ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
236079

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

แป้งจากเมล็ดขนุน : การดัดแปร สมบัติทางเคมีกายภาพ และการประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรม

Starch from Jackfruit Seeds: Modification, Physicochemical Properties, and Pharmaceutical Application

เสนอ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ กิตติพงษ์พัฒนา
รองศาสตราจารย์ ดร.นิสิต กิตติพงษ์พัฒนา
อาจารย์ ดร.สุวคนธ์ จันทร์ต๊ะ
อาจารย์ ดร.กรรณิกา เทียรฆนิธิกูล

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2553
คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โครงการวิจัยเดี่ยว รหัสโครงการวิจัย 2553A10402164

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
236079

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

แป้งจากเมล็ดขนุน : การดัดแปร สมบัติทางเคมีกายภาพ และการประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรม

Starch from Jackfruit Seeds: Modification, Physicochemical Properties, and Pharmaceutical Application

เสนอ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

โดย

รองศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ กิตติพงษ์พัฒนา
รองศาสตราจารย์ ดร.นิสิต กิตติพงษ์พัฒนา
อาจารย์ ดร.สุวคนธ์ จันทร์ต๊ะ
อาจารย์ ดร.กรรณิกา เทียรฆนิธิกูล

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2553
คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
โครงการวิจัยเดี่ยว รหัสโครงการวิจัย 2553A10402164

คำนำ

ภาวะโลกร้อน (global warming) เป็นปรากฏการณ์ที่ก่อให้เกิดปัญหาและผลกระทบในวงกว้างต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบัน ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหาเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าเป็นผลสืบเนื่องมาจากการกระทำของมนุษย์ในการใช้ทรัพยากรอย่างไม่เหมาะสม ไม่ประหยัด และไม่คุ้มค่า ก่อให้เกิดความไม่สมดุลบนโลก ปัจจุบันมีการรณรงค์เพื่อการแก้ปัญหาโดยหลายองค์กรและหน่วยงาน ทั้งในระดับท้องถิ่น ประเทศ ภูมิภาค และนานาชาติ ซึ่งโดยรวมมุ่งเน้นที่การลดการใช้พลังงาน การลดการสร้างขยะ การนำกลับมาใช้ซ้ำ และการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

อุตสาหกรรมอาหารและการเกษตรจำนวนมากก่อให้เกิดขยะชีวภาพ (biowaste) เช่น โรงงานอาหารทะเล จะมีขยะในกลุ่มของเปลือกกุ้ง ปู และแกนปลาหมึก โรงงานผลไม้กระป๋อง มีขยะในกลุ่มของเปลือกและเมล็ดผลไม้ เป็นต้น ขยะชีวภาพเหล่านี้มีจำนวนมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณการผลิตอาหารเพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภค ปัจจุบันจึงมีกลุ่มนักวิจัยที่นำเอาขยะชีวภาพเหล่านี้มาแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์ เช่น เปลือกกุ้ง ปู และแกนปลาหมึก มีไคติน ซึ่งสามารถนำมาเตรียมเป็นไคโตซาน (chitosan) ที่นำไปใช้ประโยชน์ในหลากหลายในอุตสาหกรรมอาหารและยา เป็นต้น ในกลุ่มของเปลือกและเมล็ดผลไม้ มีการนำมาใช้ประโยชน์อาทิ การสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้ การสกัดสารสำคัญที่มีฤทธิ์ทางยาหรือใช้ในเครื่องสำอางจากเมล็ดพืช เช่น ลิ้นจี่ ลำไย เป็นต้น

เมล็ดขนุน จัดเป็นสิ่งเหลือใช้จากโรงงานผลิตขนุนกระป๋องหรือขนุนอบแห้ง รวมทั้งจากผู้ค้ารายย่อยในตลาดหลังจากการแกะส่วนเนื้อขนุนไปขาย โดยพบว่าแม้ส่วนหนึ่งจะมีการนำไปต้มเพื่อบริโภคหรือจำหน่ายต่อ แต่ส่วนใหญ่ของเมล็ดจะถูกทิ้งไป เป็นการสูญเสียโอกาสในการใช้ประโยชน์และยังเป็นการเพิ่มปริมาณขยะชีวภาพ เมล็ดขนุนมีแป้งเป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก จึงมีผู้นำแป้งจากเมล็ดขนุนมาใช้ประโยชน์ทางอาหาร เช่น การใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำขนม เป็นต้น

โครงการวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาทดลองเพื่อประเมินศักยภาพในการนำแป้งจากเมล็ดขนุนมาใช้ประโยชน์ในทางเภสัชกรรม โดยเน้นที่การดัดแปรแป้งเมล็ดขนุนด้วยกระบวนการทางกายภาพและทางเคมี เพื่อปรับปรุงสมบัติทางเคมีกายภาพให้ดีขึ้นกว่าแป้งดิบ แล้วทดสอบการใช้เป็นสารช่วยต่างๆ ทางเภสัชกรรม ผลจากการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการใช้ประโยชน์จากเมล็ดขนุน เพื่อเพิ่มมูลค่า ช่วยลดปริมาณขยะ รวมทั้งความเป็นไปได้ในการใช้ทดแทนสารช่วยทางเภสัชกรรมบางชนิดที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศได้ต่อไป

คณะผู้วิจัย
เมษายน 2554

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จากความร่วมมือและช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ซึ่งคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ประกอบด้วย

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่พิจารณาสนับสนุนการจัดทำโครงการวิจัย และทุนในการทำวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประจำปี 2553 (รหัสโครงการ **2553A10402164**)

ภาควิชาวิทยาศาสตร์เภสัชกรรม และหน่วยบริการเครื่องมือกลาง คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือวิทยาศาสตร์ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย และหน่วยบริหารงานวิจัย คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ช่วยประสานงานเกี่ยวกับโครงการวิจัย

ภาควิชาบริบาลเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่อนุญาตให้บุคลากรในสังกัดเข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้

และผู้ทรงคุณวุฒิในการประเมินรายงานฉบับสมบูรณ์ ที่กรุณาตรวจสอบ ให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขรายงาน และต่อการทำวิจัยต่อยอดต่อไป

ABSTRACT

236079

Native jackfruit starch (JFS) was extracted from the cotyledons of *Artocarpus heterophyllus* Lam. at a yield of 16.9% dry starch/fresh weight of seeds. The moisture content and the amylose content were determined to be 6.21 and 26.4±0.7%, respectively. JFS was visualized as rounded, smooth granules with diameter of 4-10μm using scanning electron microscopy (SEM). X-ray diffractometry revealed an A-type crystal structure. Modification of JFS was carried out physically or chemically to obtain a pregelatinized starch (PG-JF), three carboxymethyl starches (m-, n- and i- CMJF), a hydroxypropyl starch (HP-JF), a phosphate cross-linked starch (CL-JF) and a phosphate cross-linked carboxymethyl starch (CL-CMJF). Investigation of pertinent physicochemical properties revealed that, at room temperature, PG-JF, HP-JF, CL-JF and CL-CMJF were insoluble or partially soluble in water while all CMJFs were soluble, yielding solution with higher apparent viscosity than those of other modified starches at a shear rate of $100s^{-1}$. SEM showed that granules of all modified JFS retained the appearance and crystal structure of JFS, with the exception of PG-JF, n-CMJF and i-CMJF in which significant breakage of granules was observed. XRD results corroborated to suggest the loss of crystallinity in these modified starch. PG-JF and HP-JF showed temperature-dependent improvement on swelling and solubility compared to that of JFS, while CL-JF showed less solubility. Thermal analysis by DSC showed significant decreases in gelatinization temperature (Tg) of HP-JF compared to that of JFS. The Tg of PG-JF and CL-JF were higher than that of JFS. CL-CMJF, with excellent water uptake with high swelling capacity, was shown to be a good tablet disintegrant with disintegration rate only slightly slower than standard tablets that contained sodium starch glycolate or crosscarmellose sodium as disintegrant. CMJFs possessed both film-forming and binding properties, based on their solubility in water and viscosity. i-CMJF plasticized with propylene glycol and glycerol yielded film with less brittleness and better flexibility compared to JFS film. m-CMJF was the most effective binding agent for wet granulation process, judging from the strength and pressure-hardness profile of the prepared tablets. Further research on these modified jackfruit starch products, in collaboration with the industrial sector represents a logical strategy to develop new pharmaceutical excipients based on domestic biowaste.

Keywords : Jackfruit, *Artocarpus heterophyllus*, modified starch, pregelatinized starch, carboxymethyl starch, hydroxypropyl starch, cross-linked starch, cross-linked carboxymethyl starch, physicochemical property, pharmaceutical property, pharmaceutical excipient

บทคัดย่อ

236079

แป้งขนุนดิบถูกสกัดแยกออกมาจากส่วนในของเมล็ดขนุนในปริมาณร้อยละ 16.9 ของน้ำหนักเมล็ดสด แป้งที่ได้มีความชื้นร้อยละ 6.21 และปริมาณอะมิโลสร้อยละ 26.4±0.7 แกรนูลมีลักษณะกลม ผิวเรียบ เมื่อส่องดูภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนสแกนนิง โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4-10 ไมโครเมตร มีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่สอดคล้องกับแกรนูลแป้งชนิดเอ แป้งดิบถูกนำไปดัดแปรด้วยปฏิกิริยาทางกายภาพหรือเคมีได้เป็นแป้งดัดแปรชนิดต่างๆ ได้แก่ แป้งพรีเจลาติไนซ์ (PG-JF) แป้งคาร์บอกซีเมทิลที่เตรียมโดยใช้เมทธานอล (m-CMJF) 1-โพรพานอล (n-CMJF) หรือ 2-โพรพานอล (i-CMJF) เป็นตัวทำละลายในปฏิกิริยาคาร์บอกซีเมทิเลชัน แป้งไฮดรอกซีโพรพิล (HP-JF) แป้งเชื่อมขวางฟอสเฟต (CL-JF) และแป้งคาร์บอกซีเมทิลเชื่อมขวางฟอสเฟต (CL-CMJF) การประเมินสมบัติทางเคมีกายภาพที่เกี่ยวข้องพบว่า แป้งดัดแปรทุกตัวไม่ละลายหรือละลายได้เพียงบางส่วนในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ยกเว้นแป้งคาร์บอกซีเมทิลทั้ง 3 ชนิดที่ละลายน้ำได้และเกิดเป็นสารละลายหนืดโดยไม่เกิดการพองตัวที่อุณหภูมิห้อง และมีค่าความหนืดปรากฏของสารละลายร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรสูงกว่าแป้งดัดแปรชนิดอื่น เมื่อทดสอบที่ค่าอัตราเฉือน 100 s^{-1} แกรนูลของแป้งดัดแปรทุกตัวคงลักษณะที่ไม่แตกต่างจากของแป้งดิบ ยกเว้นแป้ง PG-JF n-CMJF และ i-CMJF ที่พบว่าแกรนูลมีการแตกหักหรือยุบตัว สอดคล้องกับผลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่บ่งชี้การสูญเสียรูปผลึก แป้ง PG-JF และ HP-JFมีค่าการละลายและการพองตัวที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งขนุนดิบและเป็นแบบที่ขึ้นกับอุณหภูมิ ในขณะที่แป้ง CL-JF มีการละลายลดลง อุณหภูมิการเกิดเป็นเจลของแป้ง HP-JF มีค่าลดลงในขณะที่ของแป้ง PG-JF มีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับของแป้งดิบ แป้ง CL-CMJF ซึ่งมีการดูดน้ำที่ดีมากและมีการพองตัวสูง มีสมบัติเป็นสารช่วยแตกตัวในยาเม็ดที่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับสารช่วยแตกตัวมาตรฐานโซเดียมสตาร์ชกลัยโคเลตและครอสคาร์เมลโลสโซเดียม แป้ง CMJFs แสดงการเป็นสารก่อฟิล์มและสารยึดเกาะที่ดี จากสมบัติการละลายและความหนืดของสารละลายในน้ำที่เหนือกว่าแป้งดัดแปรตัวอื่น แป้ง i-CMJF ที่เติมพลาสติไซเซอร์โพรพิลีนกลัยคอลและกลีเซอรอลให้ฟิล์มที่มีลักษณะดี มีความเปราะน้อยและยืดหยุ่นสูงกว่าแป้งดิบ แป้ง m-CMJF เป็นสารช่วยยึดเกาะที่มีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการทำแกรนูลเปียก เมื่อประเมินจากความแข็งของเม็ดยาที่ได้และรูปแบบการตอบสนองต่อแรงตอกอัดของเม็ดยา ผลิตภัณฑ์แป้งดัดแปรที่เตรียมได้ในการศึกษานี้สามารถนำไปต่อยอดการวิจัยร่วมกับภาคอุตสาหกรรม เพื่อพัฒนาเป็นสารช่วยทางเภสัชกรรมชนิดใหม่ที่ผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้ในประเทศได้ต่อไป

คำสำคัญ : ขนุน แป้งดัดแปร แป้งพรีเจลาติไนซ์ แป้งคาร์บอกซีเมทิล แป้งไฮดรอกซีโพรพิล แป้งเชื่อมขวาง แป้งคาร์บอกซีเมทิลเชื่อมขวาง สมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติทางเภสัชกรรม สารช่วยทางเภสัชกรรม

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	i
กิตติกรรมประกาศ	ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	iii
บทคัดย่อภาษาไทย	iv
สารบัญ	v
สารบัญตาราง	viii
สารบัญรูป	x
ตัวย่อ	xiii
1 – บทนำ และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	**1**
ความสำคัญของปัญหา	1
ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	2
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	3
สารช่วยทางเภสัชกรรม	3
แป้ง	7
สมบัติทางเคมีกายภาพที่สำคัญของแป้ง	13
แป้งดัดแปรและอนุพันธ์ของแป้ง	17
แป้งกับการใช้ประโยชน์เป็นสารช่วยทางเภสัชกรรม	20
ขนุน	21
ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีรายงานมาก่อนหน้าและสิ่งที่จะทำต่อ	22
วัตถุประสงค์ ขอบเขต เป้าหมายของโครงการวิจัย	26
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	27
2 – เครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุสารเคมีและวิธีการทดลอง	**28**
เครื่องมือและอุปกรณ์	28
วัสดุสารเคมี	29
วิธีการทดลอง	31
การเตรียมเมล็ดขนุน	31
การเตรียมฟลาวจากเมล็ดขนุน	31
การสกัดและแยกแป้งดิบออกจากฟลาว	31

การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในแป้งดิบ 32
การเตรียมแป้งขนุนดัดแปร
แป้งพรีเจลาติไนซ์ หรือแป้งพรีเจล 33
แป้งคาร์บอกซีเมทิล 33
แป้งไฮดรอกซีโพรพิล 34
แป้งเชื่อมขวางฟอสเฟต 35
แป้งคาร์บอกซีเมทิลเชื่อมขวาง 35
การพิสูจน์เอกลักษณ์ของแป้งเมล็ดขนุนดัดแปร
การยืนยันการแทนที่ในโครงสร้างแป้งโดยใช้ IR spectroscopy 36
การหาค่าระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิล 36
การยืนยันการแทนที่และการหาค่าโมลาร์การแทนที่ของ
หมู่ไฮดรอกซีโพรพิล 37
สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนและแป้งเมล็ดขนุนดัดแปร 34
สมบัติเชิงหน้าที่ทางเภสัชกรรม 42

3 – ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง 48
การเตรียมฟลาวจากเมล็ดขนุน 48
การสกัดและแยกแป้งดิบเมล็ดขนุนออกจากฟลาว 50
ปริมาณอะมิโลส 51
ลักษณะปรากฏของแป้งขนุนดัดแปร
แป้งพรีเจลาติไนซ์ หรือแป้งพรีเจล 51
แป้งคาร์บอกซีเมทิล 52
แป้งไฮดรอกซีโพรพิล 52
แป้งเชื่อมขวางฟอสเฟต 52
แป้งคาร์บอกซีเมทิลเชื่อมขวาง 52
การพิสูจน์เอกลักษณ์ของแป้งเมล็ดขนุนดัดแปร
การยืนยันการแทนที่ในโครงสร้างแป้งโดยใช้ IR spectroscopy 52
การหาค่าระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิล 57
การยืนยันการแทนที่และการหาค่าโมลาร์การแทนที่ของ
หมู่ไฮดรอกซีโพรพิล 58
สมบัติทางกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนดิบและแป้งเมล็ดขนุนดัดแปร
ปริมาณความชื้น 58
ลักษณะของเม็ดแป้งภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด 58
รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) ของแป้งเมล็ดขนุน 63

Thermal Properties 68
ความหนืด ความใส และความคงตัวของเพสต์แป้งขนุนดิบ
และแป้งขนุนดัดแปร 73
สมบัติเชิงหน้าที่ทางเภสัชกรรมของแป้งเมล็ดขนุนดิบและแป้งเมล็ดขนุนดัดแปร
ความหนาแน่นของผงแป้ง 75
สมบัติการไหลของผงแป้ง 76
ความพรุนของผงแป้ง 77
ความสามารถในการพองตัวของแป้งและการละลายน้ำ 78
ความสามารถในการดูดน้ำ 81
ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตอกอัดกับความแข็งของแป้ง 83
สมบัติการเป็นสารช่วยแตกตัวในยาเม็ด 85
แป้งเมล็ดขนุน vs. แป้งถั่วเขียว และแป้งข้าวโพด 85
ความสามารถในการเป็นสารช่วยแตกตัวของแป้งขนุนดิบ
และแป้งขนุนดัดแปรในตำรับยาแอสไพริน 88
สมบัติในการเกิดฟิล์ม 90
การทดสอบเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกชนิดแป้งที่เหมาะสม 90
การแพร่ผ่านของไอน้ำ (WVT) และอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (WVTR) 92
ผลของชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ต่อสมบัติของฟิล์มจาก
แป้งขนุนดัดแปร 94
สมบัติการเป็นสารช่วยยึดเกาะในเม็ดยา 103

4 – สรุปผลการวิจัย **106**

เอกสารอ้างอิง 111
ภาคผนวก 1 – การควบคุมคุณภาพยาเม็ด 116
ภาคผนวก 2 – ผลลัพธ์งานวิจัย 120
บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร
การเสนอผลงานวิจัยรูปแบบโปสเตอร์
การเสนอผลงานวิจัยรูปแบบด้วยวาจา

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ประสิทธิภาพการเป็นสารช่วยลื่น สารช่วยไหล และสารกันติด ในการผลิตยาเม็ดของสารช่วยทางเภสัชกรรมชนิดต่างๆ	5
1.2	ชนิดของสารช่วยยึดเกาะในตำรับยาเตรียม ความเข้มข้น และปริมาณที่ใช้ในตำรับ	6
1.3	สมบัติทางเคมีกายภาพที่สำคัญเปรียบเทียบระหว่างอะมิโลสและอะมิโล-เพคติน	10
1.4	ชนิดของแป้ง แหล่งที่มา และค่าปริมาณร้อยละของอะมิโลส	12
1.5	ปริมาณและชนิดของแป้งที่ใช้เป็นสารช่วยแตกตัว	21
2.1	สรุปรายการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติทางเภสัชกรรม ของแป้งดิบและแป้งดัดแปรจากเมล็ดขนุน	47
3.1	ค่าระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซีเมทิล (DS) ของแป้งดัดแปรคาร์บอก-ซีเมทิลและแป้งคาร์บอกซีเมทิลเชื่อมขวาง	57
3.2	ปริมาณความชื้นของแป้งขนุนดิบและแป้งขนุนดัดแปร	58
3.3	สมบัติทางอุณหภูมิของแป้งขนุนดิบและแป้งขนุนดัดแปร	69
3.4	ค่าความหนืดปรากฏ(Pa.s±SD, SR 100s^{-1}) ของแป้งขนุนดิบและแป้งขนุนดัดแปร ประเมินหลังจากเตรียมเสร็จใหม่และหลังจากการผ่านวงจรร้อนเย็น	73
3.5	ความใสของเพสต์ (% transmittance, %T, ที่ 650 nm) แป้งขนุนดิบและ แป้งขนุนดัดแปรประเมินหลังจากเตรียมเสร็จใหม่และหลังจากการผ่านวงจร ร้อนเย็น (HC)	75
3.6	ความหนาแน่นปรากฏและความหนาแน่นหลังเคาะของแป้งเมล็ดขนุนดิบ และแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งข้าวโพด และแป้งถั่วเขียว	76
3.7	การประเมินสมบัติการไหลของแป้งเมล็ดขนุนดิบและแป้งเมล็ดขนุนดัดแปร ด้วยวิธีการต่างๆ เปรียบเทียบกับแป้งข้าวโพดและแป้งถั่วเขียว	77
3.8	การพองตัวของแป้งดิบขนุนและแป้งขนุนดัดแปรที่ไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิ 50 ถึง 90°C. (g/g ของน้ำหนักแห้ง)	78
3.9	การละลายน้ำของแป้งดิบขนุนและแป้งขนุนดัดแปรที่ไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิ 50 ถึง 90°C. (g/g ของน้ำหนักแห้ง x 100)	81
3.10	ค่าความแข็งของเม็ดแป้งขนุนดิบและแป้งขนุนดัดแปร เปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียวและ แป้งข้าวโพด ที่ค่าแรงดอกอัดต่างๆ	84
3.11	ผลการประเมินความกร่อน ความแข็ง และระยะเวลาในการแตกตัวของ	

เม็ดยาแลคโตสหรือ DCHP ที่ใช้แป้งเมล็ดขนุน แป้งถั่วเขียว หรือ
แป้งข้าวโพด เป็นสารช่วยแตกตัว 86
3.12 ระยะเวลาการแตกตัว (DT) ของเม็ดยาแอสไพรินที่มีแป้งขนุนดิบหรือแป้งขนุน-
คาร์บอกซีเมทิลเซื่อมขวางปริมาณ 2%w/w เป็นสารช่วยแตกตัวเปรียบเทียบ
กับสารช่วยแตกตัวมาตรฐาน 89
3.13 การลอกเป็นแผ่น ความเปราะ ความใส และลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏอื่นๆ
ของฟิล์มแป้งขนุนดิบและแป้งขนุนดัดแปร 90
3.14 ค่าการแพร่ผ่านของไอน้ำ (WVT) ของฟิล์มแป้งขนุนดิบและแป้งขนุนดัดแปร
ทดสอบในวันที่ 1 ถึงวันที่ 7 92
3.15 ค่าอัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำของฟิล์มแป้งขนุนดิบและแป้งขนุนดัดแปร 93
3.16 สมบัติทางกายภาพที่ปรากฏของแผ่นฟิล์ม i-CMJF ที่มี PEG 6000 เดี่ยว
(0.3-0.7% w/v) หรือร่วมกับ GLY (0.5% v/v) เป็นพลาสติไซเซอร์
(สูตรที่ 1-10) 95
3.17 สมบัติทางกายภาพที่ปรากฏของแผ่นฟิล์ม i-CMJF ที่มี PEG 600 เดี่ยว
(0.3-0.7% w/v) หรือร่วมกับ GLY (0.5% v/v) เป็นพลาสติไซเซอร์
(สูตรที่ 11-20) 96
3.18 สมบัติทางกายภาพที่ปรากฏของแผ่นฟิล์ม i-CMJF ที่มี PEG 400 เดี่ยว
(1-5% w/v) หรือร่วมกับ GLY (0.5% v/v) เป็นพลาสติไซเซอร์ (สูตรที่ 21-30) 97
3.19 สมบัติทางกายภาพที่ปรากฏของแผ่นฟิล์ม i-CMJF ที่มี PEG 200 เดี่ยว
(1-5% w/v) หรือร่วมกับ GLY (0.5% v/v) เป็นพลาสติไซเซอร์ (สูตรที่ 31-40) 98
3.20 สมบัติทางกายภาพที่ปรากฏของแผ่นฟิล์ม i-CMJF ที่มี PG หรือ GLY เดี่ยว
(1-5% v/v) เป็นพลาสติไซเซอร์ (สูตรที่ 41-50) 99
3.21 สมบัติทางกายภาพที่ปรากฏของแผ่นฟิล์ม i-CMJF ที่มี PG เดี่ยว
(0.2-0.8% v/v) หรือ PG (0.5-1%v/v) ร่วมกับ GLY (0.2-1% v/v)
เป็นพลาสติไซเซอร์ (สูตรที่ 51-64) 100

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	โครงสร้างทางเคมีของแป้ง	9
1.2	ปฏิกิริยาการเกิดแป้งดัดแปรโซเดียมคาร์บอกซีเมทธิล	18
1.3	โครงสร้างของสารเชื่อมขวางบางชนิด	20
1.4	ขนุน (*Artocarpus heterophyllus* Lam.)	21
1.5	แผนภูมิแสดงขอบเขตของการทำวิจัย	27
2.1	โครงสร้างของพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มจากแป้งขนุนดัดแปร	46
3.1	ขั้นตอนต่างๆ ในการเตรียมฟลาวเมล็ดขนุน	49
3.2	การสกัดแป้งดิบเมล็ดขนุนออกจากฟลาว	50
3.3	กราฟมาตรฐานสำหรับการหาปริมาณอะมิโลสในแป้งขนุนดิบ	51
3.4	แป้งเมล็ดขนุนดัดแปรชนิดต่างๆ	52
3.5	IR spectrum ของแป้งเมล็ดขนุนดิบ (JFS)	53
3.6	IR spectrum ของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาติไนซ์ (PG-JF)	53
3.7	IR spectrum ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิล m-CMJF	54
3.8	IR spectrum ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิล n-CMJF	54
3.9	IR spectrum ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิล i-CMJF	55
3.10	IR spectrum ของแป้งเมล็ดขนุนไฮดรอกซีโพรพิล (HP-JF)	55
3.11	IR spectrum ของแป้งเมล็ดขนุนเชื่อมขวางฟอสเฟต	56
3.12	IR spectrum ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิลเชื่อมขวาง (CL-CMJF)	56
3.13	การหาปริมาณเถ้าที่เหลือโดยการเผา	57
3.14	SEM ของแป้งเมล็ดขนุนเปรียบเทียบกับแป้งดิบชนิดต่างๆ	59
3.15	SEM ของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาติไนซ์ (PG-JF)	60
3.16	SEM ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิล m-CMJF	60
3.17	SEM ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิล n-CMJF	61
3.18	SEM ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิล i-CMJF	61
3.19	SEM ของแป้งเมล็ดขนุนไฮดรอกซีโพรพิล (HP-JF)	62
3.20	SEM ของแป้งเมล็ดขนุนเชื่อมขวางฟอสเฟต (CL-JF)	62
3.21	SEM ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิลเชื่อมขวาง (CL-CMJF)	63
3.22	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแป้งเมล็ดขนุนดิบ (JFS)	64
3.23	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาติไนซ์ (PG-JF)	64
3.24	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิล m-CMJF	65
3.25	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิล n-CMJF	65

3.26	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิล i-CMJF	66
3.27	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแป้งเมล็ดขนุนไฮดรอกซีโพรพิล (HP-JF)	66
3.28	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแป้งเมล็ดขนุนเชื่อมขวางฟอสเฟต (CL-JF)	67
3.29	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิลเชื่อมขวาง (CL-CMJF)	67
3.30	DSC thermogram ของแป้งเมล็ดขนุนดิบ	70
3.31	DSC thermogram ของแป้งเมล็ดขนุนพรีเจลาติไนซ์	70
3.32	DSC thermogram ของแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรคาร์บอกซีเมทิล m-CMJF	71
3.33	DSC thermogram ของแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรไฮดรอกซีโพรพิล	71
3.34	DSC thermogram ของแป้งเมล็ดขนุนเชื่อมขวางฟอสเฟต	72
3.35	DSC thermogram ของแป้งเมล็ดขนุนคาร์บอกซีเมทิลเชื่อมขวาง	72
3.36	รูปแบบการไหลของแป้งขนุนคาร์บอกซีเมทิลที่เตรียมโดยใช้ตัวทำละลายแอลกอฮอล์ต่างชนิดกันในปฏิกิริยา	74
3.37	การพองตัวของแป้งเมล็ดขนุนดิบ (JFS) ที่อุณหภูมิต่างๆ	79
3.38	การพองตัวของแป้ง HP-JF ที่อุณหภูมิต่างๆ	79
3.39	การพองตัวของแป้งขนุนดิบและแป้งขนุนดัดแปรที่อุณหภูมิ 90°C	80
3.40	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบปริมาตรการดูดน้ำ และลักษณะการดูดน้ำของตัวอย่างแป้ง	81
3.41	รูปแบบและปริมาตรการดูดน้ำ (มล./500 มก.) ของแป้งขนุนดิบและแป้งขนุนดัดแปร	82
3.42	รูปแบบการดูดน้ำของ CL-CMJF เปรียบเทียบกับแป้งขนุนดิบและสารช่วยแตกตัวยิ่งยวดสองชนิด sodium starch glycolate และ crosscarmellose sodium	83
3.43	Pressure-Hardness profile ของแป้งเมล็ดขนุนดิบและแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียวและแป้งข้าวโพด	84
3.44	ผลของชนิดและปริมาณสารช่วยแตกตัวต่อระยะเวลาการแตกตัวของเม็ดยาแลคโตส	87
3.45	ผลของชนิดและปริมาณสารช่วยแตกตัวต่อระยะเวลาการแตกตัวของเม็ดยา DCHP	87
3.46	การแตกตัวของเม็ดยาที่ใช้สารช่วยแตกตัวชนิดต่างๆ ในปริมาณ 2%w/w (A) แป้งขนุนดิบ, (B) แป้งขนุนคาร์บอกซีเมทิลเชื่อมขวาง (C) SSG และ (D) CCS. ภาพถ่ายที่เวลา t= 0, 1 และ 3 นาที	88
3.47	แผ่นฟิล์มที่เตรียมจากแป้งเมล็ดขนุน (A) แป้งดิบ (B) แป้งพรีเจล (C) แป้งเชื่อมขวาง (D) แป้งคาร์บอกซีเมทิล-เมทานอล (E) แป้งคาร์บอกซีเมทิล-1-โพรพานอล และ	

	(F) แป้งคาร์บอกซีเมทิล-2-โพรพานอล	91
3.48	การประเมิน WVT และ WVTR	92
3.49	ลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายแป้งขนุนคาร์บอกซีเมทิล กับพลาสติไซเซอร์เดี่ยวชนิดต่างๆ	101
3.50	ลักษณะปรากฏของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากสารละลายแป้งขนุนคาร์บอกซีเมทิล กับพลาสติไซเซอร์ผสมระหว่าง PEG หรือ PG กับ GLY	102
3.51	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดอกอัดที่ใช้ (ตัน) กับความแข็งของเม็ดแลคโตส (นิวตัน) ที่เตรียมโดยใช้เพสต์แป้งขนุนดิบหรือแป้งขนุนดัดแปร เป็นสารช่วยยึดเกาะ	103
3.52	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดอกอัดที่ใช้ (ตัน) กับความแข็งของเม็ดแป้งข้าวโพด (นิวตัน) ที่เตรียมโดยใช้เพสต์แป้งขนุนดิบหรือแป้งขนุนดัดแปร เป็นสารช่วยยึดเกาะ	104
3.53	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดอกอัดที่ใช้ (ตัน) กับความแข็งของเม็ดยา DCHP (นิวตัน) ที่เตรียมโดยใช้เพสต์แป้งขนุนดิบหรือแป้งขนุนดัดแปร เป็นสารช่วยยึดเกาะ	104

ตัวย่อ

%v/v	ร้อยละโดยปริมาตรต่อปริมาตร
%w/v	ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร
%w/w	ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก
AC	ปริมาณอะมิโลส (amylose content)
BD	ความหนาแน่นก่อนเคาะ หรือความหนาแน่นปรากฏ (Bulk density)
CL-JF	แป้งขนุนเชื่อมขวาง
CL-CMJF	แป้งขนุนคาร์บอกซีเมทิลเชื่อมขวาง
CMJF	แป้งขนุนคาร์บอกซีเมทิล
CR	Compressibility Ratio
CS	แป้งข้าวโพด
DCHP	Dibasic calcium hydrogen phosphate
DCx	ค่าระดับการเชื่อมขวาง (degree of crosslinking)
DS	ค่าระดับการแทนที่ (degree of substitution)
HP-JF	แป้งขนุนไฮดรอกซีโพรพิล
IR	Infrared Spectroscopy
JFS	แป้งขนุนดิบ (native jackfruit starch)
LAC	แลคโตส
M	โมลาร์
MC	ปริมาณความชื้น (moisture content)
MCA	กรดคลอโรอะซิติค (monochloroacetic acid)
N	นอร์มอล
NaOH	โซเดียมไฮดรอกไซด์
PG-JF	แป้งขนุนพรีเจลาติไนซ์
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนสแกนนิง (scanning electron microscopy)
SR	อัตราเฉือน (shear rate)
STMP	โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (sodium trimetaphosphate)
TD	ความหนาแน่นหลังเคาะ (Tapped density)
USP	เภสัชตำรับของสหรัฐอเมริกา (United States Pharmacopeia)
WVT	การแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission)
WVTR	อัตราการแพร่ผ่านของไอน้ำ (water vapor transmission rate)
XRD	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction)