



รายงานผลวิจัยเรื่องเต็ม

แป้งย่อยยากในพืชและผลิตภัณฑ์เกษตร
Resistant Starch in Crops and Agricultural Products

โครงการ การใช้ resistant starch ในการผลิตอาหารสุขภาพ
Using Resistant Starch to Produce Health Foods

สนับสนุนโดยเงินรายได้จากการดำเนินงานวิจัยด้านการเกษตร
กรมวิชาการเกษตร
ตุลาคม 2557

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
คำนำ	2
วิธีดำเนินการ	4
การทดลองที่ 1 ความเป็นแป้งย่อยยากในพืชบางชนิด	4
การทดลองที่ 2 ปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์การเกษตร	5
การทดลองที่ 3 การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ	6
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	6
การทดลองที่ 1 ความเป็นแป้งย่อยยากในพืชบางชนิด	6
การทดลองที่ 2 ปริมาณน้ำตาลในผลิตภัณฑ์การเกษตร	8
การทดลองที่ 3 การแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ	9
สรุปผลการทดลองและคำแนะนำ	9
การนำไปใช้ประโยชน์	10
เอกสารอ้างอิง	10

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำตาลจากแป้ง บัว เต๋อย กล้วย และมันเทศ ชนิดต่างๆ ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอมิเลส	12
ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำตาลจากแป้งเผือกพันธุ์/สายพันธุ์ต่างๆ เมื่อได้จากการย่อย ด้วยเอนไซม์แอลฟาอมิเลส	13
ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากแป้งกล้วยพันธุ์/สายพันธุ์ต่างๆ เมื่อได้จาก การย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอมิเลส	14
ตารางที่ 4 ปริมาณน้ำตาลจากแป้งถั่วถั่วเหลืองและถั่วเขียว/สายพันธุ์ต่างๆ ที่ได้จากการย่อยด้วยแอลฟาอมิเลส	15
ตารางที่ 5 ปริมาณน้ำตาลจากแป้งพลาร์ถั่วเขียวพันธุ์/สายพันธุ์ต่างๆ ที่ได้จากการย่อยด้วย เอนไซม์แอลฟาอมิเลส	16
ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำตาลจากแป้งพืชชนิดต่างๆ ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ แอลฟาอมิเลส	17
ตารางที่ 7 ปริมาณน้ำตาลจากแป้งข้าวโพด กล้วย บัว พันธุ์/สายพันธุ์ต่างๆ ที่ย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอมิเลส	18
ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำตาลจากแป้งพืชชนิดต่างๆ ที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์ แอลฟาอมิเลส	19
ตารางที่ 9 ปริมาณน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เมื่อได้จากการย่อยด้วย เอนไซม์แอลฟาอมิเลส	20
ตารางที่ 10 ปริมาณน้ำตาลจากการย่อยผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ได้จากการย่อยด้วย เอนไซม์แอลฟาอมิเลส	21
ตารางที่ 11 ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอมิเลส ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีส่วนประกอบของแป้งย่อยยาก	22
ตารางที่ 12 ปริมาณน้ำตาลที่ได้จากการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอมิเลส ในแป้งพืช และผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่มีส่วนประกอบของแป้งย่อยยาก	23

แป้งย่อยยากในพืชและผลิตภัณฑ์การเกษตร

Resistant starch in Crop Plants and Agricultural Products

จากรุวรรณ บางแว

สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร

บทคัดย่อ

การทดลองนี้ได้รับทุนจาก โครงการวิจัยด้านการเกษตร กรมวิชาการเกษตร โดยมีวัตถุประสงค์ ในการศึกษา ลักษณะความเป็นแป้งย่อยยากของแป้งพืชชนิดต่างๆ ที่เป็นพืชแนะนำ และผลของพันธุ์พืชต่อ ลักษณะการเป็นแป้งย่อยยาก โดยดูจากการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสให้เป็นน้ำตาลกลูโคส ทำการทดสอบ พันธุ์/สายพันธุ์ของแป้งพืช จากโครงการปรับปรุงพันธุ์ ว่ามีคุณสมบัติการเป็นแป้งย่อยยาก (resistant starch) ต่างกันหรือไม่ ทำการศึกษา ที่สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร กรมวิชาการเกษตร ระหว่าง พย.55-กพ. 57 การทดลองที่ 1 นำแป้งของพันธุ์/สายพันธุ์ต่างๆของถั่วเหลือง ถั่วเขียว บัว มันเทศ เผือก ข้าวโพด มาย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะมิเลส นาน 24 ชั่วโมง นำไปเหวี่ยงด้วยเครื่อง centrifuge ด้วยความเร็ว 15000 รอบต่อนาที จนแป้งตกตะกอน รินน้ำใสไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส และ ซูโครส เปรียบเทียบกับแป้งข้าว 3 ชนิด คือ ข้าวดอกมะลิ 105 ข้าวเหนียว กข.6 ข้าวชัยนาท 1 พบว่า ถั่วเหลือง ถั่วเขียว บัว ข้าวโพด จะให้ปริมาณกลูโคสต่ำกว่าแป้งข้าวทั้ง 3 ชนิด แสดงว่าแป้งพืชเหล่านี้มีลักษณะความเป็นแป้งย่อยยาก ส่วนมันเทศ เผือก จะให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสไม่ต่ำกว่าข้าวทั้ง 3 ชนิดและปริมาณกลูโคสต่างกันในพันธุ์และสายพันธุ์ต่างๆ อาจเป็นเพราะองค์ประกอบทางเคมีของแป้งพืชในและพันธุ์ต่างกัน การทดลองที่ 2 นำผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆที่ทำจากแป้งพืชที่เป็นแป้งย่อยยาก และไม่เป็นแป้งย่อยยากมาย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสตามวิธีการทดลองที่ 1 พบว่า ปริมาณน้ำตาลกลูโคสของผลิตภัณฑ์จากแป้งพืชทั้งที่เป็นแป้งย่อยยากและไม่เป็นแป้งย่อยยาก จะต่ำกว่าข้าวทั้ง 3 ชนิด โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์จากข้าว เช่น เส้นหมี่ ขนมหุ้น ก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น อาจเป็นเพราะกระบวนการผลิตทำให้โมเลกุลแป้งเปลี่ยนแปลงไป การย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสจึงยากขึ้น การทดลองที่ 3 นำแป้งพืชที่มีความเป็นแป้งย่อยยากระดับต่างๆ เช่น ข้าวโพด บัว ถั่วเหลือง ถั่วเขียว ข้าว เป็นต้น มาแปรรูปด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การทำให้สุกด้วยดรัมดราย ได้ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าหรือ เฟลค พบว่า ผลิตภัณฑ์ประเภทเฟลค ทำให้คุณภาพแป้งเปลี่ยนไป โครงสร้างแป้งเปลี่ยนไป มีผลให้ความทนทานต่อการย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสมากขึ้น หรือมีลักษณะความเป็นแป้งย่อยยากมากขึ้น เช่น ข้าวที่ย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะมิเลสได้ปริมาณกลูโคสสูง แต่เมื่อแปรรูปเป็นโจ๊กสำเร็จรูป เส้นหมี่ ก๋วยเตี๋ยว จะทำให้ย่อยยากขึ้น การแปรรูปด้วยวิธีการต่างๆ ไม่ซับซ้อนไม่ทำให้โครงสร้างแป้งเปลี่ยนแปลง ก็จะทำให้การเป็นแป้งย่อยยากไม่ต่างมากนัก ดังนั้น แป้งพืชที่มีความเป็นแป้งย่อยยากไม่จำเป็นต้องแปรรูปด้วยขั้นตอนที่ยากเพื่อนำมาบริโภค แต่แป้งที่มีความเป็นแป้งย่อยยากต่ำ สามารถนำมาแปรรูปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการเป็นแป้งย่อยยากได้

คำหลัก: การย่อยอาหาร แป้งพืช แป้งย่อยยาก ผลิตภัณฑ์เกษตร เอนไซม์แอลฟาอะมิเลส น้ำตาลกลูโคส

Key words: agricultural products, digestion, glucose, resistant starch, yield

คำนำ

แป้งย่อยยาก (resistant starch) ถูกค้นพบ โดย Englyst และคณะทำงาน ในปี 1982 ที่กำลังพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณของเส้นใยอาหาร (dietary fiber) โดยพบว่ามีส่วนแป้งที่หลงเหลืออยู่หลังจากผ่านกระบวนการย่อยด้วยเอนไซม์ อีกทั้งยังพบว่า นอกจากจะทนทานต่อการย่อยของร่างกายแล้วยังสามารถทำให้เกิดกระบวนการหมักในลำไส้ใหญ่ได้ (Nugent, 2005; Champ and Faisant, 1996)

ต่อมา EURESTA (European Resistant Starch Research Group) ให้คำจำกัดความของแป้งย่อยยาก ว่าเป็นปริมาณของสตาร์ช รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถทนทานต่อสภาวะการย่อยในลำไส้เล็กของคน และเมื่อสตาร์ชชนิดนี้ถูกส่งต่อมายังลำไส้ใหญ่ จะเป็นสารตั้งต้นให้แก่จุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่ได้ และทำให้เกิดกระบวนการหมักขึ้นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการหมักนั้น คือ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid; SCFA) (Nugent, 2005)

Bery (1986) แบ่งชนิดของแป้งสตาร์ชโดยใช้พฤติกรรมของแป้งสตาร์ชหลังจากที่ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ โดยไม่มีการใช้สารเคมีชนิดอื่นร่วมด้วย โดยสามารถแบ่งแป้งสตาร์ชออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

1. แป้งย่อยได้อย่างรวดเร็ว (rapidly digestible starch; RDS) สตาร์ชชนิดนี้มีองค์ประกอบหลักที่มีลักษณะเป็นแบบอสัณฐาน และมีการกระจายตัวของสตาร์ชพบในอาหารที่มีองค์ประกอบเป็นสตาร์ชที่มีการหุงสุกด้วยกระบวนการที่มีการให้ความร้อนและความชื้น เช่น ขนมปัง เมื่อให้สตาร์ชชนิดนี้ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ สตาร์ชจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของโมเลกุลน้ำตาลกลูโคสในเวลา 20 นาที

2. แป้งย่อยอย่างช้า ๆ (slow digestible starch; SDS) สตาร์ชชนิดนี้ มีองค์ประกอบหลักที่มีลักษณะเป็นอสัณฐานเช่นเดียวกัน และยังมีลักษณะของส่วนผลึกเป็นชนิด A และ C ซึ่งสามารถเกิดการรีโทรเกรดได้ในอาหารที่ผ่านการให้ความร้อนมาแล้ว สตาร์ชชนิดนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลกลูโคส หลังจากที่มีการทำปฏิกิริยากับเอนไซม์แล้ว 100 นาที

3. แป้งย่อยยาก (Resistant starch; RS) สตาร์ชชนิดนี้เป็นชิ้นส่วนของสตาร์ชขนาดเล็กที่มีความสามารถทนต่อสภาวะการย่อยโดยเอนไซม์ในร่างกาย เช่นเอนไซม์แอลฟาแอมิเลส (α -amylase) และเอนไซม์พูลูลานาส (pullulanase) โดยที่เอนไซม์เหล่านี้ไม่สามารถย่อยสตาร์ชชนิดนี้ได้ หลังจากปล่อยให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 120 นาที

จากคุณสมบัติของแป้งย่อยยาก คือ แป้งที่ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ให้เป็นน้ำตาลในระบบการย่อยอาหาร สามารถพบได้ในแป้งจากพืชชนิดต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท (Englyst *et al.* 1987 และ Bird, 2000) คือ

ประเภทที่ 1 แป้งที่ไม่สามารถย่อยได้ เช่น แป้งจากเมล็ดถั่ว และเมล็ดพืชทั้งเมล็ดที่ไม่ผ่านกระบวนการปรุงอาหาร

ประเภทที่ 2 แป้งที่ไม่ผ่านการปรุง เช่น มันฝรั่งที่ไม่ได้ปรุง ก๋วยเตี๋ยว ข้าวโพดที่มีอมิโลสสูง

ประเภทที่ 3 แป้งที่ผ่านการปรุงอาหารและมีลักษณะเป็นแป้งย่อยยาก เช่น ถั่วที่ผ่านการปรุงอาหาร คอร์นเฟลค มันฝรั่งที่ผ่านการปรุง และแช่เย็น หรือ ข้าวโพดที่มีอมิโลสสูงที่ผ่านการ retrograde

ประเภทที่ 4 แป้งที่ผ่านกระบวนการทางเคมีให้ต้านทานการย่อย และไม่พบในธรรมชาติ

แป้งที่มีอมิโลสสูงเป็นแป้งย่อยยาก เนื่องจากแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของอมิโลส และอมิโลเพคติน ซึ่งโมเลกุลอมิโลสจะอัดแน่นด้วยเส้นสายของโมเลกุลน้ำตาลที่เป็นสายตรง ทำให้ไม่ละลายน้ำและยากที่จะย่อย ขณะที่อมิโลเพคตินเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยเส้นสายของโมเลกุลน้ำตาลที่เป็นกิ่ง จึงไม่สามารถอัดแน่นได้ทำให้ย่อยง่ายกว่าอมิโลส (พิมพ์เพ็ญ และ นิธิยา, สืบค้นเมื่อ กันยายน 2557) แต่มีรายงานใน

<http://www.precisionnutrition.com/all-about-resistant-starch> สืบค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2557 ว่า แป้งที่มีอิมัลซิฟิเคชันที่มีสายน้ำตาลเป็นกึ่งก้านทำให้ถูกย่อยอย่างรวดเร็ว ซึ่งหมายถึงจะผลิตน้ำตาลในเส้นเลือดในปริมาณมากกว่า อมิโลส ซึ่งเป็นสายน้ำตาลต่อเป็นสายตรงทำให้พื้นที่ผิวที่จะถูกย่อยช้ากว่า

ในระบบการย่อยอาหาร แป้งส่วนใหญ่จะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในลำไส้เป็นน้ำตาล และถูกดูดซึมเข้าเส้นเลือด แต่มีแป้งบางชนิดจะถูกย่อยไม่หมดจึงมีปริมาณน้ำตาลต่ำที่จะถูกดูดซึมเข้าเส้นเลือด

(<http://www.precisionnutrition.com/all-about-resistant-starch> สืบค้นเมื่อ 25 ตุลาคม 2557)

แอลฟาอะไมเลส (alpha-amylase) เป็นเอนไซม์ที่ไฮโดรไลซ์พันธะไกลโคไซด์ภายในสายพอลิเมอร์ของโมเลกุลสตาร์ช (starch) และไกลโคเจน (glycogen) ที่ตำแหน่งแอลฟา 1,4 แบบสุ่มทำให้โมเลกุลของสตาร์ชและไกลโคเจนถูกไฮโดรไลซ์ได้ น้ำตาล เช่น น้ำตาลมอลโทส (maltose) และกลูโคส (glucose) อย่างรวดเร็ว เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส พบทั่วไปในระบบการย่อยอาหาร (digestive system) ของมนุษย์ และสัตว์เช่น ในน้ำลายและน้ำย่อยจากตับอ่อน (Pugh, 2000)

เอนไซม์พุลูลานเนส เป็นเอนไซม์ที่ถูกสร้างขึ้นโดยแบคทีเรียแกรมลบสามารถย่อยกิ่งของสายอิมัลซิฟิเคชันให้เป็นน้ำตาลสายตรง (Manners, 1997, Bender and Wallenfels, 1966, Lee and Whelan, 1972) ซึ่งจะทำให้การย่อยแป้งเร็วขึ้นกว่าการใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสชนิดเดียว

Englyst *et al.* (1982) รายงานว่า แป้งที่สุกแล้วเมื่อย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส และ พุลูลานเนส มีแป้งบางชนิดจะย่อยช้ากว่าแป้งที่เหลืออยู่ ซึ่ง Hedley (2001) และ Nugent (2005) เรียกว่า แป้งย่อยยาก (resistant starch)

แป้งจากพืชหลายชนิดมีคุณสมบัติเป็นแป้งย่อยยาก เช่น มันฝรั่ง ถั่ว เป็นต้น แป้งพืชในประเทศไทยมีหลายชนิด เช่น เผือก มันเทศ ถั่ว ถั่วต่างๆ ควรนำมามากศึกษามีคุณสมบัติความเป็นแป้งย่อยยาก โดยการใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสย่อยแป้งที่มีองค์ประกอบของสายน้ำตาลอยู่ในรูปของอิมัลซิฟิเคชันและอิมัลซิฟิเคชันและดูปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่ได้

Faisant *et al.* (1995) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติการเป็นแป้งย่อยยากของสตาร์ชจากถั่วดิบ โดยนำไปผสมกับผลิตภัณฑ์อาหารเข้าที่มีการทำให้สุก แล้วให้ผู้บริโภคทดสอบจำนวน 30 คน มีการเก็บตัวอย่างอาหารหลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 8-15 ชั่วโมง โดยมีวิธีการเก็บตัวอย่างอาหารที่ผ่านการย่อยบริเวณปลายลำไส้เล็กด้วยวิธีการพิเศษ จากนั้นจึงนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเปรียบเทียบกับลักษณะเม็ดสตาร์ชจากถั่วที่ยังไม่มีการบริโภค พบว่าหลังจากเวลาผ่านไป 6 ชั่วโมง ยังสามารถพบสตาร์ชถั่วที่เหลือมีปริมาณถึงร้อยละ 80 ของสตาร์ชทั้งหมด ลักษณะเม็ดสตาร์ชจากถั่วดิบที่ผ่านการบริโภคแล้วนั้นจะมีลักษณะพื้นผิวขรุขระ ไม่เรียบมีรูพรุน และเป็นรู ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ ซึ่งสตาร์ชถั่วก่อนที่จะนำไปบริโภคจะมีลักษณะเป็นเม็ดสตาร์ชที่มีผิวเรียบ และไม่รูพรุน สตาร์ชจากถั่วดิบจึงมีสมบัติเป็น แป้งย่อยยาก จากการค้นพบนี้ จึงอาจเป็นแนวทางในการพัฒนานำสตาร์ชจากถั่วดิบไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ และผลิตภัณฑ์อาหารอื่น ๆ ได้มากขึ้น

จากงานวิจัยของ จารุวรรณ ปี 2555 (ยังไม่ได้ตีพิมพ์) พบว่าแป้งพืชหลายชนิดที่ย่อยด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง แล้วให้ปริมาณน้ำตาลกลูโคสต่ำกว่าแป้งข้าว คือ ข้าว ถั่วต่างๆ เผือก ถั่ว เป็นต้น แต่ยังไม่สามารถศึกษาถึงความแตกต่างของพันธะ/สายพันธะในลักษณะการเป็นแป้งย่อยยาก

การนำแป้งพืชชนิดต่างๆ ที่มีคุณสมบัติของแป้งย่อยยาก มาทำผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพรูปแบบต่างๆ น่าจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ป่วยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำตาลกลูโคสในเส้นเลือด เช่น เบาหวาน ความดันโลหิตสูง