

บทที่ 3

การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของสารสกัดกระเจียบแดง

1. บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ถือเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถมองเห็นลักษณะภายนอกของตัวอย่าง และโครงสร้างที่เป็นส่วนลึกในลักษณะ 3 มิติได้ (เวกิน นพนิตย์, 2524) ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคจะสัมพันธ์กับคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของตัวอย่างนั้นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของตัวอย่างที่ใช้กรรมวิธีในการแปรรูปที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้ตัวอย่างที่ได้มีลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคที่แตกต่างกันออกไปด้วย

ในการสกัดสารสกัดกระเจียบแดงด้วยน้ำจากกระเจียบแดงแห้ง ที่มีขนาดแตกต่างกัน สารสกัดเหล่านี้จะถูกทำให้แห้งด้วยกรรมวิธีที่ต่างกัน ซึ่งจะส่งผลให้สารสกัดที่สกัดด้วยกรรมวิธีที่ต่างกันนั้น มีคุณสมบัติทั้งทางเคมี และกายภาพที่แตกต่างกันด้วย (Yousif *et al.*, 2000) ดังนั้นในการศึกษาวิจัยส่วนนี้จึงสนใจที่จะศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของสารสกัดกระเจียบแดงแห้ง ที่สกัดจากกระเจียบแดงแห้งที่มีขนาดแตกต่างกัน และใช้กรรมวิธีในการทำแห้งที่ต่างกันด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการอธิบายความสัมพันธ์ของโครงสร้างทางจุลภาค ของสารสกัดกระเจียบแดงแห้งกับคุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของสารสกัดกระเจียบแดงแห้งที่ผ่านกระบวนการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง และเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อต้องการศึกษาเปรียบเทียบ โครงสร้างทางจุลภาคของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผง ที่สกัดจากกระเจี๊ยบแดงแห้งที่มีขนาด 20 เมช และกระเจี๊ยบแดงแห้งที่ปั่นนาน 3 วินาที โดยใช้วิธี ในการอบแห้งที่แตกต่างกันสองชนิด คือ เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ และเครื่องทำแห้งแบบ ระเบิดแห้ง รวมถึงการศึกษาเปรียบเทียบโครงสร้างทางจุลภาคของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงหลัง การผลิต และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 เดือน ด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด งานวิจัยส่วนนี้ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผง เพื่อ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเชิงอาหารเพื่อสุขภาพ ของผลิตภัณฑ์ซอสจาก กระเจี๊ยบแดงที่ผลิตได้ต่อไป

2. การตรวจเอกสาร

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ให้ภาพแบบ 3 มิติ หรือมีส่วนลึกของภาพเพิ่มขึ้นเป็นมิติที่ 3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดใช้ศึกษาลักษณะภายนอกของตัวอย่าง โดยมีกำลังขยาย ช่วงกว้าง จากกำลังขยายต่ำที่มองด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาที่มีกำลังขยาย 10 เท่า จนถึง กำลังขยายสูงสุดประมาณ 100,000 เท่า (เวคิน นพินิตย์, 2524) ยังเป็นกล้องที่ใช้ศึกษาโครงสร้าง หรือองค์ประกอบพื้นผิวของเซลล์เนื้อเยื่อ และวัตถุได้ (อนันต์ ลือขจร, 2535)

Simpson และ Halliday (1941, อ้างโดย Sirichote *et al.*, 2001) รายงานว่าการศึกษ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของเนื้อเยื่อพืช เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับใช้อธิบาย รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในผักที่ผ่านการแปรรูป ซึ่งการแตกตัวของผนังเซลล์ พาราเคมีมา (parenchyma cell) และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของพืช เช่น การบวมของ เม็ดแป้ง เป็นตัวอย่างสำคัญที่ใช้ในการบ่งบอกถึงคุณภาพที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากกระบวนการ แปรรูป (Illker and Szczesniak 1990, อ้างโดย Sirichote *et al.*, 2001)

ส่วนประกอบพื้นฐานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีดังนี้

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun)

ประกอบด้วยหลอดโลหะทั้งสแตน เมื่อมีไฟฟ้ากระแสตั้งแต่ 1,000 โวลต์เข้ามา หลอดโลหะดังกล่าวก็จะมีความร้อนสูง ประจุอิเล็กตรอนก็จะกระจายออกมา ในสภาวะสุญญากาศ ภายในคอลัมน์ ประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิซึ่งเป็นประจุลบจะถูกดึงดูดด้วยแผ่นขั้วบวก (anode plate) ที่อยู่ด้านล่างของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ประจุอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่ลงสู่สนามแม่เหล็ก

ที่สามารถรวบรวมประจุอิเล็กตรอนที่มีอยู่ให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอน ที่มีความหนาแน่นเพียงพอ สำหรับฉายลงบนตัวอย่าง

2. เลนส์ควบคุมลำแสงอิเล็กตรอนพร้อมขดลวดควบคุมลำแสงอิเล็กตรอน
(electromagnetic lens and scan coil)

เป็นชุดอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกัน ทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้เป็นลำแสงรูปกรวยให้เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ลำแสงดังกล่าวไปตกกระทบบนผิวตัวอย่าง

3. ช่องตัวอย่าง (specimen chamber)

ช่องตัวอย่างของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีลักษณะเป็นช่องสุญญากาศที่ติดตั้งอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณต่างๆ ที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับผิวของตัวอย่าง

4. อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (collector and scintillator)

ทำหน้าที่รวบรวมประจุอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างประจุอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับผิวตัวอย่างให้ได้มากที่สุด

5. อุปกรณ์สร้างภาพและถ่ายภาพ (image photographic devices)

ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ได้รับจากอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณให้เป็นภาพและภาพที่ปรากฏบนจอรับภาพก็พร้อมที่จะทำการบันทึกไว้ด้วยกล้องถ่ายภาพ (เวคิน นพินิตย์, 2534)

การกำเนิดของภาพ

เมื่อกลุ่มอิเล็กตรอนปฐมภูมิที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ถูกรวบรวมโดยระบบเลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า ให้เป็นลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิ ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมินี้จะถูกกำหนดให้ตกลง (focus) บนผิวของตัวอย่าง พร้อมกับถูกผลักดันให้เคลื่อนไปบนผิวของตัวอย่าง โดยขดลวดควบคุมลำแสงอิเล็กตรอน ขณะที่ลำแสงอิเล็กตรอนกระทบผิวของตัวอย่างก็จะเกิดสัญญาณ (signal) ออกมาหลายรูปแบบ และสัญญาณเหล่านั้นก็สามารถจับไว้ แล้วเปลี่ยนแปลงให้เป็นภาพซึ่งถ่ายไว้ได้

เมื่อลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิกระทบกับตัวอย่าง จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับผิวตัวอย่าง ทำให้มีอิเล็กตรอนทุติยภูมิซึ่งมีพลังงานต่ำ หนีออกมาจากชั้นบางของพื้นผิว ซึ่งจะถูกจับและรวมเป็นสัญญาณ โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รวบรวมอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (collector และ scintillator) ซึ่งสัญญาณนี้จะเปลี่ยนไปเป็นโฟตอน (photon) ของแสง และจะถูกส่งผ่านท่อนำแสง (light pipe) ไปยัง photo-multiplier ซึ่งจะเปลี่ยนโฟตอนไปเป็นอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนชุดหลังจะถูกขยายให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าโดย amplifier ให้มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมากมาย

ในที่สุดสัญญาณไฟฟ้าเหล่านั้นจะถูกแปรไปเป็นภาพขาวดำที่ปรากฏบนจอโทรทัศน์หรือจอรับภาพ (เวคิน นพนิตย์, 2534)

การเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

1. การทำตัวอย่างให้แห้ง (drying)

ตัวอย่างที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับการศึกษาดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะต้องอยู่ในสภาพที่ปราศจากน้ำหรือความชื้นใดๆ นั่นคือ จะต้องทำให้แห้งเสียก่อน ทั้งนี้เพื่อป้องกันการรบกวนของความชื้นที่อาจมีต่อลำแสงอิเล็กตรอน และส่วนประกอบต่างๆของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งการทำตัวอย่างให้แห้งมีหลายวิธี ได้แก่

1.1 การทำตัวอย่างให้แห้งในบรรยากาศปกติ (air-drying)

เป็นวิธีการที่ทำให้ตัวอย่างแห้ง โดยใช้หลักการระเหยของน้ำไปเป็นไอในอากาศที่บรรยากาศปกติ การทำแห้งด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับ ตัวอย่างที่มีความชื้นอยู่น้อยมาก เช่น เซลล์เนื้อเยื่อประเภท ผม เล็บ ขน เป็นต้น

1.2 การทำตัวอย่างให้แห้งด้วยวิธีระเหิดแห้ง (freeze-drying)

เป็นวิธีการที่ค่อนข้างจะเหมาะสมสำหรับทำให้ตัวอย่างที่อ่อนนุ่ม กลายเป็นตัวอย่างแห้ง โดยการเปลี่ยนผลึกเล็กๆของน้ำแข็ง หรือของเหลวภายในเซลล์ให้เป็นไอ ภายใต้อุณหภูมิความดัน ผลจากการทำตัวอย่างให้แห้งด้วยวิธีนี้ จะได้ตัวอย่างที่มีลักษณะใกล้เคียงกับตัวอย่างก่อนการทำแห้ง มากกว่าการทำแห้งในบรรยากาศปกติ (เวคิน นพนิตย์, 2534)

2. การติดตัวอย่างบนแท่งยึดตัวอย่าง (mounting)

ตัวอย่างที่แห้งสนิทนำไปจัดวางบนแท่งยึดตัวอย่าง (stub) โดยใช้กาวเป็นตัวเชื่อมผิวล่างของตัวอย่างให้ติดอยู่บนแท่งยึดตัวอย่าง

3. การฉาบผิวตัวอย่างด้วยโลหะหนัก (metal coating)

ตัวอย่างที่ผ่านการติดตัวอย่างบนแท่งยึดตัวอย่างแล้ว จะต้องนำมาฉาบผิวของตัวอย่างด้วยโลหะหนักเสียก่อน เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าทำให้ผิวนอกของตัวอย่างมีอิเล็กตรอนทุติยภูมิเกิดขึ้นมากพอทันทีที่ลำแสงอิเล็กตรอนปฐมภูมิมากระทบพื้นผิวของตัวอย่างนั้น ซึ่งโลหะที่นำมาใช้ในการฉาบผิวตัวอย่าง ได้แก่ ทอง และ ทองผสมพลาตินั่ม เป็นต้น ซึ่งความหนาของโลหะหนักที่ฉาบ ไม่ควรให้บางหรือหนาเกินไป (ควรอยู่ระหว่าง 10-20 นาโนเมตร) เพราะหากชั้นโลหะบางทำให้ปริมาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิต่ำ และถ้าหากหนาเกินไปจะทำให้สูญเสียรายละเอียดบนผิวของตัวอย่าง

วิภา สุโรจนะเมธากุล และคณะ (2541) ได้ทำการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของเซลลูโลสผงที่ผลิตจากกากกระเจี๊ยบแดง โดยนำกากกระเจี๊ยบแดงอบแห้งร้อนผ่านตะแกรงขนาด 20 เมช สกัดแยกไขมัน (oil) ด้วยสารละลาย hexane โดยวิธี Soxhlet extraction จึงนำกากที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 3 ชม. ทำการสกัดและแยกส่วนของเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยประยุกต์จากวิธีของ Whistler (1963) จากนั้นนำกากกระเจี๊ยบแดงที่ได้ มาสกัดด้วยสารละลายคลอรีน 0.5% โดยใช้อุณหภูมิในการสกัดเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส โดยกวนส่วนผสมตลอดเวลา 1 ชม. และวางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 ชม. กรองแยกสารละลายออกไป จึงนำกากไปต้มเพื่อไล่คลอรีนเป็นเวลา 2.5 ชม. กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนหลายๆครั้ง จนหมดกลิ่นคลอรีน แล้วสกัดต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 12% เป็นเวลา 24 ชม. กวนส่วนผสมเป็นครั้งคราว กรองและล้างตะกอนด้วยน้ำร้อนจนหมดต่าง สกัดซ้ำอีก 2 ครั้ง ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 7% ล้างตะกอนจนหมดต่าง แล้วนำไปล้างด้วยเอทานอล นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และบดจะได้เซลลูโลสผง จึงนำไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเซลลูโลสผงจะมีรูปทรงไม่แน่นอน มีรูพรุนมาก ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้สามารถดูดซับความชื้นจากบรรยากาศ และเป็นการเพิ่มโอกาสให้อนุภาคเกิดการเกาะตัวกันได้ง่าย

Yousif และคณะ (2000) ได้ทำการศึกษาถึงวิธีการทำแห้งที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาคของใบโอรีกานอ (oregano) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยนำใบโอรีกานอมาอบให้แห้งจนกระทั่งมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตีเท่ากับ 0.53-0.55 ด้วยเครื่องอบแห้งสามชนิดคือ (1) เครื่องอบแห้งแบบระเหิดแห้ง ที่ใช้อุณหภูมิของเครื่องทำแห้ง (chamber) เท่ากับ 20 องศาเซลเซียส และใช้อุณหภูมิของเครื่องควบแน่น (condenser) เท่ากับ -55 องศาเซลเซียส (2) เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (conventional hot air dryer) ที่ใช้อุณหภูมิของการทำแห้งเท่ากับ 48 องศาเซลเซียส และ (3) เครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ (vacuum-microwave) โดยใช้อุณหภูมิของการทำแห้งเท่ากับ 45 องศาเซลเซียส นำใบโอรีกานออบแห้งทั้งสามชนิด ไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ Stereoscan รุ่น 250 ประเทศอังกฤษ) พบว่า ใบโอรีกานอที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนจะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง คือ ผิวนอกจะมีลักษณะหยาบๆ โครงสร้างภายในเซลล์อื่นๆจะเกี่ยวพันกัน และแผ่อยู่ด้านล่างของชั้นเอพิเดอร์มิส (epidermis layers) สำหรับใบโอรีกานอที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ พบว่าพาลิเซดมีโซฟิลล์ (palisade mesophyll) และสปันจีมีโซฟิลล์ (spongy mesophyll) จะล้มตัวลง และผิวนอกจะมีลักษณะหยาบๆน้อยกว่าใบโอรีกานอที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน สำหรับใบโอรีกานอที่ผ่านการทำให้

แห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศ และเครื่องอบแห้งแบบระเหิดแห้ง จะมีลักษณะคล้ายกัน คือ โครงสร้างของชั้นเอพิเตอร์มิส และชั้นมิโซฟิลล์ จะพองตัวและยืดออก

Sirichote และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาถึงผลของการใช้ความดันสูงต่อ โครงสร้างทางจุลภาคของเนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่ง โดยนำเนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่งสี่ชนิด คือ (1) เนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่ง (2) เนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือดนาน 4 นาที (3) เนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือดและผ่านการให้ความดันสูงที่ระดับ 586 เมกกะปาสกาล ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และ (4) เนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการลวกด้วยน้ำเดือดตามด้วยการให้ความดันสูงที่ระดับ 586 เมกกะปาสกาล ที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที นำเนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่งทั้งชุดการทดลอง มาศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ Hitachi รุ่น S570 ประเทศญี่ปุ่น) พบว่าลักษณะโครงสร้างภายในเซลล์ของเนื้อเยื่อของหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการลวกทั้งสามวิธี (วิธีที่ 2, 3 และ 4) จะมีการขยายตัวเกิดขึ้น ความร้อนจากการลวกจะเหนี่ยวนำให้โครงสร้างของผนังเซลล์อ่อนตัวลง เนื่องจากมีการดูดซับน้ำมากขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบภายในเซลล์มีลักษณะนุ่ม อย่างไรก็ตามการลวกก็เป็นวิธีการที่สำคัญสำหรับกรรมวิธีการให้ความดันสูง เนื่องจาก จะช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่มีอยู่ในพืช สำหรับเนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการให้ความดันสูงที่ระดับ 586 เมกกะปาสกาล เป็นเวลา 5 นาที และ 50 นาที จะไม่มีการแตกที่ผนังเซลล์ของเซลล์พาราคีมา ส่วนเนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการให้ความดันสูงที่ระดับ 586 เมกกะปาสกาล 50 นาที จะมีลักษณะการจัดเรียงตัวของเซลล์บริเวณเซลล์พาราคีมาที่อัดแน่นขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเนื้อเยื่อหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการลวกตามด้วยการให้ความดันสูง และผ่านการลวกเพียงอย่างเดียว จะมีการพองตัวของเซลล์เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามหน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการลวกตามด้วยการให้ความดันสูงจะให้คุณลักษณะที่ยอมรับมากกว่า หน่อไม้ฝรั่งที่ผ่านการลวกเพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างที่แน่นเนื้อ (firmness) มากกว่า

Askari และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาถึงผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อ โครงสร้างทางจุลภาคของแผ่นแอปเปิล ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยนำแอปเปิลมาหั่นเป็นแผ่นให้มีความหนาเท่ากับ 4 มม. และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 22 มม. นำแผ่นแอปเปิลที่ได้ไปลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เพื่อยับยั้งเอนไซม์ และนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสองวิธี คือ (1) นำแผ่นแอปเปิลไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสจนกระทั่งแผ่นแอปเปิลมีความชื้น 0.4% และ (2) นำแผ่นแอปเปิลไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียสจนกระทั่งแผ่นแอปเปิลมีความชื้น 0.4% จากนั้นนำไปอบต่อด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟที่ระดับกำลัง 200 วัตต์ เป็นเวลา 10 วินาที นำแผ่นแอปเปิลสด แผ่นแอปเปิลที่ผ่านการลวก และแผ่นแอปเปิลที่ผ่านการอบแห้งทั้ง

สองวิธี ไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ Philips รุ่น XL30 ประเทศเนเธอร์แลนด์) พบว่า เนื้อเยื่อของแผ่นแอปเปิลสดจะประกอบด้วยการจัดเรียงตัวของรูพรุนอย่างเป็นระเบียบ เนื้อเยื่อของแผ่นแอปเปิลหลังจากการลวกจะมีการแตกของผนังเซลล์เกิดขึ้น และมีขนาดของรูพรุนกว้างกว่ารูพรุนในแผ่นแอปเปิลสด ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการทำแห้งเกิดได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากเซลล์ได้มากขึ้น สำหรับแผ่นแอปเปิลที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนพบว่าลักษณะของเนื้อเยื่อจะพับตัวลง และมีลักษณะของรูพรุนที่แคบ สำหรับแผ่นแอปเปิลที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟ พบว่าจะมีลักษณะของรูพรุนที่กว้างขึ้น ซึ่งคณะวิจัยได้ให้เหตุผลว่า อาจเนื่องจากการระเหยของไอน้ำออกจากเนื้อเยื่อในระหว่างการอบด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟ ส่งผลให้เนื้อเยื่อมีลักษณะที่เป็นรูพรุนกว้างขึ้น

Miao และ Roos (2004) ได้ทำการศึกษาถึงผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาคของสารละลายผสมระหว่างแลคโตส (lactose) กับทรีฮาโลส (trehalose) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยนำสารละลายผสมระหว่างแลคโตส กับทรีฮาโลสในอัตราส่วน 1:1 ที่ระดับความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก มาทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง โดยใช้ความดัน 0.1 มิลลิบาร์ และเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้อุณหภูมิขาเข้าเท่ากับ 175 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออกเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส ทำแห้งจนกระทั่งสารละลายผสมระหว่างแลคโตส กับทรีฮาโลสมีค่าวอเตอร์แอคทิวิตีเท่ากับ 0.11-0.44 จึงนำไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ JOEL รุ่น 5510 ประเทศญี่ปุ่น) พบว่าสารละลายผสมระหว่างแลคโตส กับทรีฮาโลสที่ผ่านการทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง มีลักษณะคม เป็นเหลี่ยม ขนาดไม่สม่ำเสมอ ขณะที่สารละลายผสมระหว่างแลคโตส กับทรีฮาโลสและผ่านการทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย มีลักษณะของอนุภาคเป็นทรงกลม พื้นผิวค่อนข้างเรียบ ซึ่งลักษณะโครงสร้างและรูปร่างทางเรขาคณิต ของสารละลายผสมระหว่างแลคโตส กับทรีฮาโลสที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่แตกต่างกัน เป็นผลให้สารละลายผสมระหว่างแลคโตส กับทรีฮาโลสในรูปผงแห้งดังกล่าว มีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่แตกต่างกัน โดยที่สารละลายผสมระหว่างแลคโตสกับสารทรีฮาโลสที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยจะมีการดูดซึมน้ำต่ำกว่า สารละลายผสมระหว่างแลคโตสกับทรีฮาโลส ที่ผ่านการทำให้เป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง

Xu และคณะ (2005) ได้ทำการศึกษาถึงผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาคของหน่อไม้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยนำหน่อไม้มาตัดให้เป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาดความยาว 4 ซม. นำไปต้มให้เดือด และหั่นให้เป็นแผ่นที่มีขนาดความหนาเท่ากับ

4.5 มม. นำแผ่นหน่อไม้ที่ได้ไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสามวิธี คือ (1) นำแผ่นหน่อไม้ไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบระเหิดแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (2) นำแผ่นหน่อไม้ไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และ (3) นำแผ่นหน่อไม้ไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบระเหิดแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10.5 ชม. ตามด้วยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการอบแห้งแผ่นหน่อไม้ทั้งสามวิธีจนกระทั่งมีความชื้น 6.0% จากนั้นนำไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ CA รุ่น XSP-8 ประเทศจีน) พบว่า แผ่นหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบระเหิดแห้ง จะยังคงมีลักษณะรูปร่างและมีโครงสร้างของผนังเซลล์สมบูรณ์สำหรับแผ่นหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างคือ ผนังเซลล์ส่วนใหญ่จะแตก นอกจากนี้แผ่นหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบระเหิดแห้ง ตามด้วยการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน จะมีลักษณะรูปร่างใกล้เคียงกับแผ่นหน่อไม้ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบระเหิดแห้ง แต่จะมีผนังเซลล์บางส่วนถูกทำลายและมีการขยายตัวของผนังเซลล์เนื่องจากการอบแห้งแบบลมร้อน

Pimpaporn และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาคของแผ่นมันฝรั่ง โดยนำมันฝรั่งมาหั่นให้เป็นแผ่น ที่มีขนาดความหนาเท่ากับ 3.5 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 มม. จากนั้นนำแผ่นมันฝรั่งไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบ low-pressure superheated steam and far-infrared radiation (LPSSD-FIR, ความยาวคลื่นประมาณ 3×10^{-5} ไมโครเมตร) ที่อุณหภูมิ 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส อบแห้งจนกระทั่งชิ้นมันฝรั่งมีความชื้นเท่ากับ 3.5% จากนั้นนำแผ่นมันฝรั่งที่ผ่านการอบแห้งไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ Leo รุ่น 4551455 ประเทศอังกฤษ) พบว่าแผ่นมันฝรั่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส จะมีขนาดของรู (porous) และมีการกระจายตัวของรูมากกว่า แผ่นมันฝรั่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าแผ่นมันฝรั่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีการหดตัวของพื้นผิวอีกด้วย

Srikao และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการแปรรูปด้วยหม้อต้มความดันต่อโครงสร้างทางจุลภาคของเมล็ดข้าวสาลี โดยนำเมล็ดข้าวสาลีพันธุ์ soft wheat ที่มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 10.5% และเมล็ดข้าวสาลีพันธุ์ hard wheat ที่มีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 15.5% มาให้ความร้อนด้วยหม้อต้มความดัน (pressure cooker) ที่ใช้ความดันไอน้ำเท่ากับ 413 กิโลปาสกาล ที่อุณหภูมิ 110, 130 และ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที จากนั้นนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการแปรรูปไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของภาพตัดขวาง (cross section) ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ Philips รุ่น XL30 ประเทศเนเธอร์แลนด์) พบว่า

เมล็ดข้าวสาลีทั้งสองพันธุ์ที่ให้ความร้อนด้วยหม้อต้มความดันที่อุณหภูมิ 130 และ 140 องศาเซลเซียส จะมีการเปิดออกของโครงสร้างผนังเซลล์เม็ดแป้งเป็นผลให้โครงสร้างจากภาพตัดขวางมีลักษณะคล้ายแป้งเปียก (mud-like structure) มากกว่าเมล็ดข้าวสาลีที่ให้ความร้อนด้วยหม้อต้มความดันที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เนื่องจากการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง (130-140 องศาเซลเซียส) ความดันไอน้ำจะทำให้เม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น เป็นผลให้เมล็ดข้าวสาลีทั้งสองพันธุ์ มีลักษณะคล้ายแป้งเปียกมากกว่าการให้ความร้อนด้วยหม้อต้มความดันที่อุณหภูมิต่ำ (110 องศาเซลเซียส)

Bondaruk และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาถึงผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาคของมันฝรั่ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยนำชิ้นมันฝรั่งมาตัดให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 10 มม. และนำไปอบให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งที่แตกต่างกันสี่วิธี คือ (1) นำชิ้นมันฝรั่งไปลวกในน้ำร้อน (อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 4.5 นาที และนำไปอบให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (2) นำชิ้นมันฝรั่งไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (3) นำชิ้นมันฝรั่งไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศที่ใช้ความดัน 6 กิโลปาสกาล และ (4) นำชิ้นมันฝรั่งไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ที่ใช้ความดัน 24 กิโลปาสกาล นำชิ้นมันฝรั่งที่ผ่านการอบแห้งทั้งสี่วิธี ไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800 ประเทศสหรัฐอเมริกา) พบว่าลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของเห็ด ที่ผ่านการลวกและอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน จะมีลักษณะของเซลล์ที่อัดกันแน่น และมีการเชื่อมประสานระหว่างเซลล์ที่แข็งแรงกว่าชิ้นมันฝรั่งที่ไม่ได้ผ่านการลวก สำหรับโครงสร้างภายในเซลล์ของชิ้นมันฝรั่งที่ไม่ได้ผ่านการลวก และอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะมีการเปลี่ยนแปลงของเซลล์พารังกิมา มากกว่า และมีปริมาณรูพรุนมากกว่าชิ้นมันฝรั่งที่ผ่านการลวก และอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของชิ้นมันฝรั่งภายในจะประกอบไปด้วยร่างแหโปรตีนและแป้ง (starch-protein matrix) เมื่อมีการให้ความร้อนที่ระดับอุณหภูมิที่สูงกว่า (70 องศาเซลเซียส) ทำให้มีการระเหยของไอน้ำมากกว่า ซึ่งจะส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการละลาย การจับตัวกันของแป้งและโปรตีนจะอ่อนลง สำหรับชิ้นมันฝรั่งที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ที่ใช้ความดัน 6 กิโลปาสกาล จะทำให้ชิ้นมันฝรั่งเกิดรูพรุนขนาดใหญ่ เนื่องจากน้ำที่ระเหยออกจากเซลล์มีความดันไอน้ำสูง จึงส่งผลให้โครงสร้างภายในเซลล์ยุบตัวลง และอาจทำให้องค์ประกอบของเซลล์บางส่วนไม่เชื่อมประสานกัน สำหรับชิ้นมันฝรั่งที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ที่ใช้ความดัน 24 กิโลปาสกาล พบว่าองค์ประกอบของ

เซลล์จะไม่เชื่อมประสานกัน มากกว่าชั้นมันฝรั่งที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ที่ใช้ความดัน 6 กิโลปาสกาล

Giri และ Prasad (2007) ได้ทำการศึกษาถึงผลของวิธีการทำแห้งต่อโครงสร้างทางจุลภาคของเห็ดที่หั่นเป็นแผ่นบางหนา 1 มม. ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยนำเห็ดมาอบให้แห้งจนกระทั่งมีความชื้น 6.0-6.5% ด้วยเครื่องอบแห้งสามชนิดคือ (1) เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (2) เครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศที่ใช้ความดัน 20 กิโลปาสกาล และ (3) เครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศที่ใช้ความดัน 10 กิโลปาสกาล นำเห็ดที่ผ่านการอบแห้งทั้งสามชนิด ไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800 ประเทศสหรัฐอเมริกา) พบว่าลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของเห็ดที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน จะมีช่องว่างที่มีขนาดเล็กกว่าเห็ดที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ซึ่งให้เห็นว่าขณะที่ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน เนื้อเยื่อผนังเซลล์ของเห็ดจะหดตัว (shrinkage) และยุบตัวลง (collapse) ในขณะที่การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ จะส่งผลให้เนื้อเยื่อที่อยู่ภายในโครงสร้างของเห็ดหดตัวเพียงเล็กน้อย เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่า และใช้อุณหภูมิในการทำแห้งที่ต่ำกว่า และเนื่องจากมีการให้ความดันจึงส่งผลให้เนื้อเยื่อผนังเซลล์บางส่วนมีการขยายตัว นอกจากนี้เห็ดที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ที่ใช้ความดัน 20 กิโลปาสกาล จะมีรูพรุนมากกว่าเห็ดที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ ที่ใช้ความดัน 10 กิโลปาสกาล เป็นผลให้การดูดกลืนน้ำดีกว่าเช่นกัน

Ko และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการลวกที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาคของเห็ด ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยนำเห็ดไปลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70, 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 และ 10 นาที นำเห็ดที่ไม่ผ่านการลวก และเห็ดที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ ไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ Topcon รุ่น ABT-150S ประเทศญี่ปุ่น) พบว่าลักษณะโครงสร้างของเห็ดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ และระยะเวลาต่างๆ กัน คือ ลักษณะของเห็ดที่ไม่ผ่านการลวกจะพบว่ามีไฮฟี (hyphae) และมีรูพรุนเกิดขึ้นที่บริเวณหมวกเห็ดและก้านเห็ด ซึ่งลักษณะการตั้งขึ้นของเส้นใยที่บริเวณนี้อาจเนื่องจากมี กลูแคน และไคติน เป็นองค์ประกอบอยู่ที่ผนังของเส้นใย จึงส่งผลให้เส้นใยมีความแข็งแรงและยึดออกได้ หลังจากเห็ดที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าจะมีการปล่อยน้ำเมือก (mucilage) ออกจากผนังของเส้นใยในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งคณะวิจัยได้รายงานว่า น้ำเมือกชนิดนี้คือ พอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ และยังคงมีเส้นใย และรูพรุน ในลักษณะที่ใกล้เคียงกับเห็ดที่ไม่ได้

ผ่านการลวก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการลวกที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จะส่งผลให้เซลล์และเนื้อเยื่อของเห็ดไม่ถูกทำลาย สำหรับชิ้นเห็ดที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะพบว่ามีการปล่อยน้ำเมือกออกมาในปริมาณมากขึ้น ซึ่งน้ำเมือกดังกล่าวจะไหลไปรวมตัวกันอยู่ที่ผนังของเส้นใย แต่เห็ดที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และเห็ดที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะพบว่ามีการปล่อยน้ำเมือกในปริมาณที่น้อยลง ซึ่งคณะวิจัยให้เหตุผลว่าที่อุณหภูมิดังกล่าวนี้ จะมีการปล่อยน้ำเมือกออกจากผนังเส้นใยอย่างรวดเร็ว ซึ่งน้ำเมือกที่ปล่อยออกมาจะไปรวมตัวกับความชื้นที่อยู่ล้อมรอบเห็ด แต่ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจะมีการปล่อยน้ำเมือกออกจากผนังเส้นใยในปริมาณเล็กน้อย และยังคงมีส่วนที่ค้างอยู่ในรูพรุน ส่งผลให้เนื้อเยื่อมีการบวมมากกว่า และมีความยืดหยุ่นมากกว่าเห็ดที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 80, 90 และ 100 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าเห็ดที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที และเห็ดที่ผ่านการลวกที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะมีการลึ้มตัว และมีการเสียรูปร่างของเส้นใยมากขึ้น

Nimmol และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาถึงผลของวิธีการทำแห้งที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาคของแผ่นกล้วย ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยนำกล้วยหอมทองมาหั่นเป็นแผ่นให้มีความหนาเท่ากับ 3 มม. และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 30 มม. นำแผ่นกล้วยที่ได้ไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสองชนิด คือ (1) เครื่องอบแห้งแบบ low-pressure superheated steam and far-infrared radiation (LPSSD-FIR) ที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ความดัน 7 กิโลปาสคาล และ (2) เครื่องอบแห้งแบบ far-infrared radiation ภายใต้อากาศสูญญากาศ (VACUUM-FIR) ที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ความดัน 7 กิโลปาสคาล อบแห้งจนกระทั่งแผ่นกล้วยมีความชื้น 0.35% นำไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ยี่ห้อ Leo รุ่น 4551455 ประเทศอังกฤษ) พบว่า แผ่นกล้วยที่ผ่านการอบด้วยเครื่อง LPSSD-FIR ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณรูพรุน และมีขนาดรูพรุนกว้างกว่าแผ่นกล้วยที่อบแห้งด้วยเครื่อง VACUUM-FIR ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งจะส่งผลให้แผ่นกล้วยที่ผ่านการอบด้วยเครื่อง LPSSD-FIR มีอัตราการดูดคืนน้ำ (rehydration ratio) เท่ากับ 1.55 ซึ่งมีค่าสูงกว่าแผ่นกล้วยที่อบแห้งด้วยเครื่อง VACUUM-FIR ที่มีอัตราการดูดคืนน้ำเท่ากับ 1.39 สำหรับแผ่นกล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่อง LPSSD-FIR และ เครื่อง VACUUM-FIR ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พบว่าจะมีลักษณะโครงสร้างที่คล้ายกันคือ จะมีปริมาณรูพรุนมากกว่า และมีขนาดรูพรุนกว้างกว่า แผ่นกล้วยที่ผ่านการอบด้วยเครื่อง LPSSD-FIR และ เครื่อง VACUUM-FIR ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

วัสดุ

1. กระจกเงาแผ่นฟิล์มชุดาน จากแหล่งปลูกตำบลควนมิด อำเภอนาหม่อม จังหวัดสงขลา

2. ฟ้ายาวบาง

3. ถาดสแตนเลส

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ในการผลิตสารสกัดกระจกเงาแผ่นผง

- เครื่องปั่น (blender) ยี่ห้อ National ประเทศญี่ปุ่น

- ตะแกรงร่อนขนาด 20 เมช ยี่ห้อ Fritsch ประเทศเยอรมันนี

- เครื่องปิดผนึก ยี่ห้อ brother ประเทศไทย

- เครื่องทำให้เข้มข้นโดยใช้ไอน้ำแบบสุญญากาศ (vacuum evaporator) ประเทศไทย

- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น TP2KS ประเทศสหรัฐอเมริกา

- เครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง ยี่ห้อ Eylea ประเทศญี่ปุ่น

- เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ ประเทศไทย

2. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JFOL รุ่น JSM-5800LV ประเทศสหรัฐอเมริกา

- เครื่อง Sputter Coater ยี่ห้อ SPI supplies รุ่น SPI MODULE ประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีการ

1. นำสารสกัดกระจกเงาแผ่นผงทั้งสี่ชนิด คือ (1) สารสกัดกระจกเงาแผ่นผงที่สกัดด้วยกระจกเงาแห้ง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 20 เมช และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (2) สารสกัดกระจกเงาแผ่นผงที่สกัดด้วยกระจกเงาแห้ง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 20 เมช และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง (3) สารสกัดกระจกเงาแผ่นผงที่สกัดด้วยกระจกเงาแห้งที่ปั่นด้วยเครื่องปั่นนาน 3 วินาที และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ และ (4) สารสกัดกระจกเงาแผ่นผงที่สกัดด้วยกระจกเงาแห้ง ที่ปั่นด้วย

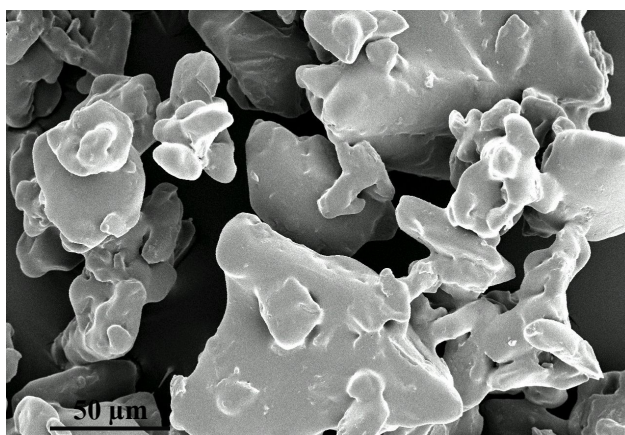
เครื่องปั่นนาน 3 วินาที และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง มาติดบนแท่งยึดตัวอย่างโดยใช้เทปกาว 2 หน้า เป็นตัวยึด

2. นำตัวอย่างไปฉาบทองด้วยเครื่อง Sputter Coater เป็นเวลา 2 นาที
3. นำตัวอย่างที่ได้ไปศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
4. นำสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผง ทั้งสี่ชนิดที่ผ่านเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 9 เดือน วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ตามวิธีทดลองข้อ 1., 2. และ 3.

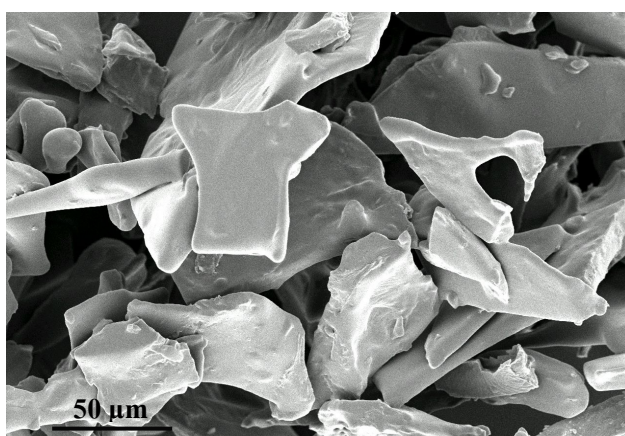
4. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาลักษณะ โครงสร้างทางจุลภาค ของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงที่สกัดด้วยกระเจี๊ยบแดงแห้ง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 20 เมช และผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ และเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง แสดงดังภาพที่ 3-1 และสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงที่สกัดด้วยกระเจี๊ยบแดงแห้งที่ปั่นด้วยเครื่องปั่นนาน 3 วินาที และผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ และเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง แสดงดังภาพที่ 3-2 พบว่าสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงที่ผ่านการทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ จะแสดงภาพของโครงสร้างทางจุลภาคที่มีลักษณะมน พื้นผิวค่อนข้างเรียบ ส่วนสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงที่ผ่านการทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง จะแสดงภาพของโครงสร้างทางจุลภาคที่มีลักษณะคม เป็นเหลี่ยม ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Miao และ Roos (2004) ที่รายงานว่าโครงสร้างทางจุลภาคของสารละลายผสมระหว่างแลกโตสกับทรีฮาโลส ในอัตราส่วน 1:1 ที่ระดับความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก และผ่านการทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง จะมีลักษณะคม เป็นเหลี่ยม ขนาดไม่สม่ำเสมอ ขณะที่สารละลายผสมระหว่างแลกโตส กับทรีฮาโลส และผ่านการทำให้เป็นผงแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้อุณหภูมิเข้าเท่ากับ 175 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออกเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส จะมีลักษณะเป็นทรงกลม พื้นผิวค่อนข้างเรียบ ซึ่งลักษณะโครงสร้างและรูปร่างทางเรขาคณิต ของสารละลายผสมระหว่างแลกโตสกับทรีฮาโลสที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งที่แตกต่างกัน เป็นผลให้สารละลายผสมระหว่างแลกโตสกับทรีฮาโลสในรูปผงแห้งดังกล่าว มีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่แตกต่างกัน โดยที่สารละลายผสมระหว่างแลกโตสกับทรีฮาโลส ที่ผ่านการทำให้แห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยจะมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่า สารละลายผสมระหว่างแลกโตสกับทรีฮาโลส ที่ผ่านการทำให้เป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง

จากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงยังพบว่า ขนาดอนุภาคของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ จะมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า สารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง ส่งผลให้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ มีค่าความหนาแน่นของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงมากกว่า (0.83-1.04 ก./มล.) สารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง (0.35-0.50 ก./มล.) ซึ่งจากการศึกษาของ Al-kahtani และ Hassan (1990) และ Flores (2004) พบว่าสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ทำการสกัดด้วยน้ำ และผ่านการทำให้เป็นผงโดยใช้สภาวะในการทำแห้งที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้สารสกัดที่สกัดด้วยกรรมวิธีที่แตกต่างกัน นั้น มีคุณสมบัติทั้งทางเคมี และกายภาพที่แตกต่างกันด้วย



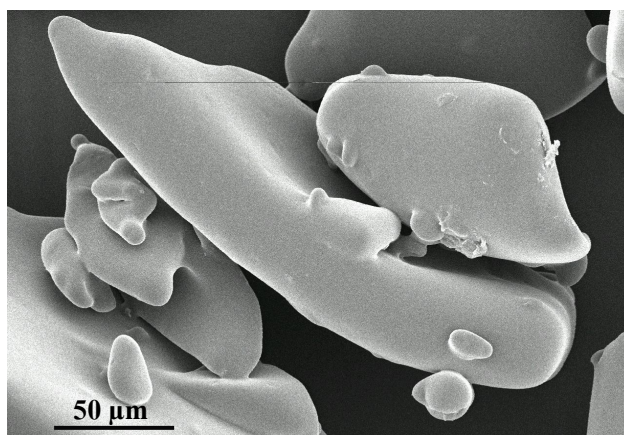
(a)



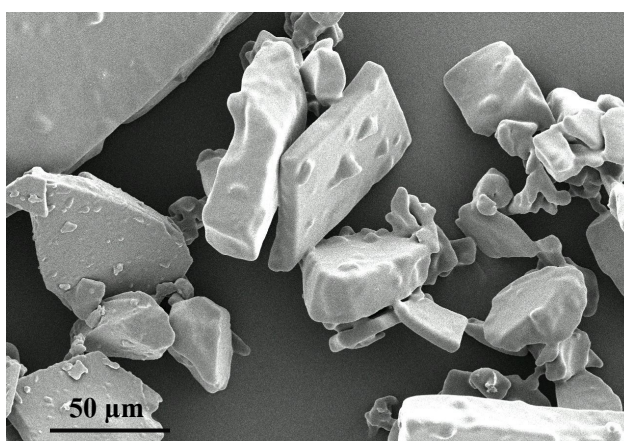
(b)

ภาพที่ 3-1 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงที่สกัดจากกลีบกระเจี๊ยบแดงแห้งขนาด 20 เมช ทำแห้งด้วย (a) เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (b) เครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง (กำลังขยาย 500 เท่า)

Figure3-1 SEM micrographs of powdered roselle extracts, extracted from dried roselle calyces with 20 mesh particle sizes, dried by using (a) vacuum dryer (b) freeze dryer (magnification of 500x).



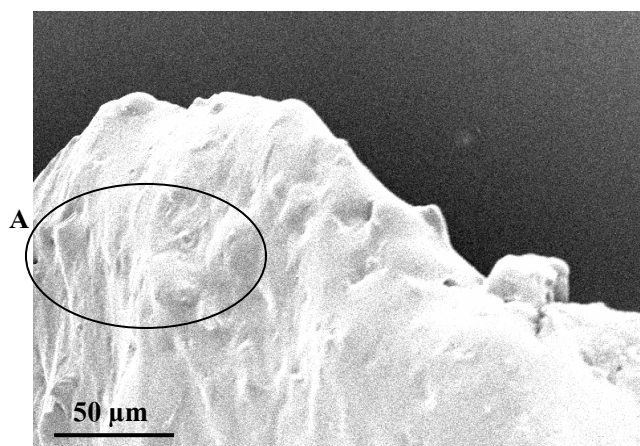
(a)



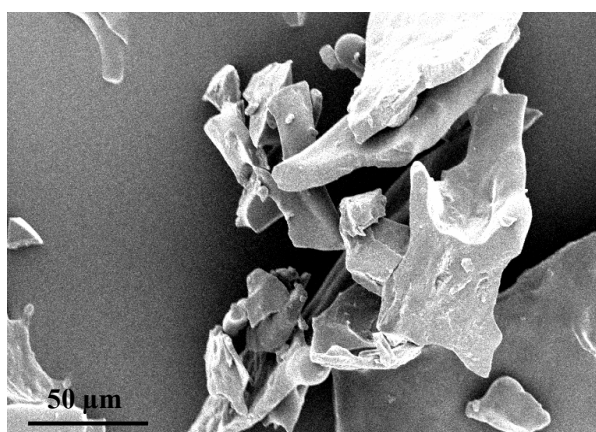
(b)

ภาพที่ 3-2 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงที่สกัดจากกลีบ
กระเจี๊ยบแดงอบแห้งปั่น 3 วินาที ทำแห้งด้วยด้วย (a) เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ
(b) เครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง (กำลังขยาย 500 เท่า)

Figure 3-2 SEM micrographs of powdered roselle extracts, extracted from dried roselle calyces
with blending for 3 s., dried by using (a) vacuum dryer (b) freeze dryer
(magnification of 500x).



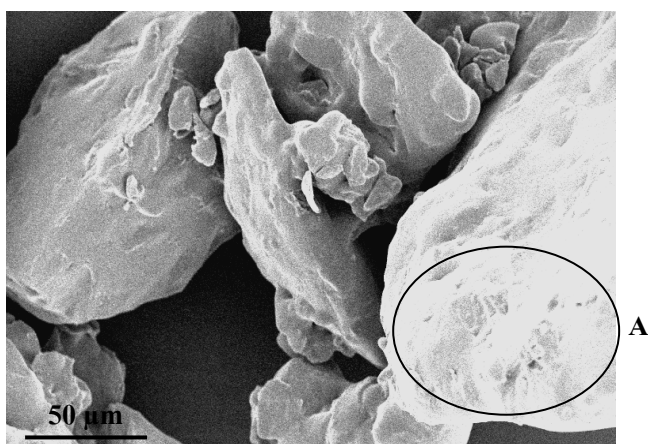
(a)



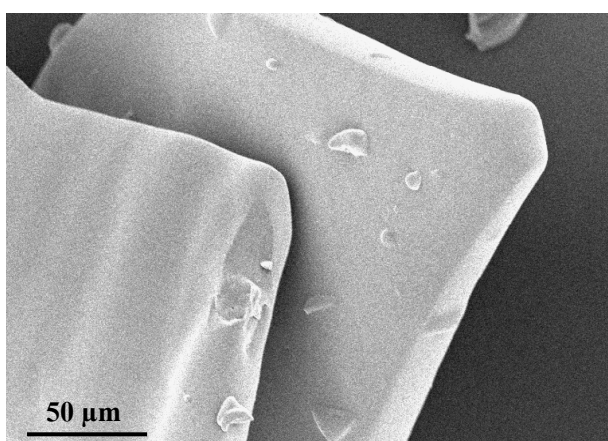
(b)

ภาพที่ 3-3 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงสกัดจากกลีบกระเจี๊ยบแดงแห้งขนาด 20 เมช เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสนาน 9 เดือน ทำแห้งด้วย (a) เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (b) เครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง (กำลังขยาย 500 เท่า)

Figure 3-3 SEM micrographs of powdered roselle extracts, extracted from dried roselle calyces with 20 mesh particle sizes, keep at 25 °C for 9 months, dried by using (a) vacuum dryer (b) freeze dryer (magnification of 500x).



(a)



(b)

ภาพที่ 3-4 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างทางจุลภาคของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงผงที่สกัดด้วยกليب กระเจี๊ยบแดงแห้งปั่น 3 วินาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสนาน 9 เดือน ทำแห้งด้วย (a) เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (b) เครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง (กำลังขยาย 500 เท่า)

Figure 3-4 SEM micrographs of powdered roselle extracts, extracted from dried roselle calyces with blending for 3 s., keep at 25 ° C for 9 months, dried by using (a) vacuum dryer (b) freeze dryer (magnification of 500x).

ผลจากการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค ของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยกระเจี๊ยบแดงแห้ง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 20 เมช และผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ และเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง ที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 เดือน แสดงดังภาพที่ 3-3 และสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่สกัดด้วยกระเจี๊ยบแดงแห้งที่ป่นด้วยเครื่องป่นนาน 3 วินาที และทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ และเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง ที่ผ่านการเก็บรักษาเป็นเวลา 9 เดือน แสดงดังภาพที่ 3-4 พบว่าโครงสร้างของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ จะมีลักษณะที่เป็นรูพรุน (บริเวณ A) ซึ่งการระเหยของไอน้ำออกจากอาหารในระหว่างการอบแห้ง จะส่งผลให้อาหารนั้นมีลักษณะที่เป็นรูพรุน และการใช้อุณหภูมิในระหว่างการอบแห้งที่สูงขึ้น ก็จะทำให้อาหารมีปริมาณรูพรุนมากขึ้น และมีขนาดของรูพรุนใหญ่ขึ้น (Askari, 2004; Pimpaporn *et al.*, 2006; Nimmol *et al.*, 2007; Bondaruk *et al.*, 2007) สำหรับโครงสร้างของสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้งจะมองไม่เห็นลักษณะที่เป็นรูพรุน ซึ่งลักษณะที่เป็นรูพรุนจะส่งผลให้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ มีปริมาณความชื้นมากกว่า สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง (ปริมาณความชื้นแสดงในตารางที่ 2-4) ซึ่งวิภา สุโรจนะเมธากุล และคณะ (2541) รายงานว่าลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของเซลลูโลสผงที่ผลิตจากกากกระเจี๊ยบแดง จะมีรูพรุนมาก ซึ่งลักษณะดังกล่าวทำให้สามารถดูดซับ (absorb) ความชื้นจากบรรยากาศได้ง่ายกว่า ส่งผลให้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 9 เดือน มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น (แสดงผลในตารางที่ 2-6) เมื่อเปรียบเทียบกับสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ ที่ไม่ผ่านการเก็บรักษา (ปริมาณความชื้นแสดงผลในตารางที่ 2-5) นอกจากนี้ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น ยังส่งผลให้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ ที่ผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 9 เดือน มีการจับตัวกันของอนุภาค มากกว่าสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง ซึ่ง Farkye (1998) รายงานว่า นมผงที่บรรจุในถุงโพลีเอธิลีน และผ่านการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 38 องศาเซลเซียส จะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น จะมีแนวโน้มให้อนุภาคของนมผงมีการเกาะตัวกัน

นอกจากนี้ Abdel-Kareem และ Brennan (1975 อ้างโดย Al-Kahtani และ Hassan, 1990) รายงานว่า การเกาะตัวกันของกระเจี๊ยบแดงถือเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้ผงกระเจี๊ยบแดงไม่มีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา

5. สรุป

การศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาค สามารถนำมาใช้ในการติดตามผลของกระบวนการแปรรูป ที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูป (Yousif *et al.*, 2000; Giri and Prasad, 2007) จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของสารสกัดกระเจี๊ยบแดง พบว่าสารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ จะแสดงภาพของโครงสร้างทางจุลภาคที่มีลักษณะมน พื้นผิวค่อนข้างเรียบ และมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำให้เป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง ซึ่งแสดงโครงสร้างทางจุลภาคที่มีลักษณะคม เป็นเหลี่ยม นอกจากนี้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 9 เดือน จะมีลักษณะที่เป็นรูพรุน จึงส่งผลให้สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ มีปริมาณความชื้นมากกว่า สารสกัดกระเจี๊ยบแดงที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิดแห้ง

6. เอกสารอ้างอิง

เวทิน นพนิตย์. 2524. จุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. อักษรเจริญทัศน์. กรุงเทพมหานคร.

เวทิน นพนิตย์. 2534. จุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองกราต. ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.

วิภา สุโรจนะเมธากุล, ตวิษา โลหะนะ, พะยอม อัดถวิบูลย์กุล และบุญมา นิยมวิทย์. 2541. การใช้กากดอกกระเจี๊ยบและเปลือกถั่วเหลืองเพื่อผลิตเซลล์โลสพง. อาหาร 28 : 255-267.

อนันต์ ลีขจร. 2535. กล้องจุลทรรศน์และเทคนิคการถ่ายภาพทางชีววิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ.เอส.พรีนติ้ง เฮ้าส์. กรุงเทพมหานคร.

Askari, G.R., Emam-Djomeh, Z. and Mousavi, S.M.A. 2004. Effect of drying method on microstructural changes of apple slices. *In* Proceeding of the 14th International Drying Symposium, Brazil. 22-25 August 2004. P. 1435-1441.

Bondaruk, J., Markowski, M. and Blaszczyk, W. 2007. Effect of drying on the quality of vacuum-microwave dried potato tubes. *J. Food Eng.* 81 : 306-312.

Farkye, N. Y. 1998. Effects of storage on some properties of whole and skim milk powders (Online). Available <http://www.cdrf.org/content.asp> (15 April 2007)

Giri, S.K. and Prasad, S. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave-vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *J. Food Eng.* 78 : 512-521.

Ko, W.E., Liu, W.C., Tsang, Y.Y. and Hsieh, C.W. 2007. Kinetics of winter mushrooms (*Flammulina velutipes*) microstructure and quality changes during thermal processing. *J. Food Eng.* 81 : 587-598.

- Miao, S. and Roos, Y.H. 2004. Comparison of nonenzymatic browning kinetics in spray-dried and freeze-dried carbohydrate-based food model systems. *J. Food Sci.* 69 : 322-331.
- Nimmol, C., Devahastin, S., Swasdisevi, T. and Sopanronnarit, S. 2007. Drying of banana slices using combined low-pressure superheated steam and far-infrared radiation. *J. Food Eng.* 81 : 624-633.
- Pimpaporn, P., Devahastin, S. and Chiewchan, N. 2007. Effect of combined pretreatments on drying kinetics and quality of potato chips undergoing low-pressure superheated steam drying. *J. Food Eng.* 81 : 318-329.
- Sirichote, A. 2001. High hydrostatic pressure processing of asparagus. Ph.D. Dissertation. Washington State university.
- Srikaeo, K., Furst, J.E., Ashton, J.F. and Hosken, R.W. 2006. Microstructural changes of starch in cooked wheat grains as affected by cooking temperatures and times. *Lebensm. Wiss. - Technol.* 35 : 730-740.
- Xu, Y., Zhang, M., Tu, D., Sun, J., Zhou, L. and Mujumdar, A.S. 2005. A two-stage convective air and vacuum freeze-drying technique for bamboo shoots. *J. Food Sci. Technol.* 40 : 589-595.
- Yousif, A.N., Durance, T.D., Scaman, C.H. and Girard, B. 2000. Headspace volatiles and physical characteristics of vacuum-microwave, air and freeze-dried oregano (*Lippia berlandieri* Schauer). *J. Food Sci.* 65 : 926-930.