



บทที่ 3

ผลการทดลอง

การคัดเลือก และเตรียมแป้งดิบจากวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของแป้งที่ไม่ใช่เชิงพาณิชย์

พืช/ส่วนของพืชที่ใช้ในการศึกษา 5 ชนิด คือ เนือกกล้วยดิบ (*Musa spp.*) หัวมันกลอย (*Dioscorea hispida* Dennst.) เม็ดเดือย (*Coix lacryma-jobi*) เมล็ดขนุน (*Artocarpus heterophyllus*) และหัวมันสาคุ (*Maranta arundinacea* L.) เป็นพืชที่มีรายการการสกัดแยกแป้งออกมาได้ แต่ยังไม่มีการนำมาผลิตในปริมาณมากหรือมีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากวัตถุดิบพืชที่จะนำมาผลิตแป้งมีอยู่ในปริมาณมาก จึงเป็นกลุ่มที่มีศักยภาพในการพัฒนาเพื่อเป็นแป้งเชิงพาณิชย์ต่อไป หากมีข้อมูลสนับสนุนการใช้ประโยชน์และ/หรือลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากแป้งที่มีการใช้อยู่โดยทั่วไป

การสกัดแยกแป้งดิบจากวัตถุดิบพืช ในขั้นตอนแรกจะแยกฟลาวแป้งออกมาก่อน โดยในกล้วยดิบจะทำการหั่นเนือกกล้วย นำไปอบแห้ง แล้วป่นเป็นผง เนื่องจากเนือกกล้วยมีส่วนที่เป็นกากอยู่ไม่มาก ขณะที่ตัวอย่างพืชอีก 4 ชนิดที่มีปริมาณกากมากกว่า จะทำการปั่นผสมตัวอย่างพืชที่หั่นเป็นชิ้นหรือแช่น้ำไว้ 24 ชั่วโมงแล้วกับสารละลายโซเดียมโบรไมด์ ให้ฟลาวแป้งกระจายตัวอยู่ในสารละลาย แล้วกรองแยกกากออกโดยใช้ผ้าขาวบาง ทำซ้ำ แล้วเก็บ filtrate ที่ได้ และวางทิ้งไว้ค้างคืน หลังจากเทสารละลายส่วนบนทิ้งแล้วกรองเก็บตะกอนด้านล่าง ซึ่งเป็นส่วนของฟลาวแป้งมาอบให้แห้ง บด ผ่านร่อน จะได้ผงฟลาวสีขาวขนาดเล็ก

การสกัดแป้งดิบออกจากฟลาว โดยการกระจายผงฟลาวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.05 M ผสมให้เข้ากัน ตั้งบนเครื่องคนสารด้วยแม่เหล็ก เปิดเครื่องให้คนอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 5 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง เมื่อครบเวลานำส่วนผสมที่ได้มากรองผ่านตะแกรงลวดที่มีขนาดรู 75 ไมครอน ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แป้งที่ฟองตัวเล็กน้อยจะผ่านรูตะแกรงออกมาได้ ขณะที่ส่วนกากที่ไม่ละลายอื่นๆ จะค้างบนตะแกรง หลังจากนั้น ตั้งส่วนผสมที่ได้ทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้เม็ดแป้งตกตะกอน เทสารละลายส่วนบนซึ่งจะมีโปรตีนและไขมันละลายอยู่ทิ้งไป ล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำปราศจากอ็อกซิเจนครั้งละ 600 มล. จำนวน 3 ครั้ง แล้วแช่ตะกอนที่ได้ด้วยน้ำปราศจากอ็อกซิเจนปริมาตร 600 มล. ปรับพีเอชให้ได้เท่ากับ 7 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 M แป้งจะยุบตัวและตกตะกอนลงมา ทั้งสารละลายส่วนบนพร้อมทั้งตะกอนส่วนบนที่มีสีคล้ำทั้ง เมื่อนำแป้งที่ได้ใส่ในภาชนะสะอาด นำไปอบที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้แป้งดิบของพืชแต่ละชนิด

ปริมาณอะมิโลสในแป้งดิบ

การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสใช้วิธีการ Colorimetry ที่ดัดแปลงจากรายงานของ Juliano (1971) โดยใช้สารมาตรฐานอะมิโลสเป็นตัวแทนเปรียบเทียบ ผลปริมาณอะมิโลสในแป้งชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.1



ตารางที่ 3.1 ปริมาณอะมิโลสในแป้งดิบแต่ละชนิด

ตัวอย่าง	รหัส	ปริมาณอะมิโลส (%)
กล้วยดิบ	BNS	28.5±0.5
มันกลอย	DHS	20.3±1.1
เม็ดเดือย	JTS	8.8±0.2
เมล็ดขนุน	JFS	26.4±0.7
มันสำคู	MAS	19.7±0.6

แป้งที่ใช้ในการศึกษานี้พบว่า แป้งกล้วยดิบมีปริมาณอะมิโลสสูงสุด ขณะที่แป้งเม็ดเดือยมีปริมาณอะมิโลสต่ำสุด โดยปริมาณอะมิโลสเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ BNS > JFS > DHS > MAS > JTS

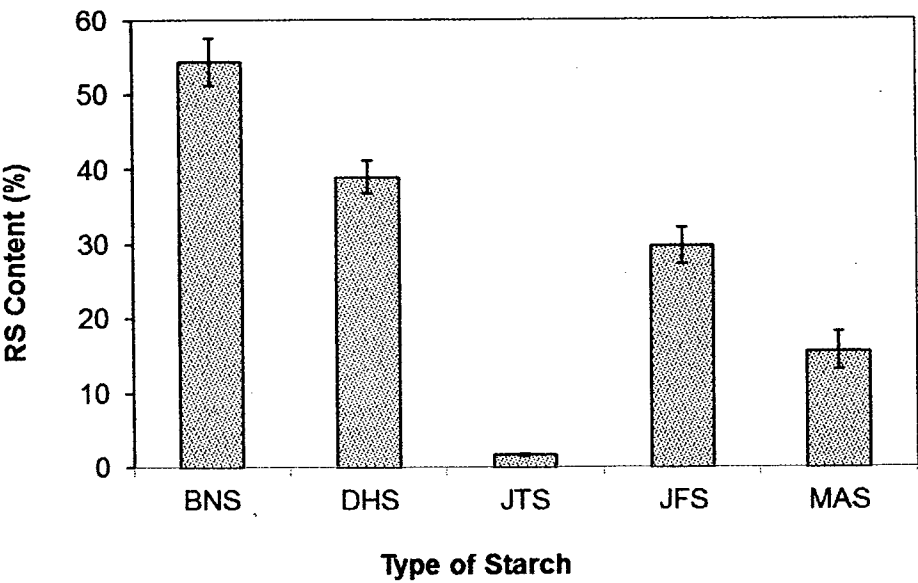
ปริมาณแป้งต้านทานการย่อย (RS) ในแป้งดิบ

การทดสอบโดยใช้ชุดทดสอบ Resistant Starch Assay Kit (Megazyme, Ireland) เป็นวิธีมาตรฐานในการหาปริมาณแป้งต้านทานการย่อยตาม AOAC 2002.02 และ AACC 32-40 การทดสอบนี้อาศัยหลักการว่า เมื่อตัวอย่างถูกนำมาบ่มเพาะในอ่างเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ที่มีเอนไซม์ pancreatic α -amylase และ amyloglucosidase (AMG) เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ที่ 37°C ในขั้นตอนนี้ แป้งที่ไม่ต้านทานการย่อยจะถูกทำให้ละลายและไฮโดรไลซ์เป็นน้ำตาลกลูโคสโดยผลของเอนไซม์ทั้งสองชนิด ปฏิกริยาถูกทำให้สิ้นสุดโดยการเติมเอทานอลในปริมาตรเท่ากัน เก็บส่วนแป้งต้านทานการย่อยในรูปของตะกอนที่ได้จากการปั่นเหวี่ยง นำตะกอนไปล้าง 2 ครั้งโดยใช้เอทานอล ตามด้วยการปั่นเหวี่ยง เก็บส่วนของเหลวทั้ง 3 ครั้ง โดยการรินออกไปรวมกันไว้เพื่อวิเคราะห์แป้งที่ไม่ต้านทานการย่อย นำตะกอนของแป้งต้านทานการย่อยมาละลายในสารละลาย 2M KOH โดยการคนเขย่าด้วยแท่งแม่เหล็กในอ่างน้ำแข็งบนเครื่องคนแม่เหล็กไฟฟ้า ทำสารละลายนี้ให้เป็นกลางด้วยสารละลายอะซิเตดบัฟเฟอร์ แล้วไฮโดรไลซ์เชิงปริมาณให้เป็นกลูโคสด้วยเอนไซม์ AMG วิเคราะห์ปริมาณกลูโคส (D-glucose) ที่เกิดขึ้นด้วยรีเอเจนต์ glucose oxidase/peroxidase (GOPOD) และคำนวณกลับเป็นปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในตัวอย่าง ส่วนปริมาณแป้งที่ไม่ต้านทานการย่อย (solubilized starch) วิเคราะห์โดยการนำสารละลายเหนือตะกอนทั้งหมดมารวมกัน ล้างและปรับปริมาตรเป็น 100 mL และหาปริมาณกลูโคสโดยใช้ GOPOD

ผลปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในแป้งดิบแต่ละชนิด แสดงในรูปที่ 3.1 แป้งกล้วยดิบมีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูงสุดที่ร้อยละ 54.4±3.2 รองลงมาคือแป้งกลอยมีปริมาณ RS เท่ากับร้อยละ 38.9±2.2 แป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยร้อยละ 29.7±2.4 ขณะที่แป้งมันสำคู



มีปริมาณ RS ร้อยละ 15.6 ± 2.5 ส่วนแป้งเม็ดเดียวมีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยต่ำที่สุดในกลุ่มที่ศึกษาคือมีเพียงร้อยละ 1.6 ± 0.1



รูปที่ 3.1 ปริมาณแป้งต้านทานการย่อยเปรียบเทียบตัวอย่างพืช 5 ชนิด

สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งดิบ

ลักษณะปรากฏทั่วไป และปริมาณความชื้น

แป้งดิบทั้ง 5 ชนิด มีลักษณะทั่วไปเป็นผงละเอียด สีขาวถึงขาวนวล ยกเว้นแป้งกล้วยและแป้งกลอยที่มีสีเหลืองน้ำตาลและเหลืองอ่อนตามลำดับ ผงแป้งมีลักษณะพองฟูปานกลางถึงมาก การไหลในเบื้องต้นไม่ดี และมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 10-11% (ตารางที่ 3.2)

ตารางที่ 3.2 ลักษณะปรากฏทั่วไปและปริมาณความชื้นของแป้งดิบชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	ลักษณะทั่วไป	สี	ความพองฟู	การไหลเบื้องต้น	ปริมาณความชื้น (%)
BNS	ผงละเอียด	เหลืองน้ำตาล	มาก	ไม่ดี	10.32
DHS	ผงละเอียด	เหลืองอ่อน	ปานกลาง	ไม่ดี	9.78
JTS	ผงละเอียด	ขาวนวล	ปานกลาง	ไม่ดี	11.12
JFS	ผงละเอียด	ขาว	ค่อนข้างน้อย	ไม่ดี	10.87
MAS	ผงละเอียด	ขาวนวล	มาก	ไม่ดี	10.55

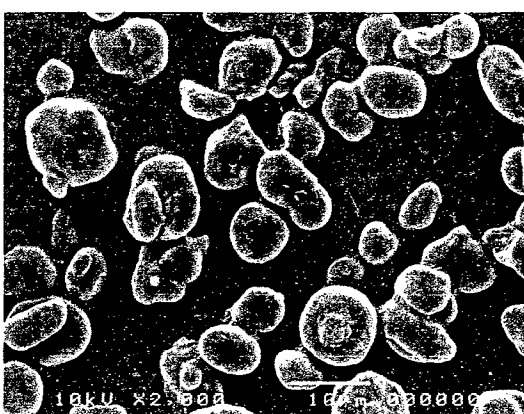
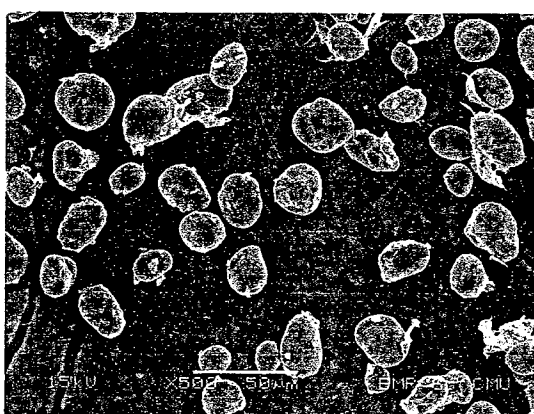
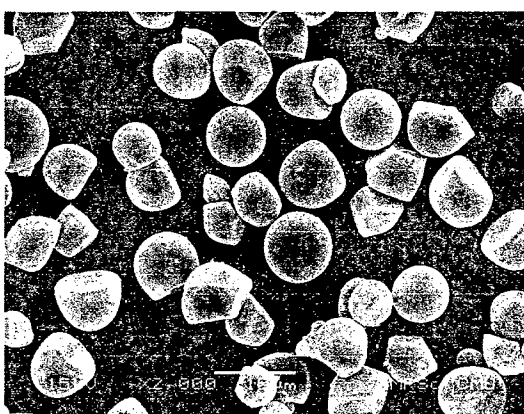
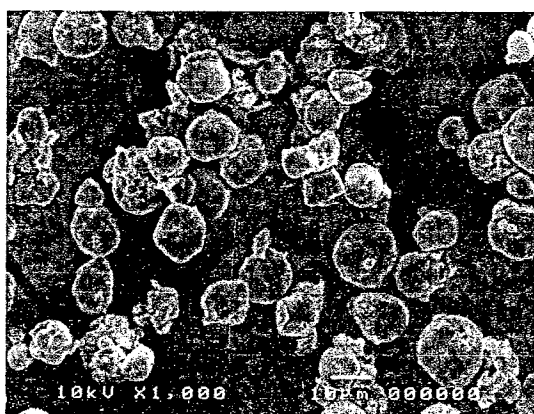
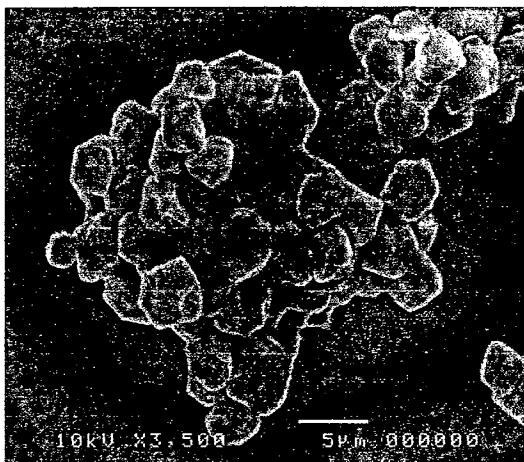
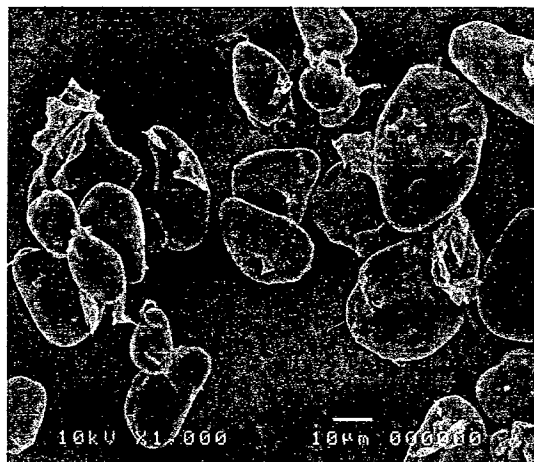


ลักษณะพื้นผิวและรูปร่างแกรนูลภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสแกนนิ่ง (SEM)

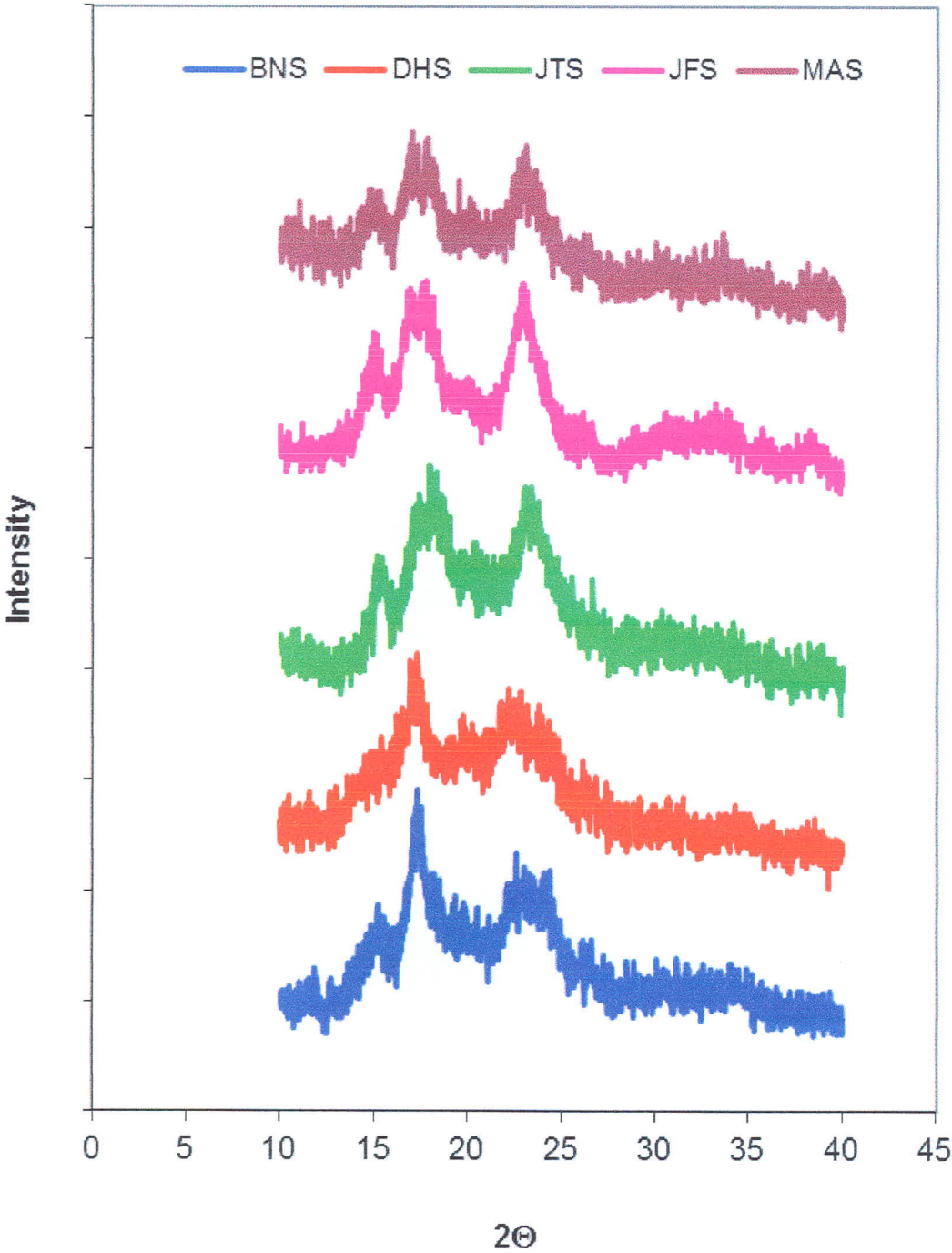
ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนสแกนนิ่งของแป้งดิบทั้ง 5 ชนิด แสดงในรูปที่ 3.2 พบว่า แป้งกล้วยดิบ (BNS, กำลังขยาย 1000X) มีลักษณะรูปร่างแกรนูลแบบ irregular ที่มีส่วนที่เป็นแบบยืดยาว (elongated) และส่วนที่เป็นทรงกลม (spheroid) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 15-30 μm ซึ่งใกล้เคียงกับที่มีรายงานไว้โดย Zhang และคณะ (2005) แป้งมันกลอย (DHS, กำลังขยาย 3500X) แกรนูลมีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยม (polygonal) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-4 μm ลักษณะคล้ายแกรนูลแป้งข้าว แป้งเม็ดเดียว (JTS, กำลังขยาย 1000X) แกรนูลมีลักษณะเป็นรูปทรงกลม ผิวไม่เรียบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างสม่ำเสมอประมาณ 10-12 μm แป้งเมล็ดขนุน (JFS, กำลังขยาย 2000X) แกรนูลมีลักษณะเป็นทรงกลมตัด ผิวเรียบ มีการแตกหักเล็กน้อย แกรนูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 5-8 μm ขณะที่แป้งมันสำคูล (MAS, กำลังขยาย 500X) แกรนูลมีลักษณะเป็นทรงกลมสลับกับทรงรี ผิวไม่เรียบ แกรนูลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างใหญ่ระหว่าง 10-30 μm เปรียบเทียบกับแกรนูลของแป้งด้านทานการย่อยเชิงพาณิชย์ Hi-Maize 260 (HM) ซึ่งเป็นแป้งข้าวโพดอะมิโลสสูง ที่มีขนาดแกรนูลประมาณ 3-10 μm ขนาดแกรนูลแป้งที่ทำการศึกษานี้เรียงตามลำดับจากใหญ่ไปเล็กดังนี้ BNS > MAS > JTS > JFS > DHS

รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction)

รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแป้งดิบทั้ง 5 ชนิด แสดงไว้ในรูปที่ 3.3 แป้งกล้วยดิบแสดงค่าพิคการสะท้อนหลักที่มุม 2θ เท่ากับ 15.3 และ 17.2° และพิคกว้างที่ 22-24° ในขณะที่รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแป้งมันกลอย แสดงค่าพิคการสะท้อนหลักที่มุม 2θ เท่ากับ 17.2°, 20° และพิคกว้างที่ 22-24° แป้งเม็ดเดียวแสดงค่าพิคการสะท้อนหลักที่มุม 2θ เท่ากับ 15.3, 17.8° และ 22.8° คล้ายกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแป้งเมล็ดขนุนที่แสดงค่าการสะท้อนหลักที่มุม 2θ เท่ากับ 15.1, 17.9 และ 23.0 ซึ่งค่าเหล่านี้สอดคล้องกับรูปแบบของผลึกแป้งแบบ A (A-type) ที่ได้รายงานไว้แล้วก่อนหน้านี้ (Kittipongpatana & Kittipongpatana, 2011) ส่วนแป้งมันสำคูลแสดงค่าพิคการสะท้อนหลักที่มุม 2θ เท่ากับ 15.2 และ 17.2° และพิคกว้างที่ 22-25°



รูปที่ 3.2 ภาพถ่าย SEM ของ (บนซ้าย) แป้งกล้วยดิบ (BNS) (บนขวา) แป้งมันกลอย (DHS) (กลางซ้าย) แป้งเม็ดเดียว (JTS) (กลางขวา) แป้งเมล็ดขนุน (JFS) และ (ล่างซ้าย) แป้งมันสำคู (MAS) เปรียบเทียบกับ (ล่างขวา) แป้งด้านทานการย่อยมาตรฐาน Hi-Maize 260 (HM)



รูปที่ 3.3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD pattern) ของแป้งดิบจากกล้วย (BNS) มันกลอย (DHS) เม็ดเตี๋ย (JTS) เมล็ดขนุน (JFS) และมันสำปะหลัง (MAS)

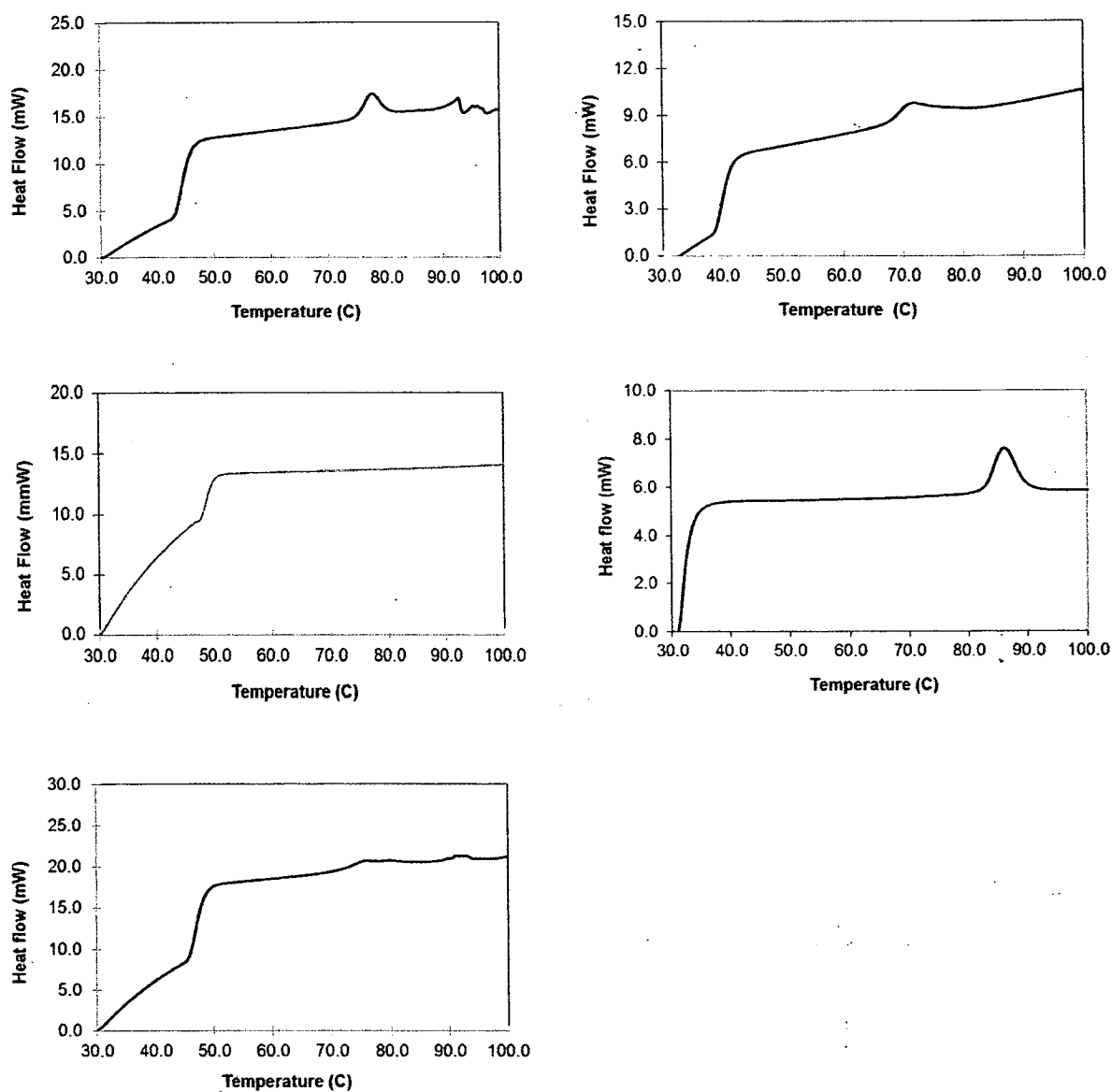


Differential Scanning Calorimetry (DSC)

DSC thermogram ของแป้งดิบทั้ง 5 ชนิด ในช่วงอุณหภูมิ 30-100°C แสดงไว้ในรูปที่ 3.4 และค่าพารามิเตอร์ทางอุณหภูมิของการเกิดเป็นเจลได้แก่ ค่าอุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature, T_o) อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (peak temperature, T_p) อุณหภูมิที่จุดสุดท้าย (conclusion temperature, T_c) ช่วงอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลง และค่าเอนทาลปี (ΔH) ของการเปลี่ยนแปลง แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่บ่งชี้สมบัติทางอุณหภูมิของแป้งกล้วยในการศึกษานี้มีค่าอุณหภูมิการเกิดเป็นเจล (78.3°C) สูงกว่าที่มีรายงานไว้โดย Waliszewski และคณะ (2003) (74.6°C) ในขณะที่ช่วงอุณหภูมิการเกิดทรานสิชันจะแคบกว่า (7.3 vs. 12.7°C) และค่าเอนทาลปีจะต่ำกว่า (3.0 vs. 5.2 J/g) ซึ่งส่วนหนึ่งน่าจะมาจากความแตกต่างของสายพันธุ์ รวมถึงอายุของกล้วยที่ใช้ในการศึกษา แป้งมันกลอยแสดงค่าอุณหภูมิการเกิดเป็นเจลที่ต่ำที่สุดในกลุ่มแป้งที่ศึกษา โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นเจลที่อุณหภูมิสูงกว่า 70°C เล็กน้อย ขณะที่ค่าเอนทาลปีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับแป้งกล้วย ในกรณีของแป้งเม็ดเดียว การศึกษานี้ไม่สามารถตรวจพบพิกที่แสดงการเปลี่ยนแปลงเป็นเจลของแป้งเม็ดเดียวได้ แม้ว่าจะทำการทดสอบซ้ำหลายครั้ง ซึ่งยังไม่ทราบแน่ชัดว่าเกิดจากสาเหตุใด ในส่วนพารามิเตอร์ของแป้งขนุนมีค่าใกล้เคียงกับที่มีการรายงานไว้แล้วก่อนหน้านี้ (Kittipongpatana & Kittipongpatana, 2011) ขณะที่แป้งมันสำคูลแสดงค่าอุณหภูมิการเกิดเป็นเจลใกล้เคียงกับแป้งกล้วย แต่มีค่าเอนทาลปีการเกิดต่ำกว่าอย่างมาก

ตารางที่ 3.3 DSC parameters ของแป้งดิบชนิดต่างๆ

ตัวอย่าง	Onset	Peak	X2	ΔT	ΔH
BNS	74.54±0.58	78.35±0.14	81.90±0.50	7.26±0.60	2.98±0.86
DHS	67.56±0.46	71.83±0.22	76.50±0.00	5.96±5.17	3.28±0.11
JTS			ND		
JFS	82.44±0.36	86.87±0.39	91.75±0.28	9.01±0.85	12.21±0.93
MAS	73.58±0.25	76.66±0.49	81.10±0.22	2.50±0.15	0.74±0.29



รูปที่ 3.4 DSC thermograms ของ (บนซ้าย) แป้งกล้วยดิบ (BNS) (บนขวา) แป้งมันกลอย (DHS) (กลางซ้าย) แป้งเม็ดเดียว (JTS) (กลางขวา) แป้งเมล็ดขนุน (JFS) และ (ล่างซ้าย) แป้งมันสำคู (MAS)

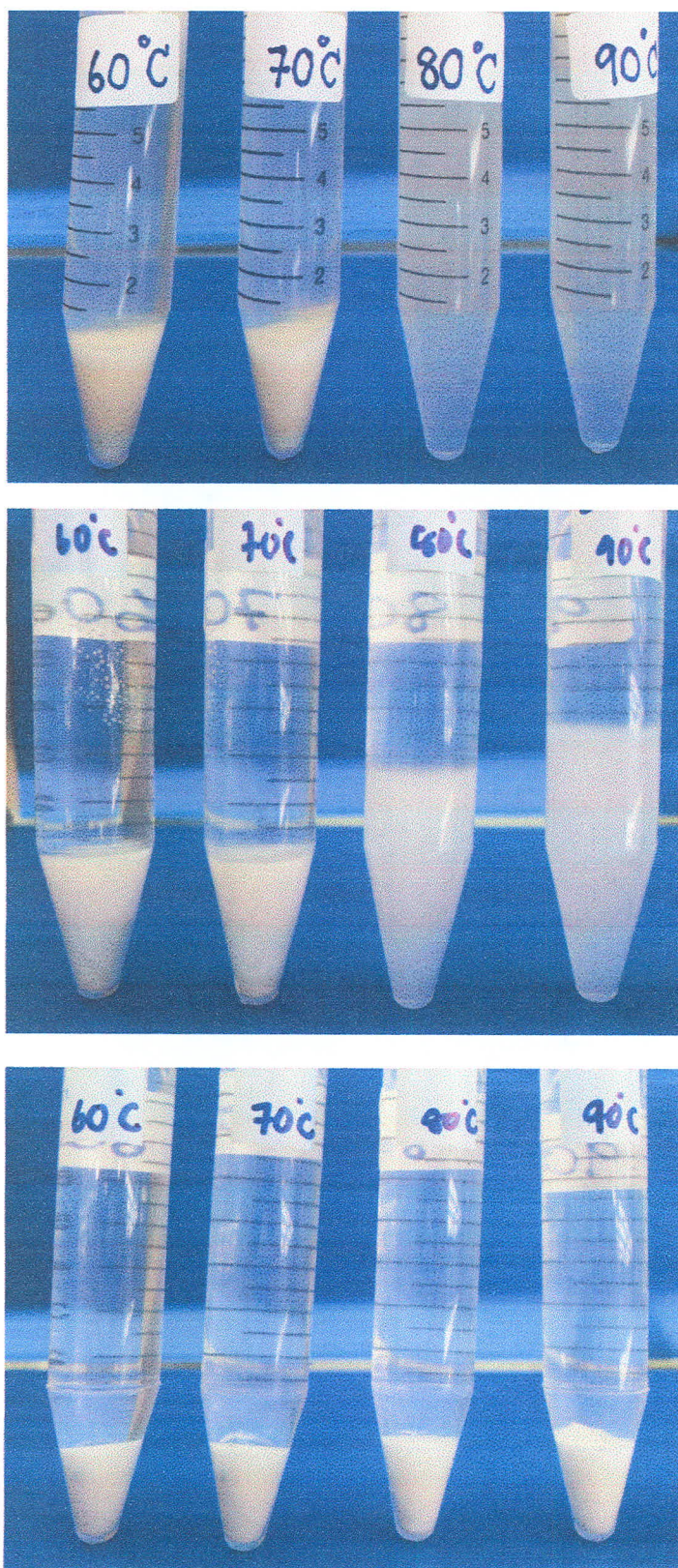
การละลายและการพองตัวในน้ำ

ค่าการละลายและการพองตัวในน้ำของแป้งดิบทั้ง 5 ชนิด ที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิช่วง 50-90°C แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 และลักษณะการพองตัวแสดงไว้ในรูปที่ 3.5 แป้งกล้วยแสดงการพองตัวต่ำที่สุดในบรรดาแป้งที่ทำการศึกษา ซึ่งเป็นสมบัติที่คล้ายคลึงกับแป้งด้านทานการย่อยมาตรฐาน Hi-Maize ที่มีการพองตัวต่ำมากที่สุดที่ทุกอุณหภูมิทดสอบ ขณะที่ค่าการพองตัวในน้ำเพิ่มขึ้นตามลำดับของแป้ง BNS < DHS < JTS < JFS < MAS

ตารางที่ 3.4 กำลังการพองตัว (swelling power, g/g of dry starch) และการละลายน้ำ (g/g of dry starch x 100) ของแป้งดิบ 5 ชนิด ที่ให้ความร้อนจาก 50 ถึง 90°C.

คุณสมบัติ	ตัวอย่างแป้ง	อุณหภูมิ (°C)					
		RT	50	60	70	80	90
Swelling Power	BNS	1.0	1.2	1.5	1.7	2.8	3.7
	DHS	1.3	1.6	2.5	3.4	4.2	5.3
	JTS	1.2	1.3	2.5	4.4	6.3	7.4
	JFS	1.1	1.3	2.3	5.5	6.8	7.7
	MAS	1.3	2.0	2.3	2.5	8.2	10.4
	HM	1.0	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6
Water Solubility	BNS	0.9	2.5	4.0	6.8	8.3	10.3
	DHS	0.8	2.2	2.6	8.2	13.0	15.2
	JTS	1.0	3.8	5.2	9.6	10.7	12.5
	JFS	0.4	1.3	2.4	5.5	7.2	9.5
	MAS	1.3	4.6	14.4	17.4	22.9	29.7
	HM	0.5	1.2	2.6	3.3	4.8	5.4

ส่วนค่าการละลายน้ำ พบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีการละลายน้ำต่ำที่สุดรองจากแป้งด้านทานการย่อยมาตรฐาน จากนั้นการละลายเรียงตามลำดับ JFS < BNS < JTS < DHS < MAS เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังการพองตัวและการละลายน้ำของแป้งกล้วยดิบที่ได้จากการศึกษานี้กับที่มีรายงานไว้โดย Waliszewski และคณะ (2003) พบว่า ค่ากำลังการพองตัว (1.2-3.7 g/g) มีค่าต่ำกว่าที่มีรายงานไว้ (1.8-8.7 g/g) ในขณะที่ค่าการละลายน้ำ (2.5-10.3 g/g x 100) มีค่าสูงกว่าที่มีรายงานไว้ (1.8-8.7 g/g x 100) เล็กน้อย เมื่อศึกษาในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน (50-90°C)



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการฟองตัวของแป้งดิบมันสาธุ (MAS) ที่อุณหภูมิต่างๆ (บน) เปรียบเทียบกับแป้งกล้วยดิบ (BNS) (กลาง) และแป้งต้านทานการย่อยมาตรฐาน Hi-Maize 260 (HM) (ล่าง)



แป้งมันสำคูล (MAS) แสดงกำลังการพองตัวและการละลายในน้ำสูงที่สุดในกลุ่มแป้งที่ศึกษาในครั้งนี้ จึงมีศักยภาพในการพัฒนาเป็นสารช่วยทางเภสัชกรรมในกลุ่มสารช่วยแตกตัวสำหรับรูปแบบยาเม็ดได้ ขณะที่แป้งที่มีการละลายและพองตัวต่ำ แต่มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูงคือ แป้งกล้วย แป้งมันกลอย และแป้งขนุน มีโอกาสในการพัฒนาเป็นวัตถุเติมอาหารในกลุ่มอาหารสุขภาพ ซึ่งในกรณีแป้งเมล็ดขนุนที่มีวัตถุเติมเมล็ดขนุนเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมสำหรับการผลิตแป้งในปริมาณมาก ได้มีการเผยแพร่ผลการทดลอง และเริ่มพัฒนาต่อยอดการผลิตแป้งต้านทานการย่อยและการใช้ประโยชน์ทางเภสัชกรรมไปบ้างแล้ว (Kittipongpatana et al., 2013)

Bulk density, Tapped density, Compressibility ratio และ Hausner ratio

ค่าพารามิเตอร์ 4 ชนิดนี้ เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการไหลของผงแป้งตัวอย่าง โดยพิจารณาค่าความหนาแน่นก่อนเคาะและความหนาแน่นหลังเคาะมาประกอบกัน ผลการศึกษาพารามิเตอร์ทั้งสี่ในแป้งดิบตัวอย่าง 5 ชนิด แสดงดังในตารางที่ 3.5 ค่า %CR และ Hausner ratio ของแป้งดิบที่ศึกษาเรียงตามลำดับ $MAS < BNS < JTS \cong DHS \ll JFS$ ซึ่งแสดงให้เห็นความสามารถในการไหลของแป้งดิบว่า แป้งมันสำคูล (MAS) มีการไหลอยู่ในเกณฑ์พอใช้ (fair) ขณะที่แป้งกล้วย (BNS) แป้งเม็ดเดือย (JTS) และแป้งมันกลอย (DHS) มีการไหลอยู่เกณฑ์ ผ่าน (passable) ส่วนแป้งขนุนเป็นแป้งดิบเพียงชนิดเดียวที่มีการไหลไม่ดี (poor)



ตารางที่ 3.5 ค่าความหนาแน่นของผงยา และการประเมินสมบัติการไหลโดย Compressibility Ratio (%CR) และ Hausner Ratio

ตัวอย่าง	น้ำหนักผง (g)	Bulk Volume (Vb, ml)	Tapped Volume (Vt, ml)	Bulk Density (Db, g/ml)	Tapped Density (Dt, g/ml)	%CR	Hausner Ratio
BNS	26.95±0.65	47.50±1.50	37.17±1.04	0.57±0.01	0.73±0.00	21.74±1.73	1.28±0.03
DHS	18.95±0.33	47.00±1.00	35.13±0.28	0.40±0.02	0.54±0.01	25.22±2.14	1.34±0.04
JTS	18.60±0.62	45.00±1.32	34.00±0.87	0.41±0.02	0.55±0.02	24.44±0.50	1.32±0.01
JFS	20.24±0.13	45.17±0.29	31.17±0.29	0.45±0.01	0.65±0.00	30.99±0.94	1.45±0.02
MAS	27.66±0.31	46.33±1.15	37.67±0.58	0.60±0.02	0.73±0.00	18.66±2.89	1.23±0.04