารถใช้เป็นตัวแทนภาพ SEM ได้เป็นอย่างดี พบว่ากุ้งที่มีลักษณะผิวเรียบ จะทำให้มองเห็นภาพค่อนข้างดำ นั่นคือค่า Gray scale ต่ำ แต่เมื่ออบแห้งนานขึ้นผิวหน้ากุ้งหดตัวมากขึ้น ทำให้มองเห็นภาพเป็นสีขาวมากขึ้น ค่า Gray scale จึงสูงขึ้นด้วย โดยกราฟ Intensity map ดังกล่าวสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้ง

สำหรับการอธิบายการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้งในระหว่างอบแห้งได้อธิบายในรูปของค่า *R* (Roughness factor) ซึ่งอยู่ในรูปของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า *R* เทียบกับค่าเริ่มต้น Figure 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า *R* เมื่ออบแห้งที่เวลาและอุณหภูมิต่างๆ โดยพบว่าค่า *R* จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการอบแห้งช่วงแรก และจะลดลงอย่างช้า ๆ ก่อนเข้าสู่จุดคงที่ ซึ่งสัมพันธ์กับการลดลงของปริมาณความชื้น (Figure 7) กล่าวคือการหดตัวของผิวหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กุ้งจะแปรผันตามปริมาณความชื้นโดยการหดตัวจะมากช่วงแรกของการอบแห้ง เนื่องจากน้ำภายในเซลล์กุ้งระเหยออกอย่างรวดเร็ว เมื่ออบแห้งเป็นเวลานานขึ้น การหดตัวของผิวหน้ากุ้งจะลดลงอย่างช้า ๆ และคงที่ในที่สุดซึ่งเป็นช่วงที่ปริมาณความชื้นเข้าสู่สภาวะสมดุล

นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่างค่า *R* กับปริมาณความชื้นสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า Volumetric shrinkage กับปริมาณความชื้น โดยลักษณะเส้นกราฟเป็นไปในทิศทางเดียวกัน Hatamipour and Mowla (2002) ซึ่งแสดงว่าค่า *R* ที่ได้จากการวิเคราะห์ภาพสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีในการตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของวัสดุอาหารในระหว่างการอบแห้งได้

สรุปผลการทดลอง

ผลของอุณหภูมิอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผิวหน้ากุ้ง พบว่าการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้งขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง การเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในการอบแห้งช่วงแรก และจะลดลงอย่างช้าๆ ก่อนเข้าสู่สภาวะสมดุล นอกจากนี้ที่เวลาในการอบแห้งเท่ากัน กุ้งที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงกว่ามีอัตราเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ามากกว่า ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้การอบแห้งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของผลิตภัณฑ์ โดยกราฟความเข้มเทา (Intensity map) สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้ากุ้งได้เป็นอย่างดี และสามารถใช้ค่า Roughness ซึ่งได้จากการประมวลผลภาพด้วยเทคนิคที่พัฒนาขึ้นเป็นดัชนีในการตรวจวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะผิวหน้าของกุ้งในระหว่างการอบแห้งได้

เอกสารอ้างอิง

Aguilera, J. M., 2003. Drying and dried products under the microscope. Food Science and Technology International, 9, 137-143.

AOAC, 2000, Official methods of analysis, Association of Official Analytical Chemists (5th ed), Washington D.C., USA.

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.

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 37, 51-58.

Fernandez, L., Castillero, C. and Aguilera, J.M., 2005, An application of image analysis to dehydration of appledisc, Journal of Food Engineering, 67, 185-193.

Hatamipour, M.S. and Mowla, D., 2002, Shrinkage of carrots during drying in an inert medium fluidized bed, Journal of Food Engineering, 55, 247-252.

Hernandez, J. A., Pavon, G., & Garcia, M. A., 2000. Analytical solution of mass transfer equation considering shrinkage for modeling food drying kinetics, Journal of Food Engineering, 45, 1-10

Hartel, R.W. and Heldman, D.R., 1999, Principles of Food Processing, Chapman & Hall, London.

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, 37, 497-503.

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.

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, 78, 151-161.

Quevedo, R. and Aguilera, J.M., 2004, Characterization of food surface roughness using the glistening points method, Journal of Food Engineering, 65, 1-7.

Ramos, I. N., Brandao, T.R.S., & Silva, C.L.M. (2003). Structural changes during air drying of fruits and vegetables. Food Science and Technology International, 9, 201-206.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้