ASTC 2023

Academic Science & Technology Conference

ASTC 2023

PROCEEDINGS

การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระหว่างสถาบัน (ASTC) ครั้งที่ 9

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืน

SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR SUSTAINABILITY

วันศุกร์ที่ 9 มิถุนายน 2566 (รูปแบบ ONLINE)

ณ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย กรุงเทพ

การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างสถาบัน ครั้งที่ 9

(The 9th Academic Science and Technology Conference 2023)

“วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืน”

วันศุกร์ที่ 9 มิถุนายน 2566
ณ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

ผู้จัดหลัก : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

ผู้จัดร่วม : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และ คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
คณะการแพทย์บูรณาการ และ คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
คณะวิทยาศาสตร์ และ วิทยาลัยนวัตกรรมดิจิทัลและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยรังสิต
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

ร่วมกับ

สมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย
ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
ASSOCIATION OF PRIVATE HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS OF THAILAND
UNDER THE PATRONAGE OF HER ROYAL HIGHNESS PRINCESS MAHACHAKRI SIRINDHORN

AIAT

สนับสนุนโดย

UNC
YOUR NATURAL CREATION

NUUI

		หน้า
P_BS_P_0065	การประยุกต์ใช้ตัวแบบผสม SARIMAX-ANN ในการพยากรณ์เบี้ยประกันภัยรับโดยตรงของธุรกิจประกันชีวิตในประเทศไทย	125
P_BS_P_0072	การพัฒนาทาร์ตไข่ขาวเสริมโปรตีนถั่วเหลืองสกัด	136
	กลุ่มสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ (Applied Science : AS)	
P_AS_O_0002	การเปรียบเทียบปริมาณของไข่ผำต่อระดับคะแนนยอมรับของผู้บริโภคในผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบกุ้งเสริมไข่ผำ	144
P_AS_O_0010	ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเข้าร่วมกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปลงใหญ่สตรอเบอรีของเกษตรกรในตำบลบ่อแก้ว อำเภอสะเมิง จังหวัดเชียงใหม่	151
P_AS_O_0013	การคำนวณคาบอุบัติซ้ำของการเกิดแผ่นดินไหวเพื่อประเมินความเสี่ยงของการเกิดแผ่นดินไหวที่รุนแรงบริเวณภาคกลางของประเทศไทย	159
P_AS_O_0056	การเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ระหว่างวิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของโฮลต์ วิธีการปรับให้เรียบด้วยเส้นโค้งเลขชี้กำลังของบราวน์ และวิธีบอกซ์-เจนกินส์: ปริมาณการผลิตน้ำมันมะพร้าวบริสุทธิ์	167
P_AS_O_0060	ศึกษาการเจริญเติบโตของต้นผักบุ้งที่ปลูกด้วยไบโอชาร์จากเศษไม้สะแกนา เศษไม้ไผ่ และเศษไม้กระถินยักษ์	178
P_AS_O_0078	การพัฒนาขนมปังโฮลวีทเสริมผงผักชายา	189
P_AS_O_0084	ผลการศึกษาการฉีดวัคซีนและขนาดพื้นที่ในการเลี้ยงที่ส่งผลต่อการแพร่ระบาดของโรคเพิร์ส (PRRS) ในสุกรด้วยตัวแบบคณิตศาสตร์	198
P_AS_O_0087	ปัจจัยลักษณะประชากรที่ส่งผลต่อจำนวนผู้ป่วยโรคโควิด–19 ในจังหวัดสุราษฎร์ธานี	210
P_AS_O_0102	การตรวจสอบความถูกต้องของปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ จากการสังเกตด้วย ERA5 re-analysis กับข้อมูล sunphotometer ในภูมิภาคหลักของประเทศไทย	223
P_AS_O_0104	ตัวแบบการพยากรณ์จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าในเขตการไฟฟ้านครหลวง	234
P_AS_O_0106	การวิเคราะห์ฉากทัศน์สำหรับศักยภาพชีวมวลของการผลิตไฟฟ้าจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศไทย	241
P_AS_O_0108	ศักยภาพการลดก๊าซเรือนกระจกของการผลิตพลังงานจากใบอ้อย กรณีศึกษาในพื้นที่ อำเภอภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ	253
P_AS_O_0114	การพัฒนาสูตรของขนมบ้าบิ่นอบกรอบ	261
P_AS_O_0116	ความหลากชนิดของสัตว์ป่าในพื้นที่ฟื้นฟูป่าโครงการเขาพระยาเดินธง	269
P_AS_O_0117	ความเต็มใจจ่ายภาษีสิ่งแวดล้อมโดยใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม	277
P_AS_O_0118	ผลของสารสกัดจากถั่วขาวชนิดผงและอัลลูโลสต่อคุณภาพของขนมเม็ดขนุน	288
P_AS_O_0122	การพัฒนาเม็ดไข่มุกข้าวหอมนิลเสริมโปรตีน	296
P_AS_O_0125	การพัฒนาคอมบูชาผงสำเร็จรูปพร้อมดื่มพลังงานต่ำ	302
P_AS_O_0130	การประเมินทางประสาทสัมผัสของโปรตีนจากพืชสำเร็จรูปชนิดผงชงดื่มกลิ่นวานิลลา	309
P_AS_P_0017	การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวโพดผสมข้าวกล้องหอมมะลิ	316
P_AS_P_0018	ผลของอาหารต่างชนิดต่อการผสมพันธุ์และวางไข่ปลาออสการ์	326
P_AS_P_0026	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาอะซิทิเลชันที่มีต่อสมบัติของหญ้าขจรจบ	336
P_AS_P_0040	ผลของการดัดแปรต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชกล้วยหินดิบ	345

ผลของการดัดแปรต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชกล้วยหินดิบ

Effect of Modifications on Physico-Chemical Properties of Raw Hin Banana Starch

จิรนาถ บุญคง[1*] ปิยนุสร์ น้อยด้วง[1] และจิตตราภรณ์ แมงทับ[2]
Jiranart Boonkong[1*] Piyanoot Noiduang[1] and Jittraporn Mangtub[2]
[1]ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม
[2]บริษัทเอ็นเอสแอล ฟู้ดส์ จำกัด
**ผู้ประสานงานหลัก อีเมล: jiranart.boo@siam.edu*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของวิธีการดัดแปรต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชจากแป้งกล้วยหินดิบ โดยแปรผันวิธีการดัดแปร จำนวน 5 วิธี ได้แก่ autoclave-incubation, heat-freeze-thaw, heat moisture, annealing และ crosslinking จากนั้นนำสตาร์ชดัดแปรมาทดสอบทางเคมี-กายภาพ ได้แก่ ค่าสี การดูดซับน้ำ การพองตัว ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณ resistant starch ผลการทดลองพบว่า สตาร์ชที่ดัดแปรทุกทรีทเมนต์มีค่าความสว่างลดลง มีค่าการดูดซับน้ำและการพองตัวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร และมีปริมาณน้ำอิสระอยู่ระหว่าง 0.15-0.41 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน สตาร์ชดัดแปร TD-1, TD-2, TE-1 และ TE-2 มีปริมาณ resistant starch สูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญ จากการศึกษาสมบัติด้านความหนืดด้วย Rapid Visco Analyser พบว่า pasting temperature และ peak time ของสตาร์ชดัดแปรสูงขึ้น ส่วน peak viscosity, final viscosity, breakdown และ setback มีค่าลดลง โดยสตาร์ชดัดแปร TD-2 มีสมบัติทางเคมี-กายภาพและสมบัติด้านความหนืดเหมาะสมต่อการนำไปใช้ประโยชน์ โดยมีปริมาณ resistant starch สูงสุด เท่ากับ 93.32% มีความคงตัวของความหนืด ณ อุณหภูมิต่ำ อีกทั้งเป็นสตาร์ชดัดแปรด้วยวิธีทางกายภาพที่ปลอดภัย

คำสำคัญ: *แป้งกล้วยหินดิบ/ รีซิสแตนส์สตาร์ช/ การดัดแปรแป้ง*

Abstract

This research was studied the effect of starch modification process on physical and chemical properties of raw banana starch by varying the method of modification for as follows: autoclave-incubation, heat-freeze-thaw, heat moisture, annealing and crosslinking were performed. The modified starches were examined the physico-chemical properties for as followed: color, water absorption index (WAI), swelling power, water activity and resistant starch content. Results showed that all of modified starches had the lower brightness than unmodified starch; whereas WAI and swelling power of modified starches were slightly higher than unmodified starch. Water activity values were between 0.15-0.41, that in accordance with the standard. TD-1, TD-2, TE-1 and TE-2 modified starches had significantly higher resistant starch content than unmodified starch. Viscosity analysis with Rapid Visco Analyzer showed that pasting temperature and peak time of modified starches were higher than unmodified starch, while the peak viscosity, final viscosity, breakdown and setback were lowered. TD-2 modified starch was suitable for applications because of its physico-chemical properties and viscosity properties demonstrating the highest resistant starch content (93.32%) and consistency viscosity at low temperature, and a safe physically modification process.

Keywords: *Raw Hin Banana starch/ Resistant starch/ Starch Modification*

บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มของการดูแลสุขภาพเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในทุกช่วงวัย คาร์โบไฮเดรตเป็นกลุ่มอาหารหลักในแต่ละมื้ออาหาร ซึ่งส่วนใหญ่มักจะอยู่ในรูปของแป้งที่ย่อยสลายด้วยเอนไซม์ของร่างกายแล้วให้พลังงาน ทางเลือกใหม่สำหรับผู้บริโภคที่ยังต้องการบริโภคอาหารที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบแต่ได้รับพลังงานน้อยลง จึงนิยมใช้แป้งทนการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (Resistant Starch; RS) โดยแป้งดังกล่าวจะไม่ถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก จึงมีคุณสมบัติเทียบเท่าใยอาหาร แต่จะผ่านมาถึงลำไส้ใหญ่และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ ได้เป็นกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acids) ซึ่งมีผลช่วยให้สุขลักษณะของปลายลำไส้ใหญ่ดีขึ้น ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ก่อโรค เพิ่มปริมาณของของเหลวและปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่างภายในลำไส้ใหญ่ให้ต่ำลง และมีบทบาทในการป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ (จิรนาถ บุญคง, 2553) ซึ่งหากบริโภคเป็นประจำจะช่วยลดความเสี่ยงต่อโรคต่างๆ เช่น โรคเบาหวาน โรคอ้วน โรคหัวใจ อีกทั้งทำให้รู้สึกอิ่มนาน

แป้งกล้วยดิบสายพันธุ์ที่นิยมรับประทาน เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหอม กล้วยเล็บมือนาง และกล้วยหักมุก พบว่ามีปริมาณ RS อยู่ระหว่าง 52.2 - 61.4% (ของน้ำหนักตัวอย่างแห้ง) โดยที่กล้วยหักมุกมีปริมาณสูงสุด 61.4% รองลงมาเป็น กล้วยไข่ 57.7% และกล้วยเล็บมือนาง 57% ขณะที่กลุ่มกล้วยพื้นบ้าน พบว่าแป้งกล้วยหินมีปริมาณ RS สูงสุดถึง 68.1% รองลงมาเป็นกล้วยนางพญา 66.8% เป็นต้น (Vatanasuchart, N., et al.,2009) แต่อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าปริมาณ RS ในแป้งกล้วยดิบจะมีค่าสูง ซึ่งเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ แต่พบว่าเมื่อนำแป้งกล้วยดิบเหล่านี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตที่ต้องผ่านการแปรรูปด้วยความร้อน พบว่าปริมาณ RS ที่เหลืออยู่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นหากมีกระบวนการดัดแปรแป้งกล้วยหินดิบให้มี RS สูงขึ้นกว่าเดิม รวมถึงกระบวนการดัดแปรบางวิธีสามารถทำให้สตาร์ชดัดแปรที่ได้คงทนต่ออุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดด่างหรือมีสมบัติบางประการที่ดีขึ้นกว่าแป้งดิบ (native starch) จะช่วยให้มีการนำสตาร์ชดัดแปรจากกล้วยหินดิบที่มี RS สูงกว่าแป้งชนิดอื่นไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง

การดัดแปรแป้งมีหลายวิธี ได้แก่ การดัดแปรทางกายภาพ เช่น การให้ความร้อนแบบพรีเจลาตีไนซ์ การใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น การแช่น้ำ รวมถึงการดัดแปรโดยใช้สารเคมี เป็นต้น โดยการดัดแปรแต่ละวิธีการจะส่งผลต่อการเปลี่ยนสมบัติของสตาร์ชหลังจากการดัดแปรที่แตกต่างกัน รายงานวิจัยที่ดัดแปรแป้งด้วยวิธีการให้ความร้อนชื้น (Heat Moisture Treatment; HMT) เช่น การดัดแปรแป้งข้าวโพดด้วยความร้อน 110°C, 16 ชั่วโมง ที่ระดับความชื้น (15, 18, 21 และ 24%) พบว่าการให้ความร้อนชื้น ที่ 18% มีระดับการย่อยสลายด้วย α-amylase น้อยที่สุด และพบว่า birefringence ถูกทำลายอีกด้วย (Kweon et al., 2000) และงานวิจัยที่ศึกษาการดัดแปรสตาร์ชข้าวเจ้าด้วยวิธีให้ความร้อนร่วมกับความชื้นของ ณัชษชี ณัชปภาส์มณ และคณะ (2559) พบว่าสตาร์ชข้าวเจ้าดัดแปรมีปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้น และสตาร์ชดัดแปรมีโครงสร้างผลึกแบบ A ไม่เปลี่ยนแปลง และมีปริมาณ Crystallinity เพิ่มขึ้น อีกวิธีการดัดแปร คือ การให้ความร้อนที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลแต่อยู่ในสภาวะที่มีน้ำมาก (Annealing; ANN) เช่น การดัดแปรแป้งถั่วลันเตา แป้งข้าวสาลี และแป้งข้าวเจ้าด้วยวิธี ANN พบว่ามีผลค่าต่อความหนืดสูงสุดที่เพิ่มขึ้น ไม่ทำลายโครงสร้างของเม็ดแป้ง และปริมาณ RS เพิ่มขึ้น (Jacobs & Delcour, 1998) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่มีการดัดแปรแป้งทางเคมี โดยการใช้สารเคมีเชื่อมข้าม เช่น การดัดแปรสตาร์ชข้าวโพดอะมิโลสสูงด้วยวิธีการให้ความร้อนชื้นร่วมกับวิธีการฟอสโฟริเลชันและเชื่อมข้าม (phosphorylation /cross-link) ส่งผลให้ปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้น 30-40% ปริมาณแป้งที่ต้านทานการย่อยของเอนไซม์เทากับ 43% เมื่อเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ได้ดัดแปรที่มีค่าเพียง 25% (Sang, Y. et al., 2006) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่เพิ่มปริมาณ RS ในแป้งกล้วยหินดิบโดยวิธีการดัดแปรด้วยวิธีการต่างๆ และศึกษาผลของการดัดแปรทางกายภาพด้วยวิธีการต่างๆ ต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งกล้วยหินดิบ

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสตาร์ชและการดัดแปรสตาร์ช

1.1 นำผงแป้งกล้วยหินดิบ (อำเภอท่าม่วง จังหวัดราชบุรี อายุเก็บเกี่ยว 100 วัน นับจากแทงปลี) มาเติมน้ำกลั่นอัตราส่วน (แป้งต่อน้ำ) 1:10 และสกัดสตาร์ชกล้วยหินดิบตามวิธีของ (Thompson, 1977) เมื่อได้ตะกอนสตาร์ช นำไปอบที่อุณหภูมิ 50°C จนแห้งแล้วนำมาบดเป็นผง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช เก็บในภาชนะปิดสนิทและใช้เพื่อทำการทดลองดัดแปรสตาร์ชต่อไป

1.2 การดัดแปรสตาร์ชกล้วยหินดิบโดยวิธีทางกายภาพและทางเคมี ดังนี้

1.2.1 วิธี Autoclave-Incubation (ดัดแปลงตามวิธีของ Onyango, et.al., 2006) นำสตาร์ชเติมน้ำในอัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำ (3:7) นำไป autoclave ที่อุณหภูมิ 121°C เวลา 1 ชั่วโมง และบ่มที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และทำให้แห้งด้วยลมเย็น ณ อุณหภูมิห้อง (TA)

1.2.2 วิธี Heat-Freeze Thaw (ดัดแปลงตามวิธีของ Wang, et.al., 2008) นำสตาร์ชเติมน้ำในอัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำ (3:7)ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C นาน 30 นาที และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -20° C นาน 24 ชั่วโมง (TB)

1.2.3 วิธี Heat Moisture Treatment (ดัดแปลงตามวิธีของ ณัชษชี ณัชปภาส์มณ และคณะ, 2559) นำสตาร์ชที่มีความชื้น 30% ไปอบที่อุณหภูมิ 110° C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง (TC)

1.2.4 วิธี Annealing (ดัดแปลงตามวิธีของ เบญจลักษณ์ ศิริบูรณ์, 2550) นำสตาร์ชเติมน้ำในอัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำ (3:7) บ่มในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 50° C เป็นเวลา 24 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ (TD-1, TD-2)

1.2.5 วิธี Crosslink & Esterification (ดัดแปลงตามวิธีของอิสราภรณ์ เอ็มรัตน์ และคณะ, 2554) โดยใช้สาร sodium trimetaphosphate ความเข้มข้น 2% ทำปฏิกิริยาครอสลิงค์ (TE-1) และใช้สาร trimetaphosphate ความเข้มข้น 2% ร่วมกับ Sodium tripolyphosphate ความเข้มข้น 5% (TE-2) ทำปฏิกิริยาครอสลิงค์ร่วมกับเอสเทอริฟิเคชั่น

สตาร์ชดัดแปรทุกทรีทเมนต์จะผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C จนมีความชื้นไม่เกิน 10% บดเป็นผงละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช เก็บในภาชนะปิดสนิท และคำนวณร้อยละผลผลิตของการดัดแปร

2. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของสตาร์ชกล้วยหินดิบและสตาร์ชดัดแปร

ศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ระบบ Hunter LAB โดยใช้เครื่องวัดสี (colorimeter) ยี่ห้อ Color flex รุ่น 45/0 ประเทศสหรัฐอเมริกา ค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity) โดยใช้เครื่องวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity meter) ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น Series 3 TE ประเทศสหรัฐอเมริกา ค่าการดูดซับน้ำ (water absorption index) ตามวิธีของ (Anderson et.al., 1969) และ ค่ากำลังการพองตัว (swelling power) ตามวิธีของ (Schoch, 1964) วิเคราะห์ปริมาณรีซิสแตนส์สตาร์ช (resistant starch) โดยใช้ชุดทดสอบ Resistant Starch Assay Procedure K-RSTAR (AOAC Method 2002.02, AACC Method 32-40.01 and CODEX Method Type II) บริษัท Megazyme

คัดเลือกสตาร์ชดัดแปรที่มีสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่เหมาะสมจากการทดลองข้างต้น มาศึกษาความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser ยี่ห้อ Perten-Instrument รุ่น RVA 4500, ประเทศสหรัฐอเมริกา เทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร (ตามวิธีของณัชษชี ณัชปภาส์มณ และคณะ, 2559) โดยเตรียมสตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

3. วางแผนการทดลองและสถิติที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งการทดสอบค่าวิเคราะห์ทางเคมี-กายภาพ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ทุกการทดลอง สิ่งทดลองละ 3 ซ้ำ ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสิ่งทดลองด้วย DMRT (Duncan's Multiple Range Test) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

สตาร์ชดัดแปร TA จะมีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล สตาร์ชดัดแปร TB เป็นผงสีน้ำตาลอ่อน สตาร์ชดัดแปร TC เป็นผงสีขาวอมเหลือง ส่วนสตาร์ชดัดแปร TD-1, TD-2, TE-1 และ TE-2 เป็นผงละเอียดสีขาว สตาร์ชดัดแปรทุกทรีทเมนต์ มีค่าร้อยละผลผลิตมากกว่า 80% โดยสตาร์ชดัดแปร TD-2 มีร้อยละผลิตสูงสุด เท่ากับ 99.86%

ตารางที่ 1 ค่าสีและปริมาณน้ำอิสระของสตาร์ชกล้วยหินดิบดัดแปร

Starch	Color			a_w
	L*	a*	b*	
Unmodified	85.21±0.04^{a}	2.54±0.03^{f}	9.88±0.07^{d}	0.15±0.002^{g}
TA	68.75±0.02^{g}	5.19±0.07^{a}	10.42±0.08^{c}	0.24±0.001^{d}
TB	68.52±0.02^{h}	3.81±0.01^{c}	11.86±0.05^{b}	0.41±0.004^{a}
TC	72.74±0.02^{f}	3.95 ±0.03^{b}	12.34±0.04^{a}	0.19±0.002^{f}
TD-1	79.41±0.03^{e}	2.13±0.02^{h}	8.55±0.06^{g}	0.26±0.001^{c}
TD-2	79.82±0.04^{d}	2.20±0.01^{g}	8.10±0.05^{h}	0.29±0.003^{b}
TE-1	84.62±0.01^{b}	3.56±0.02^{d}	9.58±0.02^{e}	0.23±0.005^{d}
TE-2	82.63±0.00^{c}	3.30±0.01^{e}	8.93±0.02^{f}	0.20±0.005^{e}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยของตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สตาร์ชดัดแปรทุกทรีทเมนต์มีค่าความสว่าง (L*) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 1) เมื่อเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร เมื่อพิจารณาเฉพาะสตาร์ชดัดแปร พบว่า สตาร์ชดัดแปร TE-1 มีค่าความสว่างสูงสุด เท่ากับ 84.62 ส่วนค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) จะให้ผลตรงกันข้ามกับค่าความสว่าง โดยสตาร์ชดัดแปรทุกทรีทเมนต์มีค่า มีค่าสีแดงมากกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร ยกเว้นสตาร์ชดัดแปร TD โดยสตาร์ชดัดแปร TA มีค่าสีแดงสูงสุด และพบว่าสตาร์ชดัดแปรโดยวิธีให้ความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลได้แก่ TA, TB และ TC จะมีค่าสีเหลืองสูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการดัดแปรที่ใช้ความร้อนและการอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนสีผิวของอาหาร และเปลี่ยนการสะท้อนแสงของสี มีการเปลี่ยนแปลงของสารรงควัตถุ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนและการออกซิเดชันระหว่างการอบแห้ง รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544) ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำลง ซึ่งสัมพันธ์กับค่าสว่างที่ลดลง และค่าสีแดงที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำอิสระและอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการเก็บรักษาโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาหารที่มีความชื้นมากกว่า 4-5% และอุณหภูมิสูงกว่า 38°C (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544)

ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของสตาร์ชดัดแปรสูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร เนื่องจากกระบวนการดัดแปรทางเคมีและทางกายภาพ จะมีขั้นตอนการเติมน้ำลงในสตาร์ชอีก ถึงแม้ว่าจะมีกระบวนการทำสตาร์ชดัดแปรให้แห้งอีกครั้ง แต่อาจจะมีน้ำอิสระ (free water) หรือ น้ำที่จับอยู่กับโครงสร้างแป้ง (bound water) อยู่ภายในเมื่อวัดค่า a_w จึงมีค่ามากกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปรเล็กน้อย ทั้งนี้ค่า a_w มีความสำคัญต่อการเก็บรักษาอาหารอบแห้ง อาหารที่ปราศจากน้ำหรืออาหารนั้นมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.7 หรือน้อยกว่าส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2544) ซึ่งจากผลการทดลอง สตาร์ชดัดแปรมีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.19 - 0.41 แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชดัดแปรสามารถเก็บไว้ได้นานในภาชนะปิดสนิท

ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (WAI) และกำลังการพองตัว (ตารางที่ 2) ของสตาร์ชดัดแปร TA และ TB มีค่ามากกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจเนื่องจากการดัดแปรทางกายภาพโดยวิธีดังกล่าวมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลของสตาร์ชในสภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ เม็ดสตาร์ชมีการแตกออก (กล้าณรงค์ ศรีรอต, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) เมื่อนำมาทำแห้งอีกครั้งจะเกิดรูพรุนภายในโครงสร้าง เมื่อนำมาละลายน้ำจึงยอมให้น้ำผ่านเข้าไปได้มากขึ้น และไปแทนที่

อากาศในรูพรุนนั้น ส่วนสตาร์ชดัดแปร TC, TD-1, TD-2 และ TE-1 มีค่ามากกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการทดลองพบว่าสตาร์ชดัดแปร TE-2 มีค่าการพองตัวมากกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปรเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการดัดแปรด้วยวิธี esterification ร่วมกับ crosslink ทั้งนี้การทำปฏิกิริยา esterification ของสตาร์ชกับหมู่ฟอสเฟต จะทำให้สตาร์ชดัดแปรที่ได้มีสมบัติการป้องกันไม่ให้โมเลกุลของสตาร์ชเกิดการรวมตัวกันหนาแน่นขึ้นด้วยการมีหมู่ไอออนิกที่มากขึ้น และเกิดการผลักกัน สตาร์ชดัดแปรจึงมีลักษณะการพองตัวมากขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ดังนั้นสตาร์ชดัดแปร TE-2 จึงมีลักษณะบางประการที่แตกต่างจากสตาร์ชดัดแปร TE-1 ที่ทำปฏิกิริยาครอสลิงค์เพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ และกำลังการพองตัวและปริมาณแป้งต้านทานการย่อยด้วยเอนไซม์ของสตาร์ชกล้วยหินดิบและสตาร์ชกล้วยหินดิบดัดแปร

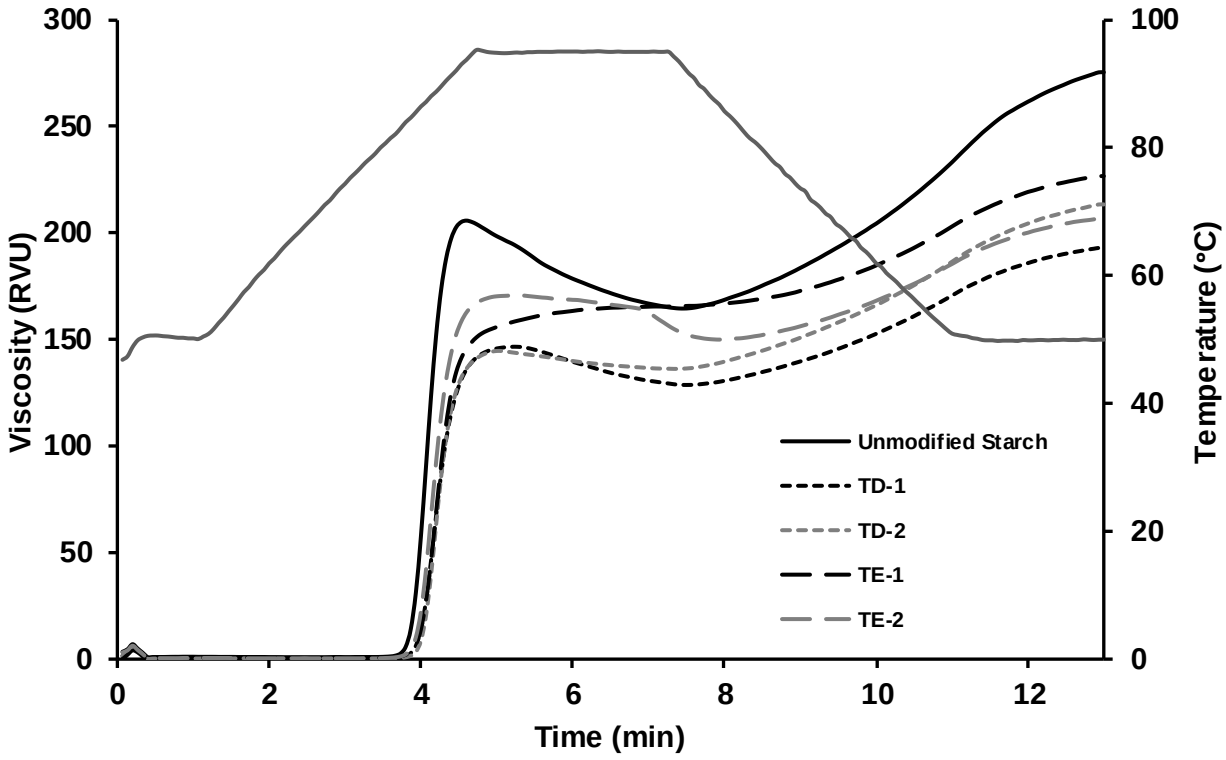
Starch	WAI (g water/g starch)	Swelling Power (95°C)	Resistant Starch (%)
Unmodified	2.74±0.08^{c}	6.96±0.11^{d}	50.91±6.17^{c}
TA	8.64±0.26^{a}	13.58±0.02^{a}	19.43±0.72^{d}
TB	5.39±0.05^{b}	8.97±0.52^{b}	25.33±11.36^{d}
TC	3.09±0.11^{c}	7.30±0.09^{d}	59.24±4.72^{c}
TD-1	3.04±0.08^{c}	6.94±0.38^{d}	75.81±6.98^{b}
TD-2	2.86±0.07^{c}	7.19±0.37^{d}	93.32±2.24^{a}
TE-1	2.96±0.40^{c}	6.90±0.10^{d}	79.86±11.94^{b}
TE-2	3.03±0.23^{c}	7.82±0.24^{c}	80.18±6.73^{b}

หมายเหตุ: ตัวอักษร a, b, c ในแนวตั้ง แสดงถึงค่าเฉลี่ยของตัวอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สตาร์ชดัดแปรด้วยวิธี Autoclave-Incubation และ Heat-Freeze-Thaw มีปริมาณ RS ลดลงมากเมื่อเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร ทั้งนี้เนื่องจากการให้ความร้อนจากการดัดแปรทั้งสองวิธี ส่งผลให้สตาร์ชเกิดเจลาตีไนเซชันอย่างสมบูรณ์ เม็ดสตาร์ชแตกออก สูญเสียสมบัติ birefringence ตลอดจนโครงสร้างที่เป็นผลึก และอาจจะมีโมเลกุลของอะไมโลสหลุดออกมานอกเม็ดสตาร์ชได้บางส่วน จึงสูญเสียสมบัติต้านทานการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ ในขณะที่ปริมาณ RS ของสตาร์ชดัดแปร TC, TD-1, TD-2, TE-1 และ TE-2 มีปริมาณ RS สูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร (ตารางที่ 2) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 59.24 - 93.32% ซึ่งคำนวณปริมาณ RS เทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร มีค่าเพิ่มขึ้น 48.91, 55.94, 31.02, และ 36.65% ตามลำดับ เป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของสัณทณีย์ ปัญจอานนท์ และคณะ (2555) ที่ดัดแปรสตาร์ชข้าว ฟลาวร์ข้าว และเมล็ดข้าวโดยวิธีให้ความร้อนชื้น และ Sang, Y. et.al. (2006) ที่ดัดแปรสตาร์ชข้าวโพดด้วยวิธีให้ความร้อนชื้นร่วมกับปฏิกิริยาครอสลิงค์ พบว่าค่า RS เพิ่มขึ้นจาก 25% เป็น 43% และจากการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการดัดแปรสตาร์ชด้วยวิธี ANN มีผลต่อการดัดแปร โดยแป้งได้รับความร้อนต่ำที่อุณหภูมิ 50°C และแช่น้ำที่เวลานานขึ้น ส่งผลต่อการจัดเรียงโครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชได้มากกว่าการแช่น้ำในระยะเวลาที่น้อยกว่า ส่งผลให้สตาร์ชดัดแปร TD-2 มีปริมาณ resistant starch มากกว่า TD-1 จากนั้นคัดเลือกสตาร์ชดัดแปร จำนวน 4 ตัวอย่าง ได้แก่ TD-1, TD-2, TE-1 และ TE-2 ที่มีปริมาณ RS สูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญ ไปศึกษาสมบัติด้านความหนืดด้วย Rapid Visco Analyzer

สตาร์ชดัดแปรทุกตัวอย่าง มีความหนืดลดลงเมื่อเทียบกับสตารช์ที่ไม่ดัดแปรซึ่งพิจารณาจากค่า Peak Viscosity (ภาพที่ 1) ส่วนอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting Temperature) อยู่ระหว่าง 84.1-84.6°C ซึ่งสตาร์ชดัดแปรจะมีค่ามากกว่า

สตาร์ชไม่ดัดแปรเล็กน้อย (ซึ่งสัมพันธ์กับเวลาในการเกิดเจล; Peak Time) ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชดัดแปรต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้นเพื่อทำให้เกิดเจล คุณภาพการหุงต้มของสตาร์ชต้องใช้เวลานานกว่า



ภาพที่ 1 อะไมโลแกรมของสตาร์ชและสตาร์ชดัดแปร

ค่า Setback (from trough) ของสตาร์ชดัดแปรมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชดัดแปรจะมีการคืนตัวของแป้งน้อยกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร และสตาร์ชดัดแปรมีค่า Breakdown ลดลง แสดงให้เห็นว่าความหนืดที่จุดพีกกับค่าความหนืดต่ำสุด (Trough) มีค่าไม่แตกต่างกันมาก ทั้งนี้สตาร์ชดัดแปรมีการเปลี่ยนแปลงของความหนืดค่อนข้างน้อยหลังจากเกิดเจลาตีไนซ์ แสดงว่าสตาร์ชดัดแปรมีความคงทน เม็ดสตาร์ชแข็งแรงไม่ถูกทำลายด้วยความร้อนจนสูญเสียความหนืด ซึ่งปรากฏการณ์ข้างต้น อธิบายผลด้วยหลักการดัดแปรสตาร์ชเพื่อให้สตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดดังนี้

ตามหลักการการดัดแปรโดยวิธี HMT จะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ Pasting Temperature เม็ดสตาร์ชจะพองตัวลดลง และสตาร์ชมีความคงทนต่ออุณหภูมิและแรงกวนมากขึ้น (Zavareze & Dias, 2011) นอกจากนี้ยังมีผลต่อโครงสร้างผลึกจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction และยังรวมถึงการลดลงของการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ (Chung et al., 2009) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัชษชี ณัชปภาส์มณ และคณะ (2559) ที่ศึกษาผลของการดัดแปรแป้งด้วยวิธีการใช้ความร้อนชื้นต่อสมบัติและโครงสร้างของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A และ B พบว่าหลังจากการดัดแปร สตาร์ชมีค่าของความหนืดลดลงเช่นกัน

สตาร์ชดัดแปรด้วยวิธีแช่น้ำ (TD-1 และ TD-2) มีค่าความหนืด ทั้ง Peak Viscosity, Trough และ Final Viscosity ต่ำกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร และมีค่า Pasting Temperature และ Peak Time เพิ่มขึ้น มีค่า Breakdown และ Setback ลดลง แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชดัดแปรมีความหนืดลดลง มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดหลังจากเกิดเจลาตีไนซ์ลดลง และมีการคืนตัวลดลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานวิจัยของเบญจลักษณ์ ศิริบูรณ์ (2550) ที่ศึกษาผลของการดัดแปรแบบแช่น้ำ (ANN) ในสตาร์ชข้าวที่

มีอะมิโลสต่างกัน พบว่ามีค่า Pasting Temperature สูงขึ้นเช่นกัน โดยทั่วไปการดัดแปรโดยวิธีแช่น้ำจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกระหว่างสายโซ่ของสตาร์ช ยิ่งกว่านั้นจะมีผลต่อการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลของสตาร์ช (reorganization) โดยเกลียวคู่ของอะมิโลเพกตินมีการจัดระเบียบโครงสร้าง (configuration) (Gomes et.al., 2005)

สตาร์ชดัดแปรทางเคมีด้วยวิธีครอสลิงค์ (TE-1, TE-2) มีค่า Peak Time, Pasting Temp สูงกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปร ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อพันธะภายในโครงสร้างที่สร้างขึ้นแบบเชื่อมข้ามแข็งแรงขึ้นจากปฏิกิริยาการเติมสารเชื่อมข้าม ส่งผลให้เม็ดสตาร์ชแข็งแรง การทำให้เกิดเจลาติไนเซชันต้องใช้อุณหภูมิสูงขึ้น และใช้เวลานานขึ้นนั่นเอง และพบว่าค่า Peak Viscosity, Final Viscosity และค่า Setback มีค่าลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของอิสราภรณ์ เอ็มรัตน์ และคณะ (2554) ที่ได้ศึกษาการดัดแปรแป้งพุทธรักษาด้วยวิธีครอสลิงค์โดยใช้โซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต พบว่าการเพิ่มขึ้นของสารเคมีที่มีความเข้มข้น มากกว่า 0.1% จะส่งผลให้ค่า Peak Viscosity และค่า Setback ลดลง ในส่วนของ Pasting Temperature นั้นไม่มีความแตกต่างจากสตาร์ชไม่ดัดแปร

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าสตาร์ชดัดแปรโดยวิธีแช่น้ำ (TD1, TD-2) มีความหนืดน้อยกว่าสตาร์ชดัดแปรด้วยวิธีครอสลิงค์ (TE1, TE2) ส่วนค่า Setback ที่แสดงถึงการคืนตัวไม่แตกต่างกันมาก แต่เมื่อพิจารณาค่า Breakdown ของสตาร์ชดัดแปร TD-2 มีค่าต่ำสุด รองลงมาคือ TE-2 ซึ่งแสดงว่า สตาร์ชดัดแปร TD-2 มีการเปลี่ยนแปลงของความหนืด ณ อุณหภูมิต่ำน้อยกว่า ซึ่งแสดงถึงความคงทนต่ออุณหภูมิของเม็ดสตาร์ช (Thermal Stability) และเมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของปริมาณ RS ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของงานวิจัย พบว่าสตาร์ชดัดแปร TD-2 มีปริมาณ RS สูงกว่าสตาร์ชดัดแปร TE-2 อีกทั้งวิธีการดัดแปรของสตาร์ช TD-2 เป็นวิธีทางกายภาพซึ่งมีความปลอดภัยกว่าการดัดแปรโดยวิธีใช้สารเคมี จึงมีความเป็นไปได้ที่จะคัดเลือกสตาร์ชดัดแปร TD-2 เพื่อศึกษาการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไป

สรุปผลการวิจัย

สตาร์ชกล้วยหินดิบดัดแปรทุกทรีทเมนต์มีร้อยละการผลิตไม่ต่ำกว่า 80% มีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแป้งดัดแปร แต่มีค่าความสว่างลดลงซึ่งเป็นผลจากการดัดแปร ความสามารถในการอุ้มน้ำและกำลังการพองตัวของสตาร์ชดัดแปรมีค่าใกล้เคียงกับสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร ปริมาณ RS ของสตาร์ชดัดแปร TD-1, TD-2, TE-1 และ TE-2 สูงกว่าสตาร์ชไม่ดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญ โดย สตาร์ชดัดแปร TD-2 มีค่าสูงสุด เมื่อศึกษาความหนืดด้วย RVA พบว่ามีค่าความหนืดลดลง ค่าอุณหภูมิในการเกิดเจลและเวลาในการเกิดเจลสูงขึ้น สตาร์ชดัดแปรมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อลดอุณหภูมิลงและมีการคืนตัวน้อยกว่าสตาร์ชที่ไม่ดัดแปร ทั้งนี้สตาร์ชดัดแปร TD-2 เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากมีสมบัติทางเคมี-กายภาพและสมบัติด้านความหนืดที่เหมาะสม และมีปริมาณ RS ที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด อีกทั้งใช้วิธีการดัดแปรทางกายภาพที่ปลอดภัย ดังนั้นควรศึกษาการนำสตาร์ชดัดแปร TD-2 ไปใช้เป็นสารที่ให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหาร หรือในสภาวะที่ไม่ต้องการความข้นหนืดมาก แต่มีความคงทนต่ออุณหภูมิ และความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารอ้างอิง

จิรนาถ บุญคง. Resistant Starch แป้งที่มีบทบาทต่อสุขภาพ. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม. 2553; 6(1): 1-8.

กล้าณรงค์ ศรีรอต, เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพมหานคร. 2546; 303 หน้า.

นิธิยา รัตนาปนนท์. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์. กรุงเทพมหานคร. 2544; 93, 108.

เบญจลักษณ์ ศิริบูรณ์. ผลของการ annealing ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่างกันต่อโครงสร้าง และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 2550; 133 หน้า.

สันทณีย์ ปัญจอานนท์, ดุษฎี อุตภาพ. การดัดแปรแป้งข้าวด้วยความร้อนชื้นเพื่อลดการพองตัวและเพิ่มปริมาณ resistant starch. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. [ม.ป.ท.]: สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม; 2555.

อิสราภรณ์ เอ็มรัตน์, ยุรี วันดี, สันทณีย์ ปัญจอานนท์, ดุษฎี อุตภาพ, จุรีรัตน์ พุดตาลเล็ก, วิไล รังสาดทอง. การดัดแปรแป้งพุทธรักษาด้วยวิธีครอสลิงกิงค์โดยใช้โซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 2554; 34(4): 357-368.

ณัชษชี ณัชปภาส์มณ, สันทณีย์ ปัญจอานนท์, ดุษฎี อุตภาพ. ผลของการดัดแปรแป้งด้วยวิธีการใช้ความร้อนชื้นต่อสมบัติและโครงสร้างของแป้งที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A และ B. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 2559; 39(2): 257-270.

Anderson, R.A.; Conway, H.F.; Pfeifer, V.F.; Griffin, E.L. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. Cereal Science Today. 1969; 14(1): 4–12.

Chung, H. J., Liu, Q., Hoover, R. Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. Carbohydrate Polymers. 2009; 75: 436-447.

Gomes, A.M.M., Silva, C.E.M., Ricardo, N.M.P.S. Effects of annealing on the physicochemical properties of fermented cassava starch (*polvilho azedo*). Carbohydrate Polymers. 2005; 60: 1-6.

Jacobs, H., Eerlingen, R.C., Spaepen, H., Grobert, P.J. Delcour, J.A. Impact of annealing on the susceptibility of wheat, potato and pea starches to hydrolysis with pancreatin. Carbohydrate Research. 1998; 305: 193-207.

Kweon, M., Hanes, L., Slade, L. Levine, H. The effect of heat and moisture treatment on enzyme digestibility of *AeWx*, *Aewx* and *aeWx* corn starches. Journal of Thermal Analytical and Calorimetry. 2000; 59: 571-586.

Onyango, C., Bley, T., Jacob, A., Henle, T. and Rohm, H. Influence of incubation temperature and time on resistant starch type III formation from autoclaved and acid-hydrolysed cassava starch. Carbohydrate Polymers. 2006; 66: 494-499.

Schoch, T.J. Swelling Power and Solubility of Granulea Starches. In Whistler R.L., Smith R.J., Bemiller J.N., Wolform M.L. Ed. Methods in Carbohydrate Chemistry Vol. IV Starch. New York: Academic Press. 1964; 106-108.

Sang, Y., Seib, P.A. Resistant starches from amylose mutants of corn by simultaneous heat-moisture treatment and phosphorylation. Carbohydrate Polymers. 2006; 63(2): 167-175.

Thompson, L.U. Preparation and evaluation of mung bean protein isolates. Journal of Food Science. 1977; 42(1): 202-206.

Vatanasuchart, N., Niyomwit B., Wongkrajang. K. Resistant Starch Contents and the *in Vitro* Starch Digestibility of Thai Starchy Foods. Kasetsart J. (Nat. Sci.). 2009; 43(1): 178-186.

Zavareze, E.R. Dias, A.R.G. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches. Carbohydrate Polymers. 2011; 83(2): 317-328.

ASTC 2023

ASTC 2023

การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ระหว่างสถาบัน (ASTC) ครั้งที่ 9

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อความยั่งยืน

SCIENCE AND TECHNOLOGY FOR SUSTAINABILITY

วันศุกร์ที่ 9 มิถุนายน 2566

ณ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย กรุงเทพ

ผู้สนับสนุน

YOUR NATURAL CREATION

NUUI