บทที่ 1
บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำวิจัย

ในปัจจุบันพบว่าประชากรไทยจำนวนมากมีปัญหาสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินอาหารและลำไส้ ซึ่งมีข้อมูลที่เชื่อได้ว่าสาเหตุหลักเป็นผลสืบเนื่องมาจากการวิถีการดำเนินชีวิตและการบริโภคที่เปลี่ยนแปลงไปตามวัฒนธรรมตะวันตก อุบัติการณ์ของโรคที่เกี่ยวข้องกับการย่อย การขับถ่าย รวมถึงมะเร็งลำไส้ใหญ่มีเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แนวทางการป้องกันปัญหาในเชิงรุกคือการส่งเสริมการบริโภคอาหารที่มีปริมาณใยอาหาร (dietary fiber) เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ช่วยเพิ่มใยอาหารออกมาสู่ท้องตลาดเป็นจำนวนมาก ในขณะที่การดำเนินการในเชิงรับส่วนหนึ่งคือการวิจัยพัฒนาระบบนำส่งสารออกฤทธิ์ลงสู่ส่วนลำไส้ใหญ่ ซึ่งเป็นบริเวณที่โดยปกติแล้วมีปัญหาในการเข้าถึงเพื่อรักษาความเจ็บป่วยอย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับประโยชน์ต่อสุขภาพของใยอาหารทำให้ทราบว่ากลุ่มขององค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยนี้ มีลักษณะทางเคมีและกายภาพและผลทางสรีรวิทยาต่อสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกันออกไป สารในกลุ่มของใยอาหารที่เป็นที่รู้จักดีได้แก่ เซลลูโลสและลิคนิน แต่ปัจจุบันเป็นที่ทราบและยอมรับโดยกว้างขวางว่าแป้งบางชนิดสามารถหลุดรอดออกออกจากลำไส้เล็กโดยไม่ถูกย่อย ผ่านไปยังลำไส้ใหญ่และแสดงสมบัติที่เป็นประโยชน์เช่นเดียวกับใยอาหารได้ (Sajilata, Singhal, & Kulkarni, 2006) แป้งที่ไม่ถูกย่อยนี้เรียกโดยรวมว่า แป้งต้านทานการย่อย (resistant starch; RS) ซึ่งมีการให้นิยามว่าคือ *แป้งและผลิตภัณฑ์ของการย่อยสลายแป้งที่ไม่ถูกย่อยโดยเอนไซม์จากตับอ่อน จึงไม่ถูกเมแทบอไลต์หรือดูดซึมที่ลำไส้เล็กในคนที่มีสุขภาพดี แต่จะผ่านเข้าสู่ลำไส้ใหญ่และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่* ซึ่งมีรายงานที่แสดงว่าแป้งกลุ่มนี้มีผลดีต่อการทำงานของลำไส้ใหญ่ทั้งในด้านการเป็นพรีไบโอติคส่งเสริมการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้ ช่วยระบบขับถ่าย ส่งเสริมการเจริญของแบคทีเรียที่มีประโยชน์และลดปริมาณแบคทีเรียก่อโรค และมีบทบาทสำคัญในการป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ ในขณะที่มุมมองด้านวิทยาศาสตร์เภสัชกรรมชี้ว่า โครงสร้างและสมบัติการทนต่อเอนไซม์ทำให้แป้งต้านทานการย่อยเป็นตัวเลือกที่สมเหตุผล (rational candidate) ในการทำหน้าที่เป็นสารตัวพาเพื่อนำส่งยาหรือสารออกฤทธิ์ที่มีเป้าหมายที่ลำไส้ใหญ่ (colon-targeted drug/active) ผ่านระบบทางเดินอาหารโดยการรับประทานได้ แป้งต้านทานการย่อยแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ปริมาณและประเภทของแป้งต้านทานการย่อยในแป้งที่พบในพืชแต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกัน ในประเทศไทยพบว่ามีหลายงานวิจัยด้านอาหารเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งต้านทานการย่อยจากข้าว กล้วย และเผือกเป็น

ส่วนประกอบ ในขณะที่การศึกษาแป้งต้านทานการย่อยเพื่อใช้ในทางเภสัชกรรมยังมีไม่มาก ส่วนหนึ่งเนื่องจากยังไม่มีการศึกษาวัตถุดิบและวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมเพื่อนำมาใช้ จากคุณสมบัติของแป้งต้านทานการย่อยจะเห็นว่าสามารถประยุกต์ใช้ในเชิงสุขภาพได้ทั้งในรูปแบบการพัฒนาเป็นอาหาร สารเติมแต่งอาหาร หรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (Fuentes-Zaragoza, Riquelme-Navarrere, Sanchez-Zapata, & Perez-Alvarez, 2010) และในรูปแบบการเป็นสารช่วยทางเภสัชกรรมในระบบนำส่งยา (Chen, Li, Pang, Li, Zhang, & Yu, 2007; Pu, Chen, Li, Xie, Yu, & Li, 2011).

เมื่อเชื่อมโยงศักยภาพเหล่านี้กับข้อมูลจากการศึกษาวิจัยแป้งจากเมล็ดขนุน (jackfruit seed starch, JFS) ซึ่งมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งทั้งในประเทศและต่างประเทศที่สนับสนุนว่ามีศักยภาพในการพัฒนาเป็นแหล่งของแป้งเชิงพาณิชย์ชนิดใหม่ (Bobbio, El-Dash, Bobbio & Rodrigues, 1978; Madruga, de Albuquerque, Silva, do Amaral, Magnani, & Neto, 2014; Tongdang, 2008; Tulyathan, Tananuwong, Songjinda, & Jaiboon, 2002) โดยมีข้อมูลการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ในการใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารเสริม (Mukprasirt & Sajjaanantakul, 2004; Narkhede, Bendale, Jadhav, Patel, & Vidyasagar, 2011; Rengsutthi & Charoenrein, 2010) คณะผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการศึกษาวิจัยเรื่อง แป้งจากเมล็ดขนุน: การดัดแปรสมบัติทางเคมีกายภาพ และการประยุกต์ใช้ทางเภสัชกรรม และพบว่าแป้งที่ได้จากวัสดุเหลือทิ้งทางชีวภาพชนิดนี้ มีศักยภาพในการเป็นสารช่วยทางเภสัชกรรมหลายชนิด เช่น สารยึดเกาะ สารก่อเจล และสารช่วยแตกตัว ทั้งในรูปแป้งดิบและแป้งดัดแปรชนิดต่างๆ (อรอนงค์ กิตติพงษ์พัฒนา และคณะ, 2554; Kittipongpatana & Kittipongpatana, 2011; Kittipongpatana, Janta & Kittipongpatana, 2011) ซึ่งในระหว่างการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ คณะผู้วิจัยได้สังเกตพบว่าแป้งเมล็ดขนุนและแป้งดัดแปรมีสมบัติหลายประการที่แตกต่างจากแป้งทั่วไป จุดหนึ่งที่น่าสนใจคือรูปแบบของอินฟราเรดสเปคตรัมและอัตราส่วนของพีคที่ตำแหน่งเฉพาะของความเป็นผลึก (1047 cm^{-1}) และอสัณฐาน (1022 cm^{-1}) ในโหมด ATR (attenuated total reflectance) ที่สอดคล้องกับหลายรายงานวิจัยพื้นฐานว่าเป็นเครื่องหมายบ่งชี้ถึงความสามารถในการต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์ หรือ แป้งต้านทานการย่อย การทบทวนวรรณกรรมเพิ่มเติมได้พบรายงานวิจัยของ Hettiaratchi และคณะ (2011) ว่าเมล็ดขนุนมีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยถึงร้อยละ 8 ของน้ำหนักสด หรือคิดเป็นมากกว่า 1 ใน 4 ของปริมาณแป้งที่มีในเมล็ด จึงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการนำมาพัฒนาเป็นแป้งต้านทานการย่อย ประกอบกับรายงานการเตรียมหรือเพิ่มปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในวัตถุดิบแป้งด้วยวิธีการหรือกระบวนการต่างๆ เช่น การตัดกิ่งด้วยเอนไซม์ (enzyme debranching) การดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเคมี (chemical modification) และการดัดแปรด้วยความร้อนความชื้น (hydrothermal

modification) (Chung, Liu & Hoover, 2009b; Li, Ward, & Gao, 2011; Zhang & Jin, 2011) จึงเป็นที่มาของโจทย์วิจัยในการพัฒนากระบวนการหรือวิธีการทางกายภาพหรือเคมีที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในวัตถุดิบแป้งเมล็ดขนุน ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่หาได้ในประเทศ เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเพื่อใช้ประโยชน์ในทางอาหารและเภสัชกรรม รวมทั้งใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาวิจัยด้านวิทยาศาสตร์เภสัชกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบนำส่งยาลงสู่ลำไส้ใหญ่ ซึ่งมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาต่อยอดได้ในอนาคต

ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

โครงสร้างของพอลิเมอร์และแกรนูล เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการถูกย่อยได้ของแป้ง ซึ่งหมายความว่าแป้งต่างชนิดกันจะมีความไวต่อการย่อยโดยเอนไซม์ในระดับที่แตกต่างกัน ข้อมูลสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการ สามารถใช้ในการทำนายหรือประเมินความสามารถในการต้านทานการย่อยได้ การดัดแปรแป้งดิบด้วยกระบวนการทางกายภาพ หรือทางเคมี อาจมีผลในการเพิ่มหรือลดปริมาณของแป้งต้านทานการย่อยในวัตถุดิบแป้งได้ สมมติฐานของการวิจัยนี้คือ แป้งเมล็ดขนุนสามารถใช้เป็นแหล่งของการเตรียมแป้งต้านทานการย่อย โดยกระบวนการหรือวิธีการทางกายภาพหรือเคมีที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางอาหารและเภสัชกรรมได้ ซึ่งในกรณีของแป้งจากเมล็ดขนุน นอกจากจุดเด่นในการเป็นวัตถุดิบที่ได้มาจากการสกัดแยกจากเมล็ดขนุนเหลือทิ้งซึ่งเป็นขยะชีวภาพแล้ว ข้อมูลการวิจัยเดิมโดยคณะผู้วิจัยชุดนี้ และข้อมูลที่สรุปได้เพิ่มเติมจากการทบทวนวรรณกรรมชี้บ่งไปในทิศทางเดียวกันว่า มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยเริ่มต้นในแป้งดิบอยู่ค่อนข้างสูง อีกทั้งในปัจจุบันเริ่มมีรายงานการใช้แป้งจากเมล็ดขนุนเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหาร การวิจัยต่อยอดเพื่อพัฒนากระบวนการเพื่อเพิ่มปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในแป้งเมล็ดขนุนจึงเป็นแนวทางที่จะช่วยส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากแป้งชนิดนี้ให้กว้างขึ้นในอุตสาหกรรมอาหารและอาหารเสริมเพื่อสุขภาพ ในทางตรงข้าม ยังไม่พบว่ามีการศึกษาปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรชนิดต่างๆ รวมทั้งการศึกษาการใช้ประโยชน์ของแป้งต้านทานการย่อยจากเมล็ดขนุนในทางเภสัชกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเป็นสารช่วยในระบบนำส่งยาสู่ลำไส้ใหญ่ ซึ่งเป็นแนวทางการวิจัยหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพื่อรองรับการพัฒนายารูปแบบใหม่ โครงการวิจัยนี้จึงเสนอกรอบการวิจัย ในการพัฒนากระบวนการหรือวิธีการทางกายภาพหรือเคมีที่มีประสิทธิภาพและความเหมาะสมในการเพิ่มปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในวัตถุดิบแป้งเมล็ดขนุน เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบหรือสารเติมแต่งในอุตสาหกรรมยา อาหาร อาหารเสริม ซึ่งจะให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาระบบนำส่งยาจากแป้งต้านทานการย่อยต่อไป

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

แป้งต้านทานการย่อย

แป้ง เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตหลักในอาหารของมนุษย์ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักคือ กลุ่มที่ย่อยได้ หรือ glycaemic starch และกลุ่มที่ต้านทานการย่อย หรือ resistant starch แป้งกลุ่มที่ย่อยได้คือพวกที่สามารถถูกสลายเป็นกลูโคสโดยเอนไซม์ในระบบย่อยอาหาร ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มที่ย่อยได้อย่างรวดเร็ว (rapidly digestible starch, RDS) และกลุ่มที่ย่อยอย่างช้าๆ (slowly digestible starch, SDS) ตัวอย่างของ RDS ได้แก่ มันฝรั่งบด ที่จะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกลูโคสได้ใน 20 นาที ส่วนแป้งดิบของข้าวสาลี ซึ่งจะถูกย่อยเป็นกลูโคสในเวลาระหว่าง 20-100 นาที เป็นตัวอย่างของ SDS ในขณะที่แป้งอีกกลุ่มหนึ่งคือ แป้งต้านทานการย่อย (RS) จะไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก แต่จะถูกย่อยในลำไส้ใหญ่โดยแบคทีเรีย จึงแสดงสมบัติที่คล้ายคลึงกับใยอาหารซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านการควบคุมและป้องกันโรคต่างๆ เช่น เนื้องอก หัวใจ และเบาหวาน นอกจากนี้ RS ยังแสดงสมบัติเชิงหน้าที่ที่น่าสนใจเมื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น เพิ่มความกรอบ การพอง ช่วยทำให้สี กลิ่น และความรู้สึกเมื่อรับประทานของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น (Mitra et al., 2007)

แป้งต้านทานการย่อย แบ่งตามคุณลักษณะทางกายภาพและเคมีออกได้เป็น 4 กลุ่ม ที่เป็นที่ยอมรับกันโดยกว้างขวาง คือ RS1 (physically inaccessible to digestion by entrapment in a non-digestible matrix), RS2 (ungelatinized starch), RS3 (retrograded starch), RS4 (chemically-modified starch) จากการวิจัยพบว่า RS เป็นโมเลกุลเส้นตรงของ α-1,4-D-glucan ที่ได้มาจากส่วนของอะมิโลสที่เกิดการคืนตัว (retrograded) และมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (1.2×10^5 Da) อย่างไรก็ตาม เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการเสนอกลุ่มแป้งต้านทานการย่อยกลุ่มใหม่คือ RS5 (amylose-lipid complex) ซึ่งเป็นแป้งเชิงซ้อนที่พบได้ในแกรนูลแป้งดิบและแป้งที่ผ่านกระบวนการ (processed starch) (Hasjim, Ai, & Jane, 2013)

แป้งต้านทานการย่อย ไม่สามารถถูกย่อยได้เนื่องจากเหตุผลต่อไปนี้

1. โครงสร้างโมเลกุลที่อัดแน่นจำกัดการเข้าถึงของเอนไซม์กลุ่มอะมิเลส ซึ่งอธิบายธรรมชาติการต้านทานการย่อยของแกรนูลแป้งดิบ เช่น แป้งที่อยู่ในส่วนเมล็ดหรือเหง้า ที่เอนไซม์ไม่สามารถเข้าถึงได้ทางกายภาพ (RS 1)

2. แกรนูลแป้งมีการจัดเรียงโครงสร้างในลักษณะที่ป้องกันเอนไซม์ไม่ให้ย่อยมันได้ เช่น มันฝรั่งดิบ กล้วยดิบ แป้งข้าวเจ้าอะมิโลสสูง (RS2)

3. แกรนูลแป้งถูกทำให้เปลี่ยนแปลงโดยความร้อนในสภาวะที่มีน้ำมากเกินพอหรือกระบวนการเกิดเป็นเจล ซึ่งทำให้โมเลกุลถูกเข้าถึงโดยเอนไซม์ได้ อย่างไรก็ตาม หากเจลแป้งถูกทำให้เย็นลง จะ

เกิดเป็นผลึกแป้งที่มีความต้านทานต่อการย่อย เรียกว่าแป้งคืนรูป (retrograded starch) ซึ่งพบได้ในปริมาณร้อยละ 5 ในอาหารหลายชนิด เช่น คอร์นเฟลก มันฝรั่งสุกที่ทิ้งไว้ให้เย็น เป็นต้น (RS3)

4. แกรนูลแป้งถูกดัดแปรทางเคมีด้วยปฏิกิริยาเคมี เช่น อีเทอริฟิเคชัน เอสเทอริฟิเคชัน หรือเชื่อมขวาง ทำให้หมู่ฟังก์ชันเดิม (-OH) ที่จำเป็นต่อการเข้าจับของเอนไซม์ ถูกแทนที่หรือบดบังไป แป้งจึงไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์ (RS4)

5. โครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกของสารประกอบเชิงซ้อนเกลียวของอะมิโลสปกป้องอะมิโลสส่วนใหญ่ในส่วนผลึกและส่งเสริมความสามารถในการทนต่อเอนไซม์ของสารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมัน โดยการจำกัดการพองตัวของแกรนูลในระหว่างการปรุง ทั้งนี้ ความต้านทานการย่อยโดยเอนไซม์ขึ้นกับโครงสร้างโมเลกุลของไขมันและโครงสร้างผลึกของเกลียวเดี่ยว (single helices) (RS5) (Hasjim, Ai, & Jane, 2013)

ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา แป้งต้านทานการย่อยได้รับความสนใจด้วยคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ โดยเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยที่มีมากที่สุด และอาจมีความสำคัญในระดับเดียวกับกลุ่มพอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) ในการส่งเสริมสุขภาพของลำไส้ และป้องกันการอักเสบของลำไส้ และมะเร็งลำไส้ใหญ่ มีรายงานผลทางสรีรวิทยาของแป้งต้านทานการย่อยที่มีการพิสูจน์แล้วว่าส่งผลดีต่อสุขภาพ (Fuentes-Zaragoza et al., 2010) อาทิ

การป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้

เมื่อแป้งต้านทานการย่อยถูกย่อยโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ จะมีการสร้างกรดบิวทีริคและเกลือบิวทีเรตในปริมาณมาก ซึ่งมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ชี้ว่าสารกลุ่มบิวทีเรตซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักของเซลล์อิพิทีเรียลของลำไส้ใหญ่ มีฤทธิ์ยับยั้งการเกิดเซลล์เนื้อร้ายในหลอดทดลองผ่านการยับยั้ง G1 ในวัฏจักรเซลล์จึงช่วยลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งลำไส้ แป้งต้านทานการย่อยชนิด RS5 แสดงความสามารถในการลดพัฒนาการของมะเร็งลำไส้ได้

ฤทธิ์ลดระดับน้ำตาลในเลือด

เมแทบอลิซึมของแป้งต้านทานการย่อยเกิดขึ้นหลังจากการบริโภคแล้ว 5-7 ชั่วโมง ต่างจากแป้งที่ผ่านการปรุงสุกตามปกติที่ถูกย่อยในระยะเวลาอันสั้น การย่อยในช่วงเวลา 5-7 ชั่วโมงนี้จะลดปริมาณน้ำตาลและอินซูลินในเลือด และมีศักยภาพในการเพิ่มช่วงเวลาของความอิ่ม มีรายงานการวิจัยพบว่า แป้งต้านทานการย่อยชนิด RS3 มีผลลดระดับกลูโคสและอินซูลินในซีรัมมากกว่าที่ได้รับจากคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่น (น้ำตาลเดี่ยว โอลิโกแซคคาไรด์ แป้งทั่วไป) ในขณะที่แป้งต้านทานการย่อยชนิด RS4 แสดงผลที่หลากหลายขึ้นกับชนิดหรือโครงสร้างของการดัดแปร ซึ่งมีผลต่อระบบการดูดซึมในลำไส้ ส่วนแป้งต้านทานการย่อยชนิด RS5 แสดงผลการควบคุมระดับน้ำตาลและปริมาณ

อินซูลินในเลือดหลังการรับประทาน แป้งต้านทานการย่อยจึงมีประโยชน์ในการใช้ทดแทนคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นในการผลิตอาหาร เพื่อลดค่า GI value โดยรวมของผลิตภัณฑ์ได้ (Nugent, 2005)

คุณสมบัติการเป็นพรีไบโอติก

พรีไบโอติก คือองค์ประกอบของอาหารที่ย่อยไม่ได้ ซึ่งส่งผลดีต่อสุขภาพของผู้บริโภคโดยการช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตหรือการทำงานของแบคทีเรีย (โพรไบโอติก) ในระบบทางเดินอาหาร ทำให้มีฤทธิ์ช่วยส่งเสริมสุขภาพ มีรายงานการผลการวิจัยพบว่า แป้งต้านทานการย่อยมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติกที่ส่งเสริมการเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่ม บิฟิโดแบคทีเรีย

ฤทธิ์ลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด

การทดลองในหนู พบว่าแป้งต้านทานการย่อยมีผลลดระดับไขมันหลายชนิดในเลือด เช่น total lipid, total cholesterol, LDL, HDL, VLDL, triglycerides แป้งต้านทานการย่อยจึงมีศักยภาพในการใช้ในอาหารเพื่อสุขภาพในกลุ่มผู้ที่มีภาวะโรคหัวใจและหลอดเลือด

การยับยั้งการสะสมของไขมัน

มีรายงานผลวิจัยว่า แป้งต้านทานการย่อยมีผลปรับเปลี่ยนกระบวนการออกซิเดชันของไขมันและมีศักยภาพในการเป็นสารทำให้อิ่ม รวมทั้งการเป็นองค์ประกอบในกระบวนการจัดการน้ำหนักตัว ซึ่งน่าจะเป็นผลจากการที่แป้งต้านทานการย่อยช่วยเพิ่มการเคลื่อนที่และการใช้ไขมันสะสมอันเป็นผลโดยตรงจากการลดการหลั่งอินซูลิน

ประโยชน์อื่นๆ ของแป้งต้านทานการย่อยที่มีต่อสุขภาพที่มีรายงานไว้ได้แก่ การลดการก่อตัวของก้อนนิ่ว ที่พบว่าอุบัติการณ์การเกิดนิ่วในอินเดียตอนใต้ ที่ประชากรบริโภคธัญพืชมากกว่าแป้ง มีน้อยกว่าในอินเดียตอนเหนือที่บริโภคแป้งเป็นหลัก และประชากรในอเมริกา ยุโรป และออสเตรเลียที่บริโภคอาหารที่มีแป้งสูง และมีแป้งต้านทานการย่อยต่ำกว่า 2-4 เท่า แสดงอุบัติการณ์เกิดนิ่วที่สะท้อนความสำคัญของแป้งต้านทานการย่อยในอาหารในประเด็นนี้ (Fuentes-Zaragoza et al., 2010) นอกจากนี้พบว่า แป้งต้านทานการย่อยส่งเสริมการดูดซึมของแร่ธาตุสำคัญ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม สังกะสี และทองแดง จากส่วนของ ileal ในลำไส้ของหนู ส่วนในมนุษย์พบผลดังกล่าวในกรณีของธาตุแคลเซียม งานวิจัยของ Morais และคณะ (1996) พบว่า อาหารที่มีแป้งต้านทานการย่อยร้อยละ 16.4 มีผลเพิ่มการดูดซึมของแคลเซียมและเหล็กอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่มีการย่อยอย่างสมบูรณ์

ในด้านวิทยาศาสตร์เภสัชกรรม งานวิจัยของ Chen และคณะ (2007) แสดงให้เห็นว่าแป้งต้านทานการย่อยมีศักยภาพในการใช้เป็นสารตัวพาในระบบนำส่งยาที่มีเป้าหมายที่ลำไส้ใหญ่ โดย

การศึกษาใช้แป้งข้าวโพดดัดแปรคู่ชนิดพรีเจลาติไนซ์และเชื่อมขวางด้วย $POCl_3$ ในการนำส่งโปรตีน BSA โดยการเตรียมในรูปยาเม็ดชนิดเมทริกซ์ ทดสอบการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ในสารละลายของเหลวที่เลียนแบบกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ ตามลำดับ พบว่า สมบัติการพองตัวและการต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์ของแป้งดัดแปรช่วยชะลอการย่อยของเอนไซม์และปลดปล่อยของตัวยา ทำให้สามารถนำส่งตัวสารออกฤทธิ์สู่บริเวณลำไส้ใหญ่ได้ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Pu และคณะ (2011) ที่ใช้แป้งข้าวโพดอะซิเตดที่มีสมบัติต้านทานการย่อยมาเตรียมเป็นฟิล์มเพื่อเคลือบเพลเลตที่มีตัวยาหรือสารออกฤทธิ์ชนิดต่างๆ (5-aminosalicylic acid, BSA, insulin) ที่พบว่าการปลดปล่อยสารออกฤทธิ์ในสารละลายของเหลวที่เลียนแบบกระเพาะอาหารหรือลำไส้เล็กมีเพียง 12% ในขณะที่เมื่อทดสอบในสารละลายเลียนแบบลำไส้ใหญ่ การปลดปล่อยจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 70% ในเวลา 40 ชั่วโมง

แม้ว่าแป้งดิบของพืชหลายชนิดจะมีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยเริ่มต้นในปริมาณสูง แต่ก็มีหลายกลุ่มวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการเตรียมหรือเพิ่มปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในแป้งดิบให้สูงยิ่งขึ้น กลุ่มวิจัยของ Thompson และคณะ (2000) เสนอแนวทางเพื่อใช้ในการเตรียมแป้งต้านทานการย่อย โดยเน้นในกลุ่ม RS2-RS4 พบว่าองค์ประกอบร่วมของอุณหภูมิ ความชื้น และเวลาสามารถใช้ในการเพิ่มปริมาณของ RS โดยยังคงสภาพโครงสร้างของแกรนูลไว้ได้ โดยแกรนูลอาจถูกทำให้พองตัวโดยไม่สูญเสียโครงรูป และส่วนประกอบในโมเลกุลเกิดการคืนรูปเป็น RS (RS3) หรือแกรนูลอาจถูกกระทำภายใต้สภาวะที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับของ RS โดยไม่เกิดการหลอมตัวหรือเกิดเป็นเจล (RS2) ในขณะที่การเตรียม RS3 อาจใช้การทำให้เกิด partial depolymerization ก่อนหรือหลังจากการสูญเสียโครงสร้างเดิมของแกรนูลแป้ง โดยวิธีการไฮโดรไลซิสก่อนการใช้ความร้อน ซึ่งทำให้สายพอลิเมอร์มีการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้น และเกิดการจัดเรียงใหม่ ในขณะที่การทำไฮโดรไลซิสหลังการให้ความร้อนจะทำให้มีปริมาณของ RS เพิ่มมากขึ้น Osturk และคณะ (2011) รายงานการเตรียมแป้งต้านทานการย่อยจากแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะมิโลสสูง โดยการดัดแปรด้วยกรด ตามด้วยการใช้วัฏจักรความร้อน-การเก็บรักษา (autoclaving-storing cycles) ด้านการดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเคมี Sieb และ Woo (1999) รายงานว่าปฏิกิริยาเชื่อมขวางที่ก่อให้เกิด distarch phosphodiester ทำให้ได้ปริมาณ RS สูงถึง 40-98% ในขณะที่ Liu และคณะ (2011) รายงานการเตรียมแป้งมันฝรั่งคาร์บอกซีเมทธิลที่มีค่าระดับการแทนที่ ระหว่าง 0.05-0.32 โดยใช้คลื่นไมโครเวฟมาช่วย พบว่า แป้งที่ได้มีการลดลงของความเป็นผลึก และที่ค่าระดับการแทนที่สูงขึ้น ปริมาณแป้งต้านทานการย่อยจะสูงขึ้นตามไปด้วย และมีค่าสูงกว่าในแป้งดิบประมาณ 2 เท่า ส่วนการใช้เทคนิคทางชีวภาพเพื่อเพิ่มปริมาณแป้งต้านทานการย่อยมีการศึกษาของ Zhang และ Jin (2011) ที่รายงาน

การเตรียมแป้งข้าวโพดที่มีปริมาณแป้งต้านทานการย่อยสูง โดยการไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์พูลูลาเนส ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมคือ เวลา 32 ชั่วโมง ค่า pH 5.0 อุณหภูมิ 46 องศาเซลเซียส และปริมาณเอนไซม์ 12 ASPU/g ได้ปริมาณ RS เท่ากับ 44.7% w/w

แป้งเมล็ดขนุน (Jackfruit Seed Starch, JFS)

ขนุน (*Artocarpus heterophyllus* Lamk., วงศ์ Moraceae) เป็นผลไม้ท้องถิ่นเมืองร้อนที่มีผลผลิตตลอดปีและมีการเพาะปลูกอย่างแพร่หลายในทุกพื้นที่ของประเทศไทย มีปริมาณการผลิตในแต่ละปีรวมแล้วสูงกว่า 1 ล้านตัน เป็นแหล่งวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอาหารเพื่อการแปรรูปเป็นผลผลิตชนิดต่างๆ เช่น ขนุนกระป๋อง ขนุนทอดกรอบ ขนุนอบแห้ง และแยมขนุน เป็นต้น ซึ่งในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ได้ก่อให้เกิดวัสดุเหลือทิ้งจากส่วนต่างๆ ทั้งเปลือก กาก และเมล็ดขนุนเป็นจำนวนมาก การนำวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้ไปแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์ด้านอื่น เป็นแนวความคิดที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่านอกจากจะเป็นการช่วยลดปริมาณขยะแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นใหม่ยังมีมูลค่า เป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบในประเทศอีกด้วย

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อและเมล็ดขนุนมีรายงานทบทวนไว้โดยในหลายบทความทบทวนการวิจัย (Jagtap & Bapat, 2010; Swami et al., 2012) เนื้อขนุนมีสารออกฤทธิ์ในกลุ่มลิคแนน ไอโซฟลาโวน ซาโปนิน และคาโรทีนอยด์ ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพในด้านการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (Jagtap, Panaskar & Bapat, 2010) ชะลอความชรา ช่วยระบบการย่อยอาหาร รักษาแผลในกระเพาะอาหาร ช่วยปรับสมดุลระบบหลอดเลือดหัวใจ เสริมความแข็งแรงของกระดูก ป้องกันโรคโลหิตจาง และต้านมะเร็ง และมีการส่งเสริมให้พัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารในลักษณะโภชนเภสัชภัณฑ์ (nutraceuticals) (Swami et al., 2012) ขณะที่องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดขนุนจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหลัก โดยฟลาวของเมล็ดขนุนประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน กากใย และไขมัน คิดเป็นร้อยละ 79.34, 13.50, 3.19 และ 1.27 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (Ocloo et al., 2010) ในส่วนคาร์โบไฮเดรตจะมีแป้งอยู่ประมาณร้อยละ 20-25 ซึ่งสามารถสกัดแยกมาใช้ประโยชน์ได้ ฟลาวเมล็ดขนุนมีสมบัติการดูดซับน้ำ และไขมัน ได้ร้อยละ 25 และ 17 ตามลำดับ มีกำลังการพองตัวเท่ากับ 4.77 g/g และมีค่าความจุการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟมเท่ากับ 25.34 และ 33% ตามลำดับ ฟลาวเมล็ดขนุนให้พลังงาน 382.79 Kcal/100 g มีปริมาณแร่ธาตุค่อนข้างสูง อาทิ แคลเซียม (3087 mg/kg) เหล็ก (130.74 mg/kg) โปแทสเซียม (14781 mg/kg) โซเดียม (60.66 mg/kg) ทองแดง (10.45 mg/kg) และแมงกานีส (1.12 mg/kg)

การสกัดแยกแป้งและการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งที่แยกได้เพื่อนำมาใช้ประโยชน์

มีรายงานมาตั้งแต่ช่วงปลายทศวรรษที่ 50 ต่อเนื่องเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน (Bobbio et al., 1978; Klein et al., 2013; Lai et al., 2006; Li & Zhong, 2004; Mukherjee et al., 1960; Roy & Mitra, 1970) โดยงานวิจัยที่สำคัญประกอบด้วย

Bobbio และคณะ (1978) รายงานการสกัดแยกแป้งจากเมล็ดขนุนไม่ระบุสายพันธุ์ได้ในปริมาณร้อยละ 25-40% ของของแข็งทั้งหมด เม็ดแป้งมีลักษณะแกรนูลกลมหรือรูประฆัง มีขนาดระหว่าง 7-11 ไมครอน มีปริมาณอะมิโลสเท่ากับร้อยละ 28.1 และประกอบด้วย D-glucose มากกว่าร้อยละ 99 แป้งเมล็ดขนุนก่อเจลที่มีความแข็ง (rigid) สูง อุณหภูมิการเกิดเป็นเพสต์เริ่มต้นที่ 74.5°C โดยมีจุดสูงสุดที่ 94°C แกรนูลแป้งไม่ไวต่อการ breakdown โดยแรงเฉือนทางกลหรืออุณหภูมิ

Rahman และคณะ (1999) รายงานผลการศึกษาปัจจัยของอายุของผลที่ช่วงอายุ 7-8, 10-12 และ 14-16 สัปดาห์ และสภาวะอากาศ 3 แหล่งในประเทศบังกลาเทศ ต่อความแตกต่างของปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเมล็ดขนุนชนิดนิ่ม (soft) และชนิดแน่น (firm) ว่าปริมาณของแข็งแห้งของส่วนหุ้มห่อและเมล็ดของสายพันธุ์นิ่มและแน่นเพิ่มขึ้นจาก 10.0 เป็น 32.0% และ 19.0 เป็น 52.0% ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณเถ้าลดลงจาก 5.7 เป็น 2.0% และ 4.9 เป็น 1.5% ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลอิสระของเมล็ดขนุนเพิ่มขึ้นตามอายุของเมล็ดจาก 1.5 เป็น 10.5% และ 1.4 เป็น 5.2% ของน้ำหนักแห้ง สำหรับสายพันธุ์นิ่มและแน่น ตามลำดับ โดยองค์ประกอบหลักของน้ำตาลเป็นกลูโคส ฟรุคโตส และซูโครส สำหรับปริมาณแป้งของส่วนหุ้มห่อเพิ่มขึ้นจาก 7.8 เป็น 47.0% และจาก 9.0 เป็น 50.5% สำหรับพันธุ์นิ่มและแน่น ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณแป้งของเมล็ดจะเพิ่มขึ้นเป็น 65.0% และ 59.0% ตามลำดับ เมื่อนำตัวอย่างมาส่องกล้องจุลทรรศน์พบว่าส่วนห่อหุ้มประกอบด้วยเซลล์ของเปลือกอัดแน่นด้วยเม็ดแป้ง โดยบางส่วนมีการจัดเรียงเป็นกลุ่มที่มีลักษณะเฉพาะ จากการศึกษาทั้งทางเคมีและพื้นผิว พบว่าแป้งในส่วนของทั้งส่วนห่อหุ้มและเมล็ดทั้งชนิดนิ่มและแน่นจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามอายุที่เพิ่มขึ้น

Tulyathan และคณะ (2002) ทำการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวและแป้งดิบที่สกัดจากเมล็ดขนุน พบว่าฟลาวที่ได้มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดีมากถึง 205% และการดูดซับน้ำมันได้ 93% สำหรับ Brabender amylogram ของแป้งดิบที่ความเข้มข้น 6% มีค่าอุณหภูมิการเกิดเป็นเพสต์ เท่ากับ 81°C มีความหนืดในระดับปานกลางและมีค่าคงที่ในระหว่างวงจรให้ความร้อนและเกิดการคืนตัวเล็กน้อยเมื่อทำให้เย็น แป้งดิบแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นชนิด A-type

วิชชรา บัวชุม และธีรพร กงบังเกิด (2545) รายงานการเตรียมฟิล์มอะมัยโลส (อะมิโลส) ที่รับประทานได้จากแป้งเมล็ดขนุนและแนวทางการใช้ประโยชน์ โดยการสกัดอะมิโลสด้วยสารละลาย

แมกนีเซียมซัลเฟตและแยกโดยการปั่นเหวี่ยง จากนั้นทดสอบการเตรียมเป็นฟิล์มโดยใช้พลาสติไซเซอร์ 3 ชนิดคือ กลีเซอรอล ซอร์บิทอล และพอลิเอทธิลีนกลัยคอล 4000 ที่ 3 ระดับความเข้มข้น 0.5, 1.0 และ 1.5% พบว่า ฟิล์มที่เตรียมได้จากอะมิโลสมีความขุ่น ไม่โปร่งแสง อันเป็นผลมาจากค่าการละลายต่ำจึงเกิดการกระจายตัวบนแผ่นฟิล์ม แต่มีค่าการต้านทานไขมันดี (มากกว่า 120 วัน) และค่าวอเตอร์แอคติวิตีต่ำ สามารถนำไปใช้กับอาหารได้อย่างปลอดภัย การเติมพลาสติไซเซอร์ช่วยปรับปรุงสมบัติของฟิล์มให้ดีขึ้น โดยเฉพาะความสามารถในการยืดตัว โดยฟิล์มที่ใช้ซอร์บิทอล 1.5% เป็นพลาสติไซเซอร์มีความชื้นต่ำและให้ค่าการซึมผ่านไอน้ำต่ำที่สุด

Mukprasirt และ Sajjaanantakul (2004) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวและแป้งดิบที่ได้จากเมล็ดขนุน โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบกับแป้งดัดแปร 2 ชนิดคือ Novation-2300 และ Purity-4 พบว่า สีของแป้งที่ได้จากเมล็ดขนุนจะมีสีที่อ่อนกว่า Novation-2300 แต่จะมีสีเข้มกว่า Purity-4 แป้งเมล็ดขนุนจะมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลที่แคบกว่าของ Purity-4 และต้องการพลังงานในการเกิดเป็นเจลที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งดัดแปร ความหนืดสูงสุดของแป้งเมล็ดขนุนจะต่ำกว่าของแป้งดัดแปร ในทำนองเดียวกันค่าความหนืดในการคืนตัว ค่าการพองตัว และค่าการละลายของแป้งเมล็ดขนุนมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน ผู้วิจัยกลุ่มนี้ได้เสนอว่าแป้งเมล็ดขนุนสามารถเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำไปใช้แทนแป้งดัดแปรในระบบที่ต้องการแป้งที่มีความคงสภาพต่อแรงเฉือนและอุณหภูมิสูง

Li & Zhong (2004) ศึกษารูปร่าง รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ปริมาณของสายแป้งและกิ่งก้าน การละลาย และความสามารถในการพองตัวของแกรนูลแป้งเมล็ดขนุน พบว่า แกรนูลมีลักษณะวงกลมหรือครึ่งวงกลม ที่มี polarization cross ขนาดแกรนูลอยู่ระหว่าง 2-5 ไมครอน โดยมีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 15 ไมครอน XRD แสดงรูปแบบ C pattern อุณหภูมิการเกิดเจลเริ่มต้นที่ 68.2°C และสิ้นสุดที่ 78.3°C โดยสังเกตจากการหายไปของ polarization cross ปริมาณของสายแป้งและกิ่งก้านมีค่าเท่ากับ 24.2% และ 75.8% ตามลำดับ ความสามารถในการพองตัวและการละลายของแป้งเมล็ดขนุนแตกต่างจากของแป้งข้าวโพดหลังจาก 76°C โดยค่าทั้งสองของแป้งขนุนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าสูงกว่าของแป้งข้าวโพดอย่างมาก

Odoemelam (2005) ทำการศึกษาสมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties) ของฟลาวที่ได้จากเมล็ดขนุนดิบและที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน โดยเปรียบเทียบสมบัติการดูดซับน้ำและน้ำมัน การเกิดเจล ความหนาแน่นปรากฏของผง การเกิดฟอง การเกิดเป็นอิมัลชัน และค่าการละลายในไนโตรเจน รวมทั้งศึกษาผลของค่าพีเอชและความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ต่อสมบัติเหล่านี้ พบว่าการเกิดเป็นอิมัลชัน การเกิดฟองและค่าการละลายในไนโตรเจนเป็นสมบัติที่ขึ้นอยู่กับ

พีเอช โดยมีค่าต่ำสุดที่พีเอช 4.0 ในขณะที่การเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์จนถึง 0.4 M จะเพิ่มความสามารถในการเกิดอิมัลชันของทั้งฟลาวดิบและที่ดัดแปรด้วยความร้อน ส่วนสมบัติความสามารถในการเกิดฟองจะลดลงเมื่อความเข้มข้นมากกว่า 0.2 M ฟองที่เกิดในฟลาวดิบจะมีความคงตัวมากกว่าฟองที่เกิดในฟลาวที่ดัดแปรด้วยความร้อน และการดัดแปรด้วยความร้อนจะทำให้เพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำและน้ำมันได้ แต่ทั้งนี้จะทำให้ค่าการละลายในไนโตรเจน การเกิดฟองและการเกิดอิมัลชันลดลง ความเข้มข้นของฟลาวดิบเมล็ดขนุนจะเกิดเป็นเจลได้เมื่อใช้ในความเข้มข้นตั้งแต่ 16% ขึ้นไป ส่วนฟลาวที่ผ่านความร้อนจะเกิดเป็นเจลเมื่อความเข้มข้นตั้งแต่ 18% ขึ้นไป ในขณะที่ค่าความหนาแน่นปรากฏของฟลาวดิบ และของฟลาวที่ดัดแปรด้วยความร้อนมีค่าเท่ากับ 0.61 และ 0.54 g/ml ตามลำดับ

Lai และคณะ (2006) รายงานว่าเมล็ดขนุนประกอบด้วยแป้งร้อยละ 62.63 ซึ่งในจำนวนนี้ร้อยละ 42.30 สามารถแยกออกมาได้โดยวิธีการปกติในห้องปฏิบัติการ ความใส ความคงตัวต่อสภาวะแช่แข็ง-ละลาย ระดับการพองตัว และการละลายที่อุณหภูมิต่ำของแป้งเมล็ดขนุนจะต่ำกว่าของแป้งมันฝรั่ง เพสต์ของแป้งเกิดการคืนตัวได้ง่าย ความหนืดของเพสต์แป้งมีค่าสูงมากเมื่อความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 6.0 ที่อุณหภูมิสูงกว่า 90°C ในขณะที่ค่าจะลดลงและมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70°C

วัชรี คุณกิดติ และคณะ (2549) ทำการศึกษาแป้งเมล็ดขนุนดิบและแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรที่ดัดแปรด้วยวิธีการพ่นแห้งและการทำไฮโดรไลซิสด้วยกรดเกลือเจือจาง โดยตรวจสอบสมบัติทางเคมีกายภาพเพื่อดูความบริสุทธิ์ และสมบัติอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการนำไปใช้เป็นองค์ประกอบในโลชันทาผิวและสารช่วยในยาเม็ด เมื่อทำการพัฒนาตำรับโลชันกันแดดที่มีแป้งขนุนเป็นส่วนประกอบร่วมกับสารเพิ่มความหนืดอื่นๆ ได้แก่ โซเดียมคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส (SCMC) และคาร์โบพอล 940 พบว่าตำรับอิมัลชันที่มีแป้งขนุนเป็นองค์ประกอบในตำรับมีความคงตัวดีแต่ความหนืดค่อนข้างต่ำ และตำรับที่มีแป้งขนุนผสมกับคาร์โบพอล 940 มีความคงตัวทางกายภาพมากที่สุด ดังนั้นตำรับโลชันกันแดดที่มีแป้งขนุนผสมกับคาร์โบพอล 940 จึงเป็นตำรับที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากมีความคงตัวดีและมีความหนืดพอเหมาะ ขณะที่การศึกษานำแป้งเมล็ดขนุนดิบมาประยุกต์ใช้เป็นสารช่วยในตำรับยาเม็ด พบว่าแป้งเมล็ดขนุนดิบสามารถนำมาใช้เป็นสารช่วยในตำรับยาเม็ดได้โดยวิธีการเตรียมแกรนูลเปียก แต่ต้องมีการใช้สารยึดเกาะที่เหมาะสมในตำรับ อย่างไรก็ตาม การออกแบบและวิธีการทดลองในการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเป็นการทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น และยังไม่มีรายงานผลการศึกษาแป้งเมล็ดขนุนที่ทำการดัดแปรด้วยวิธีการพ่นแห้งและการไฮโดรไลซิสด้วยกรดในการประยุกต์ใช้เป็นสารช่วยในยาเม็ด

Tongdang (2008) ทำการศึกษาแป้งที่สกัดได้จากเมล็ดพืช 3 ชนิดคือ จำปาดัก (*Artocarpus*

integer) ขนุน (*Artocarpus heterophyllus*) และทุเรียน (*Durio zibethinus*) โดยเปรียบเทียบกับแป้งถั่วเขียว ในด้านองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณอะมิโลส ปริมาณของแป้งทนต่อการย่อย (resistant starch) ลักษณะของเม็ดแป้งและการกระจายตัวของขนาดเม็ดแป้ง รูปแบบผลึก ความสามารถในการพองตัว และค่าการละลาย สมบัติของแป้งเปียกและสมบัติทางอุณหภูมิ พบว่าผงแป้งที่สกัดได้ทั้ง 3 ชนิดมีความบริสุทธิ์สูง มีปริมาณอะมิโลสต่ำกว่าและมีขนาดเม็ดแป้งที่เล็กกว่าแป้งถั่วเขียวมาก ดังนั้นแป้งเปียกจึงมีค่าความหนืดต่ำกว่า แป้งที่ได้จากเมล็ดจำปาดักและขนุนมีความสามารถในการพองตัว ค่าการละลาย อุณหภูมิการเกิดเจลและค่าเอนทาลปีใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่แป้งที่สกัดได้จากเมล็ดทุเรียนมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับแป้งถั่วเขียว

Chen และคณะ (2009) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเมล็ดขนุน พบว่าแป้งจากเมล็ดขนุนมีความสามารถในการย่อย (digestibility) ต่ำกว่าแป้งข้าวโพดและมีความสามารถในการต่อต้านเอนไซม์สูง เดกซ์ตรินของแป้งเมล็ดขนุนมีลักษณะเป็นของเหลวที่มีการไหลแบบซูโดพลาสติค ความด้านทานแรงเฉือนมีค่าสูงกว่าของแป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง ในขณะที่การเกิดการคืนรูปของแป้งเมล็ดขนุนจะน้อยกว่าแป้งข้าวโพดแต่มากกว่าแป้งมันสำปะหลัง

Santos และคณะ (2009) ทดลองหาค่าอุณหภูมิการเกิดเป็นเจลของแป้งเมล็ดขนุนและเปรียบเทียบผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง (4 ระดับค่า – 3.4, 4.4, 5.4, 7.0) ต่อความหนืดและความหนาแน่นของเพสต์แป้งต่างชนิด (เมล็ดขนุน ข้าวโพด มันสำปะหลัง) พบว่าอุณหภูมิการเกิดเป็นเจลของแป้งเมล็ดขนุนอยู่ระหว่าง 75-80°C ซึ่งเหนือกว่าช่วงอุณหภูมิการเกิดเป็นเจลของแป้งอีกสองชนิด ในขณะที่ความหนาแน่นของเพสต์แป้งทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามค่าความเป็นกรด-ด่าง ผลของชนิดของแป้งไม่มีนัยสำคัญ ความหนืดของเพสต์แป้งข้าวโพดและมันสำปะหลังมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าความเป็นกรด-ด่างตามแบบจำลองควอดราติค ส่วนความหนืดของเพสต์แป้งเมล็ดขนุนไม่เปลี่ยนแปลงตามค่าความเป็นกรด-ด่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นถึงความทนต่อสภาวะกรด

Hettiaratchi และคณะ (2011) ทำการประเมินคุณค่าทางโภชนาการและองค์ประกอบของเนื้อและเมล็ดขนุน พบว่าในเมล็ดขนุนมีปริมาณโปรตีน 4.7% ใยอาหาร 11.1%และแป้งต้านทานการย่อย 8% ซึ่งคิดเป็นมากกว่า 30% ของปริมาณแป้งที่มีอยู่ในเมล็ด

รายงานผลการศึกษาก่อนหน้านี้ของคณะผู้วิจัย พบว่าแป้งเมล็ดขนุนและแป้งเมล็ดขนุนดัดแปรมีศักยภาพในการใช้เป็นสารช่วยทางเภสัชกรรม เช่น สารยึดเกาะ สารก่อเจล และสารช่วยแตกตัว (Kittipongpatana & Kittipongpatana, 2011; Kittipongpatana et al., 2011) แป้งเมล็ดขนุนมีอุณหภูมิการเกิดเป็นเจลสูงกว่าแป้งชนิดอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ จุดที่น่าสนใจคือรูปแบบของอินฟราเรดสเปคตรัมและอัตราส่วนของพีคที่ตำแหน่ง wave number เฉพาะของความเป็นผลึก

(1047 cm^{-1}) และอสัณฐาน (1022 cm^{-1}) ในโหมด ATR (attenuated total reflectance) ที่มีค่าสูงในแป้งดิบ (0.80) และแป้งดัดแปรที่เตรียมโดยปฏิกิริยาคาร์บอกซีเมทิเลชัน (0.84) ไฮดรอกซีโพรพิเลชัน (0.85) และครอสลิงกิง (0.82) ซึ่งสอดคล้องกับหลายรายงานวิจัยพื้นฐานว่าเป็นเครื่องหมายบ่งชี้ถึงการจัดเรียงโครงสร้างที่มีความเป็นระเบียบมากขึ้นและสัมพันธ์กับความสามารถในการต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์ ซึ่งเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

Madrigal-Aldana และคณะ (2011) รายงานการสกัดแยกแป้งเมล็ดขนุนจากขนุนเม็กซิโกอายุและระดับความอ่อน-แก่ของผล 2 ระดับ คือ PM (physiological mature) และ CR (comsumption ripeness) พบว่าเมล็ดมีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 8–15 ของน้ำหนักผล การวิเคราะห์องค์ประกอบพบปริมาณโปรตีนสูงประมาณร้อยละ 22 ขณะที่ปริมาณแป้งคิดเป็นร้อยละ 14 ที่ความบริสุทธิ์ร้อยละ 81 ในทั้งสองกลุ่มตัวอย่าง โดยมีปริมาณอะมิโลสต่ำ (12.27%) กว่าแป้งชนิดอื่นๆ แกรนูลแป้งชนิด PM และ CR แสดง birefringence โดยมีรูปร่างแตกต่างหลากหลาย เช่น กึ่งวงรี หรือระฆัง ขนาดแกรนูลแป้ง PM มีค่าระหว่าง 3 และ 9.5 มม. และแป้ง CR มีค่าระหว่าง 3 และ 12 มม. มีรูปแบบ XRD เป็นชนิด A-type เหมือนกับแป้งธัญพืช แป้ง PM มีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูงกว่าแป้ง CR แต่แป้ง CR ไม่เกิดการ breakdown สมบัติเชิงอุณหภูมิของการเกิดเป็นเจลและรีโทรเกรดมีลักษณะไม่แตกต่างกัน

Narkhede และคณะ (2011) รายงานการสกัดแยกแป้งจากเมล็ดขนุนด้วยวิธีการหมัก (maceration) ในน้ำ ปั่นผสมลดขนาด กรองแยกกาก และเก็บส่วนแป้งที่ตกตะกอนมาทำการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพต่างๆ ได้แก่ การละลาย ปริมาณความชื้นที่สูญเสียเมื่อทำให้แห้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง และสมบัติทางแกรนูล ได้แก่ มุมการไหล ปริมาณความชื้น ความหนาแน่นก่อนเคาะและหลังเคาะ Hausner's ratio, Carr's index และสมบัติการตอกอัดเป็นเม็ด ได้แก่ ความสม่ำเสมอของน้ำหนัก (weight uniformity) ความกร่อน (friability) ระยะเวลาการแตกตัว (disintegration times) และอัตราการละลาย (dissolution rates) โดยใช้วิธีการมาตรฐาน ทำการเตรียมแกรนูลพาราเซตามอลด้วยวิธีการทำแกรนูลเปียกโดยใช้แป้งที่ความเข้มข้น 4, 6 และ 8%w/w จากนั้นนำไปตอกอัดเป็นเม็ดที่แรงตอกอัด 6 ตัน พบว่า ความเข้มข้นของสารยึดเกาะที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความกร่อนลดลงและเพิ่มระยะเวลาในการแตกตัวของเม็ดยา และแสดงให้เห็นว่าแป้งจากเมล็ดขนุนมีคุณสมบัติสามารถนำไปใช้เป็นสารช่วยยึดเกาะในยาเม็ดได้

Madruga และคณะ (2013) รายงานการสกัดแป้งจากเมล็ดขนุนชนิดนิ่ม (soft) และชนิดแข็ง (hard) พบว่ามีปริมาณแป้งในเมล็ดใกล้เคียงกันที่ 92.8 และ 94.5% ตามลำดับ แกรนูลแป้งเมล็ดขนุนมีลักษณะกลมเป็นทรงระฆัง มีรอยตัดบางส่วน และมีรูปผลึกเป็นแบบ A-type คล้ายคลึงกับ

แป้งจากธัญพืชทั่วไป ค่ากำลังการพองตัวและการละลายน้ำมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เกิดเป็นเพสต์ทึบแสง แป้งจากเมล็ดชนิดนิ่มแสดงค่าอุณหภูมิการเกิดเป็นเจลเริ่มต้นและสุดท้ายที่ 36 และ 56°C ตามลำดับ ในขณะที่แป้งจากเมล็ดชนิดแข็งมีค่าอุณหภูมิการเกิดเป็นเจลเริ่มต้นและสุดท้ายที่ 40 และ 61°C ตามลำดับ

การดัดแปรด้วยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น (Hydrothermal modification)

การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งโดยไม่ทำลายโครงสร้างแกรนูล ทำได้ 2 วิธี คือ แอนนีลลิง (annealing, ANN) และการใช้ความร้อนชื้น (heat-moisture treatment, HMT) ซึ่งทั้งสองวิธี เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนและความชื้นแก่ตัวอย่างแป้งในช่วงระยะเวลาหนึ่ง โดยทั่วไปแล้วแอนนีลลิงจะเป็นการให้ความชื้นในปริมาณ "เกินพอ" (excess) หรือมากกว่าร้อยละ 60 หรือในปริมาณปานกลาง (40-55%) ที่อุณหภูมิต่ำ ในขณะที่การใช้ความร้อนชื้น เป็นการดัดแปรทางกายภาพที่กระทำต่อแกรนูลแป้ง โดยใช้ความชื้นต่ำ (< 35%) เป็นระยะเวลา 15 นาที-16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิสูงกว่า glass temperature แต่ต่ำกว่าอุณหภูมิของการเกิดเป็นเจลของแกรนูลที่ค่าความชื้นนั้นๆ (84-120°C) (Gunaratne & Hoover, 2002; Li et al., 2011) เพื่อปรับเปลี่ยนสมบัติทางเคมีกายภาพ การย่อย และสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้ง โดยมีผลน้อยมากต่อโครงสร้างของแกรนูล (Jacobs & Delcour, 1998) การดัดแปรด้วยความร้อนชื้นก่อให้เกิดการเพิ่มความคงตัวของโครงสร้างจากการเกิดการเรียงตัวใหม่ของสายพอลิเมอร์แป้งให้เป็นกลุ่มที่มีระเบียบบางส่วน (partial-order domain) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติต่างๆ ของแกรนูล เช่น การพองตัว อุณหภูมิการเกิดเป็นเจล และรวมถึงปริมาณแป้งต้านทานการย่อยในหลายกรณี อย่างไรก็ตาม รายงานวิจัยแสดงว่าผลของแอนนีลลิงและการให้ความร้อนชื้นต่อแป้งอาจมีความแปรปรวนชนิดและแหล่งกำเนิดของแป้งและสภาวะการทดลองที่ใช้ ได้แก่ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และระยะเวลา โดยทั่วไปแล้วแป้งจากหัวและรากจะมีรูปแบบผลึกใน XRD เป็นชนิด B ขณะที่แป้งจากถั่วธัญพืชจะมีรูปผลึก XRD เป็นชนิด A เมื่อได้รับความร้อนความชื้นจากกระบวนการแอนนีลลิงหรือ HMT เกลียวคู่ของแป้งชนิด B ซึ่งการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ที่แน่นหนาน้อยกว่ารูปผลึก A จะมีการเคลื่อนที่มากกว่าและมีโอกาสเกิดการแตกออกได้มากกว่า จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติภายหลังจากการดัดแปรด้วยความร้อนความชื้นได้มากกว่า (Klein et al., 2013; Shih et al., 2007)

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติการย่อยในหลอดทดลอง (*in vitro* digestibility) และปริมาณแป้งต้านทานการย่อย (resistant starch, RS) ของแป้งเมล็ดขนุน
2. ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเตรียมแป้งเมล็ดขนุนต้านทานการย่อย
3. พัฒนากระบวนการหรือวิธีการทางกายภาพและ/หรือทางเคมีในการเตรียมหรือเพิ่มปริมาณแป้งเมล็ดขนุนต้านทานการย่อย
4. ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเมล็ดขนุนต้านทานการย่อยที่ได้เปรียบเทียบกับแป้งดิบ
5. ศึกษาการใช้แป้งเมล็ดขนุนต้านทานการย่อยเป็นสารช่วยทางเภสัชกรรม
6. เตรียมผลิตภัณฑ์เสริมอาหารจากแป้งเมล็ดขนุนต้านทานการย่อยในรูปแบบยาเม็ด
7. ใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางชีวภาพ เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตผลทางการเกษตรของประเทศ และช่วยลดการนำเข้าสารช่วยทางเภสัชกรรมจากต่างประเทศ
8. ร่วมพัฒนาเทคโนโลยีเภสัชกรรมภายในประเทศด้านระบบการนำส่งยา