

สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแป้งข้าวหอมnilพรีเจลาตินไนซ์ โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

The optimum condition of pre-gelatinized Hom Nil rice flour
production by using double drum dryer

ปภากร ศรีสอน^{1*}, พัชนี บุญธกานนท์¹, อนงค์นาฏ โสภณางกูร¹
และ ยาทิปกกร ธีระภัทรพลชัย¹

Paphakorn Srisorn^{1*}, Patchanee Boontaganon¹, Anongnat Sopanangkul¹
and Yatipakorn Terapatponchai¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวหอมnil ด้วยกระบวนการพรีเจลาตินไนซ์ในเซชัน โดยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวหอมnilต่อน้ำ และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง จากการทดลองได้กำหนดอัตราส่วนแป้งต่อน้ำ 4 ระดับ คือ 50:90, 50:100, 50:115 และ 50:125 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ 50:100 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีผลผลิตสูงสุดร้อยละ 77 ในการศึกษาเปรียบเทียบแป้งข้าวหอมnilพรีเจลาตินไนซ์ที่ผลิตด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ในสภาวะที่แตกต่างกัน 6 สิ่งทดลอง (PHF 1 - PHF 6) และแป้งควบคุม 2 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้า (RF) และแป้งข้าวหอมnil (HF) พบว่าแป้งข้าวหอมnilพรีเจลาตินไนซ์ ที่ทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบของลูกกลิ้ง 12 รอบต่อนาที (PHF 3) มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดคือ มีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงที่สุด มีคุณสมบัติคงทนต่ออุณหภูมิ และการกรวนดีที่สุด มีลักษณะอ่อนนุ่ม เมื่อเย็นตัว นอกจากนี้ปริมาณแอนโทไซยานินของ PHF 3 เท่ากับ 65.45 มิลลิกรัมต่อกรัม ไม่ต่างกับแป้งข้าวหอมnil (HF) 66.18 มิลลิกรัมต่อกรัม อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) และยังพบว่ามีฤทธิ์ยับยั้งสารอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เท่ากับร้อยละ 5.69 และ 22.86 ตามลำดับ

คำสำคัญ: แป้งข้าวหอมnil พรีเจลาตินไนซ์ในเซชัน เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

Abstract

This research aimed to improve the physical properties of pre-gelatinized Hom Nil rice flour by using a double drum dryer. The study was divided into 2 parts: the study of the optimum ratio of Hom Nil rice flour to water, and the study of optimum drying conditions. According to the experiment, four levels of flour to water ratios as 50:90,

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ชลบุรี 20110

¹ Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chonburi 20110, Thailand

* Corresponding author. E-mail: paphakorn_sr@rmutto.ac.th

Received: October 1, 2020; Revised: October 28, 2020; Accepted: November 27, 2020

50:100, 50:115 and 50:125 (w/v) were determined. It was found that the optimum ratio was 50:100 (w/v), having the highest yield up to 77%. In a comparative study, pregelatinized Hom Nil rice flour was produced using a double drum dryer as six different conditions (PHF 1 - PHF 6) compared with two control flours, which were rice flour (RF) and Hom Nil rice flour (HF). The result showed that the pregelatinized Hom Nil rice flour obtained from a double drum dryer at 130 °C and a rotation speed of 12 rpm (PHF3) obtained the best properties of the flour, showing the highest water absorption ability, temperature and agitation resistance property, and turn soft when cooled down. Moreover, the anthocyanin content of PHF3 of 65.45 mg/g was not significantly different from Hom Nil rice flour of 66.18 mg/g ($p>0.05$), and also found that the inhibition of antioxidant activity as DPPH and ABTS were 5.69% and 22.86%, respectively.

Keywords: Hom Nil rice flour, pre-gelatinization, double drum dryer

บทนำ

ข้าวหอมนิล (*Oryza sativa*) หรือเรียกว่า ข้าวสีนิล เมล็ดมีลักษณะทรงรี เรียวยาวและเล็ก มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงเข้ม เมล็ดข้างในแข็งมากสีม่วงดำ เมื่อหุงสุกมีสีม่วงอ่อนนุ่ม และมีกลิ่นหอม คุณสมบัติที่สำคัญของข้าวเจ้าหอมนิลคือ มีโปรตีนสูงถึงร้อยละ 12.50 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 70 ปริมาณอะไมโลส ร้อยละ 16 ประกอบด้วยแร่ธาตุชนิดต่างๆ และวิตามินในปริมาณสูง ได้แก่ วิตามินบี 1 (thiamine) วิตามินบี 2 (riboflavin) วิตามินบี 3 (niacin) วิตามินบี 6 (pyridoxine) แคลเซียม (calcium) สังกะสี (zinc) และโพแทสเซียม (potassium) เป็นต้น (Polthum, & Ahromrit, 2014) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพบว่าในข้าวสีดำมีสารประกอบฟีนอล ได้แก่ กรดแกลลิก (gallic acid) กรดโปรโตคาเทอจิก (protocatechuic acid) กรดวานิลลิก (vanillic acid) กรดคาเฟอิก (caffeic acid) กรดไซริงจิก (syringic acid) กรดพาราคูมาริก (p-coumaric acid) และกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) (Sumczynski, Kotaskova, Druzbikova, & Mlcek, 2016) รวมถึงสารแอนโทไซยานินเป็น

องค์ประกอบซึ่งมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (Plaitho, Kangsadalampai, & Sukprasansap, 2013) ซึ่งสามารถแบ่งแอนโทไซยานินหลักที่พบในข้าวหอมนิลเป็น 2 ชนิด ได้แก่ cyanidin 3-glucoside และ peonidin 3-glucoside (Figure 1) โดยพบ cyanidin 3-glucoside ประมาณ 150.81 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (Sutharut, & Sudarat, 2012)

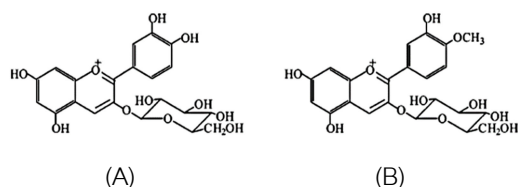


Figure 1 Chemical structure of cyanidin 3-glucoside (A) and peonidin 3-glucoside (B) (Hu, Zawistowski, Ling, & Kitts, 2003).

แป้ง (flour) ได้จากการนำวัตถุดิบทางการเกษตรมาผ่านกระบวนการไม่ บด หรือตีจนละเอียด กลายเป็นผงแป้ง อาทิแป้งข้าว (rice flour) เป็นแป้งที่ได้จากการไม่เมล็ดข้าวให้ละเอียด วัตถุดิบที่ใช้ในการ

ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะเป็นข้าวหักหรือปลายข้าว (Srirod, & Piyajomkhawn, 2000) โดยแบ่งจากวัตถุดิบแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติไม่เหมือนกันขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ เช่น ข้าวแบ่งข้าวเจ้าทำมาจากข้าวเจ้า มีคุณสมบัติเมื่อสุกแล้วทิ้งให้เย็นจะจับตัวเป็นก้อน เหมาะที่จะใช้ประกอบอาหารที่ต้องการความอยู่ตัว ร่วน ไม่เหนียวเหนียว ข้าวเหนียวทำมาจากข้าวเหนียว มีคุณสมบัติเมื่อสุกจะมีลักษณะขุ่นข้น เหนียวเหนียว จับตัวเป็นก้อนค่อนข้างเหนียว นิยมผสมกับอาหารที่ต้องการความเหนียวเกาะตัว แบ่งมันสำปะหลังทำมาจากหัวมันสำปะหลัง เมื่อทำให้สุกจะมีลักษณะเหลว เหนียวเหนียว นิยมผสมกับอาหารที่ต้องการความเหนียวใสหรือในบางครั้งเพื่อเพิ่มความเหนียวนุ่ม (Sandoval, Gordillo, Valencia, Vargas Zapata, & Agudelo Henao, 2014)

แบ่งดัดแปร คือ แบ่งที่ถูกปรับเปลี่ยน ดัดแปรคุณสมบัติทางเคมี หรือคุณสมบัติทางกายภาพจากเดิมด้วยความร้อน เอนไซม์ หรือสารเคมี เพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มากขึ้น (Srirod, & Piyajomkhawn, 2000) การดัดแปรสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้ง ทำให้แป้งมีความพร้อมในการทำปฏิกิริยาได้ดีมากขึ้น ในอดีตแป้งดิบมีสมบัติบางประการไม่เหมาะสมกับการผลิตในอุตสาหกรรม เช่น เจลแป้งเมื่อสุกมีช่วงความหนืดที่แคบ มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่ดี มีความคงทนต่อแรงเฉือนในกระบวนการผลิตหรือความคงทนต่ออุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพต่ำ และสิ้นเปลืองในกระบวนการผลิตโดยไม่จำเป็น ปัจจุบันได้มีการดัดแปรคุณสมบัติบางประการของแป้งดิบ เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งาน เช่น ทำให้เจลแป้งเมื่อสุกมีเนื้อสัมผัสที่ดีขึ้น คงทนต่อสภาวะ

ความร้อนหรือแรงเฉือนจากการกวนในการผลิต มีการเกิดเจลาติไนซ์ (gelatinization) ได้ดีขึ้น มีความคงตัวในการขึ้นรูปจากเยือกแข็ง (freeze-thaw) เพิ่มขึ้น ลักษณะของเนื้อเจลาตีขึ้น มีคุณสมบัติความเป็นกาวยเพิ่มขึ้น มีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) หรือสามารถในการผสมกับตัวทำละลายอื่นๆ เพิ่มขึ้น รวมถึงการคืนตัว (retrogradation) และการสูญเสีย น้ำของเจลลดน้อยลง (syneresis) (Biliaderis, 2009)

แป้งพรีเจลาติไนซ์ เป็นแป้งที่ผ่านกระบวนการดัดแปรทางกายภาพ (physical modification) โดยให้ความร้อนแก่น้ำแป้งจนผ่านขั้นตอนของการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) แล้วทำให้แห้งทันที การทำให้สตาร์ชเกิดเจลาติไนเซชันอย่างสมบูรณ์แล้วจึงนำมาทำแห้ง สตาร์ชพรีเจลาติไนซ์สามารถละลายได้แม้ในน้ำเย็น แต่ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีกเมื่อนำไปให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่ง กระบวนการผลิตพื้นฐานสำหรับการผลิตสตาร์ชพรีเจลาติไนซ์ทางการค้า คือ การใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) โดยการนำน้ำแป้งหรือสตาร์ชมาให้ความร้อนโดยผ่านลูกกลิ้งที่มีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำและหมุนสวนทางกัน กระบวนการนี้ทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาติไนเซชันอย่างรวดเร็ว และถูกทำให้แห้งเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ หลังจากนั้นจึงนำมาบดเป็นผง (BeMiller, & Huber, 2015) กระบวนการผลิตแป้งพรีเจลาติไนซ์โดยทั่วไปทำให้เกิดการแตกสลาย (fragment) ของสายพอลิเมอร์สตาร์ชโดยเฉพาะอย่างยิ่งอะไมโลเพกติน เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดลักษณะเหนียวเหนอะ (stickiness) (Miklus, & Hamaker, 2003) เริ่มจากการแพร่ของน้ำเข้าสู่เม็ดแป้ง การพองตัวของเม็ด และการการสูกของแป้ง ทำให้เกิดการสูญเสียลักษณะไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence)

การลดความเป็นผลึก และการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนของแป้ง (Colonna, & Buleon, 2010) แป้งพรีเจลาติไนซ์ จึงสามารถดูดน้ำกลับได้อย่างรวดเร็ว และถูกนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ไม่ต้องปรุงสุกด้วยความร้อนอีกครั้ง หรือเพียงแค่การอุ่นให้ร้อนโดยใช้ระยะเวลาสั้นๆ และเมื่อแป้งพรีเจลาติไนซ์ได้รับความร้อนอีกครั้งจะมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น จึงสามารถนำไปใช้เป็นสารให้ความหนืดในผลิตภัณฑ์อาหาร สามารถกระจายตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีการคนผสมกับน้ำตาล หรือส่วนผสมแห้งอื่นๆ แป้งพรีเจลาติไนซ์ยังถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของอาหารที่มีความชื้นจำกัด ในขนมขบเคี้ยวที่ผ่านกระบวนการอัดผ่านเกลียว นอกจากนี้การผสมแป้งพรีเจลาติไนซ์แป้งเค็กลำไยรูปทำให้เนื้อเค็กลำไยมีความชุ่มฉ่ำ เนื่องจากแป้งดัดแปรชนิดนี้มีมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) สูง (Lai, 2001)

ที่ผ่านมาได้มีงานศึกษาวิจัยนำแป้งข้าวหอมนิลมาใช้ทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมคุกกี้และขนมมัทฟินโดยระดับที่ทำการทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมนิลได้สูงสุดคือ ร้อยละ 50 และ 75 ตามลำดับ (Rodmui, & Jitwaropas, 2007; Sangkaeo, & Chomkhuntod, 2015) ซึ่งการศึกษาการประยุกต์ใช้ยังจำกัดอยู่ในขนมประเภทอบที่ต้องการความร่วนกรอบ การดัดแปรคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งจากข้าวหอมนิลด้วยกระบวนการพรีเจลาติไนซ์ขึ้นเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเนื้อสัมผัสแบบเจลอ่อนนุ่ม แต่มีความคงตัวได้ดี เป็นการส่งเสริมให้มีการใช้แป้งข้าวหอมนิลที่มีสารกลุ่มแอนโทไซยานินในผลิตภัณฑ์ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ผลิตอาหาร

ได้หลากหลายมากขึ้น แต่เนื่องจากความร้อนที่ใช้ในกระบวนการพรีเจลาติไนซ์ขึ้น ย่อมส่งผลกระทบต่อคุณค่าสารอาหารที่อุดมไปด้วยสารยับยั้งอนุมูลอิสระของแป้งข้าวหอมนิล งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ให้ได้ซึ่งแป้งที่มีคุณลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม มีความคงตัวดี และยังคงอุดมไปด้วยสารแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

วิธีการศึกษา

1. การเตรียมแป้งข้าวหอมนิล

กระบวนการเตรียมแป้งข้าวหอมนิลดัดแปลงมาจากวิธีของ Ye et al. (2016) ทำการคัดเลือกเมล็ดข้าวหอมนิลที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ นำมาทำความสะอาด กำจัดเศษหิน กรวด ที่เจือปนออก จากนั้นนำมาโม่ด้วยเครื่องโม่แป้งแบบแห้ง และบดให้ละเอียดอีกครั้ง ด้วยเครื่องบดไฟฟ้า ultra-centrifugal mill (Retsch รุ่น ZM 200) ทำการร่อนแป้งที่ได้ผ่านชุดตะแกรงมาตรฐานที่ความละเอียดขนาด 35, 60, 80 และ 100 mesh ตามลำดับ แล้วจึงนำแป้งละเอียดที่ได้ทำการบรรจุลงปิณฑึญญากาศ และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ระหว่างรอเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงการนำไปผ่านดัดแปรคุณภาพของแป้งด้วยกระบวนการพรีเจลาติไนซ์

2. การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวหอมนิลต่อน้ำ

ทำการผสมแป้งข้าวหอมนิลมาผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 50:90, 50:100

50:115 และ 50:125 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้น นำน้ำแป้งมาทำแห้งตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Narklaor, Sangnark, & Limroongreungra (2011) โดยการ หยอดน้ำแป้ง 15 มิลลิลิตร ลงในเครื่องทำแห้งแบบ ลูกกลิ้งคู่ (drum dryer) ที่ประกอบด้วยลูกกลิ้งขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 19 เซนติเมตร ยาว 26 เซนติเมตร ที่หมุนสวนทางกัน โดยตั้งค่าความดันไอน้ำเท่ากับ 40 ลูกบาศก์ลิตรต่อตารางนิ้ว ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง ทั้งสองเป็น 0.25 มิลลิเมตร โดยใช้อุณหภูมิที่ผิวหน้า ลูกกลิ้งเป็น 120 องศาเซลเซียส และกำหนดความเร็ว รอบของลูกกลิ้งเป็น 12 รอบต่อนาที จากนั้นทำการชั่ง น้ำหนักของแป้งที่ได้หลังการทำแห้งของแต่ละอัตราส่วน และคำนวณหาร้อยละผลผลิตที่ได้ (%yield) เพื่อ พิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวหอม นิลต่อน้ำในการผลิตแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์

3. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง ด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่

ในการทดลองใช้การวางแผนการทดลอง แบบสุ่มสมบูรณ์ CRD ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมใน การผลิตแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ 6 สิ่งทดลองที่ ผลิตด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ในสภาวะ ที่แตกต่างกัน 6 สภาวะ เปรียบเทียบกับตัวอย่าง แป้งควบคุม 2 ชนิด ได้แก่ แป้งข้าวเจ้าทางการค้า (ตราช้างสามเศียร) และแป้งข้าวหอมนิล ดังแสดงใน (Table 1) การผลิตแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ เริ่มต้น จากการเตรียมละลายแป้งหอมนิลตามอัตราส่วน ที่เหมาะสมของแป้งข้าวหอมนิลต่อน้ำ จากข้อ 2 และ ทำการหยอดน้ำแป้ง 15 มิลลิลิตร ลงในเครื่องทำแห้ง แบบลูกกลิ้งคู่ที่ทำการตั้งค่าตามแต่ละสภาวะที่ กำหนด แล้วนำแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ที่ได้ไป ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี กายภาพ และฤทธิ์ ด้านอนุมูลอิสระ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม สองชนิดคือแป้งข้าวเจ้าทางการค้า (RF) และแป้ง ข้าวหอมนิล (HF)

Table 1 Treatments of this study including rice flour, Hom Nil flour and pre-gelatinized Hom Nil flour produced with different temperatures and rotation speeds.

treatments	sample	temperature (°C)	rotation speed (rpm)
RF	rice flour		
HF	Hom Nil flour		
PHF1	pre-gelatinized Hom Nil flour	120	12
PHF2	pre-gelatinized Hom Nil flour	120	18
PHF3	pre-gelatinized Hom Nil flour	130	12
PHF4	pre-gelatinized Hom Nil flour	130	18
PHF5	pre-gelatinized Hom Nil flour	140	12
PHF6	pre-gelatinized Hom Nil flour	140	18

4. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแป้ง

ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า กากใย และคาร์โบไฮเดรต (Association of Official Agricultural Chemists, 2000) ของแป้งข้าวหอมชนิด แป้งข้าวหอมชนิดดัดแปรที่ผลิตได้ และแป้งข้าวเจ้าทางการค้า (ตราช้างสามเศียร)

5. การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพของแป้ง

นำแป้งข้าวหอมชนิด แป้งข้าวหอมชนิดดัดแปรที่ผลิตได้ และแป้งข้าวเจ้าทางการค้า (ตราช้างสามเศียร) มาทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี (L^* , a^* , b^*) พฤติกรรมความหนืด (viscosity profile) ดัชนีการดูดซับน้ำ และดัชนีการละลาย ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1 ค่าสี

ทำการวิเคราะห์ค่าสีของแป้ง ด้วยเครื่องวัดสีระบบ CIE (L^* , a^* , b^*) ด้วยเครื่องวิเคราะห์สี Spectrophotometer (Konica Minolta รุ่น CM-3500d)

5.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมความหนืด

(viscosity profile)

ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมความหนืดของแป้ง ด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer, RVA (Tecmaster Newport Scientific) โดยดัดแปลงวิธีจาก Varavinit, Shobsngob, Varanyanond, Chinachoti, & Naivikul (2002) ตั้งโปรแกรมการแบบ standard profile โดยเริ่มต้นการทำงานที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ที่ความเร็ว 960 รอบต่อนาที สำหรับ 10 วินาทีแรก แล้วลดลงเป็น 160 รอบต่อนาที (นาที่ที่ 0-1) จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 95 องศาเซลเซียส (นาที่ที่ 1.00-8.50) และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่อีก 5 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิลงมาถึง 50 องศาเซลเซียส (นาที่ที่ 13.50-

21.00) และควบคุมอุณหภูมิให้คงที่นาน 2 นาที รวมระยะเวลาการทดสอบทั้งหมด 23 นาที บันทึกค่าพฤติกรรมความหนืดของแป้ง

5.3 การวิเคราะห์ร้อยละการดูดซับน้ำและร้อยละการละลาย

ทำการวิเคราะห์ร้อยละการดูดซับน้ำและร้อยละการละลายของตัวอย่างแป้งโดยดัดแปลงวิธีมาจาก Lai (2001) นำแป้ง 2.50 กรัม ใส่ลงในหลอดหมุนเหวี่ยงที่มีฝาและทราบน้ำหนักแน่นอน (W_1) จากนั้นเติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม vortex ทุก 5 นาที (6 รอบ) จากนั้นทำการหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 2,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Sorvall Biofuge Primer) เทส่วนใสออกบันทึกน้ำหนัก (W_2) ทำการคำนวณร้อยละการดูดซับ ดังสมการ (1)

$$Adsorption (\%) = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ W_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงและฝา (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยงและฝาล้างของเหลวใสออก (กรัม)

จากนั้นชั่งน้ำหนักส่วนใสที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง (W_1) เทลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก (W_1) จากนั้นนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ (W_2) ทำการคำนวณร้อยละการละลายน้ำ ดังสมการ (2)

$$\text{Solubility (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{W_i} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ W_i คือ น้ำหนักส่วนใส่ที่ได้จากการหมุนเหวี่ยง (กรัม)

W_1 คือ น้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียม และฝา (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียม และฝาหลังอบ (กรัม)

6. การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้ง

6.1 การเตรียมตัวอย่างสารละลายสำหรับ
การวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้ง

นำแป้งข้าวหอมมะลิสดที่ผลิตได้ แป้งข้าว-
หอมมะลิ และแป้งข้าวเจ้าทางการค้า (ตราช้างสามเศียร)
มาทำการสกัดสารด้วยสารละลายเอทานอล ตามวิธี
ของ Sutharut, & Sudarat (2012) นำสารสกัดที่ได้ใส่
ในขวดสีชา และเก็บไว้อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

และทำการเจือจางตัวอย่างสารสกัดจากแป้ง 20 เท่า
ก่อนใช้

6.2 การหาปริมาณแอนโทไซยานิน

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณแอนโทไซยานินของ
สารสกัดที่ได้จากแป้ง ตามวิธีของ Sutharut, & Sudarat
(2012) โดยเจือจางตัวอย่างด้วยสารละลาย KCl
buffer pH 1.0 หรือ สารละลาย CH_3COONa pH 4.50
และตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที ก่อนทำ
การวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 และ
700 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นเป็น blank คำนวณ
ปริมาณแอนโทไซยานินในรูป cyanidin-3-glucoside
โดยคำนวณหาค่า monomeric anthocyanin pigment
ดังสมการ (3)

$$\text{Monomeric anthocyanin pigment (mg/g)} = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{e} \quad (3)$$

โดยที่ A คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดเจือจาง มาจาก

$(A_{520} - A_{700})$ KCl pH 1.0- $(A_{520} - A_{700})$ CH_3COONa pH 4.5

MW คือ น้ำหนักโมเลกุลของ cyanidin -3-glucoside เท่ากับ 449.2

DF (dilution factor) คือ 15 (สารสกัดปริมาณ 0.2 mL เจือจางด้วยสารละลาย 2.8 mL จนปริมาตร
สุดท้ายเท่ากับ 3 mL)

e คือ ค่าโมลาร์ แอ็บซอร์บติวิตี เท่ากับ 26900

6.3 การวิเคราะห์การยับยั้งสารอนุมูลอิสระ
2,2-diphenyl-1-picryl hydrazyl radical (DPPH)

ทำการวิเคราะห์การยับยั้งสารอนุมูลอิสระ
DPPH ของสารสกัดที่ได้จากแป้ง ตามวิธีของ Sutharut,
& Sudarat (2012) โดยใช้ DPPH ความเข้มข้น 0.20
ไมโครโมลต่อลิตร ในสารละลายเอทานอลผสมกับ
ตัวอย่าง บ่มในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที และนำไปวัด

ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร
คำนวณร้อยละการยับยั้งดังสมการ (4)

$$\% \text{Scavenging} = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ A_c คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง
สารละลาย DPPH ผสมเอทานอล

A_s คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารละลาย DPPH ผสมสารละลายกรดแอสคอร์บิก หรือ สารสกัดแบ่งเจือจาง

ทำการเปรียบเทียบระดับการยับยั้งของสารสกัดตัวอย่าง กับกราฟการยับยั้งสารอนุมูลอิสระของกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

6.4 การวิเคราะห์การยับยั้งสารอนุมูลอิสระ 2, 2-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt (ABTS)

ทำการวิเคราะห์การยับยั้งสารอนุมูลอิสระ ABTS ของสารสกัดที่ได้จากแป้ง ตามวิธีของ Sutharut, & Sudarat (2012) โดยเตรียมสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลต่อลิตร ผสมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลต่อลิตร ในอัตราส่วน 2:3 เก็บไว้ที่มีดเป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นก่อนใช้ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 729 นาโนเมตร ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 0.9-1.0 จากนั้นทำการผสมสารทดสอบ ABTS กับตัวอย่างสารสกัดแบ่งเจือจาง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 729 นาโนเมตร ภายใน 5 นาที คำนวณร้อยละการยับยั้งดังสมการ (5)

$$\%Scavenging = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ A_c คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารทดสอบ ABTS ผสมเอทานอล
 A_s คือ ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารทดสอบ ABTS ผสมสารละลายกรดแอสคอร์บิก หรือ สารสกัดแบ่งเจือจาง

ทำการเปรียบเทียบระดับการยับยั้งของสารสกัดตัวอย่าง กับกราฟการยับยั้งสารอนุมูลอิสระของกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

7. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ นำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (two-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยเปรียบเทียบความแตกต่างแบบวิธี Duncan's multiple range test (DMRT) เปรียบเทียบกับแป้งข้าวหอมนิลที่ไม่ผ่านการพรีเจลาตในเซชัน (Ritthiruangdej, 2018)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของแป้งข้าวหอมนิลต่อน้ำในการทำแห้งที่อัตราส่วน 50:90 50:100 50:115 และ 50:125 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ซึ่งทุกความเข้มข้นจะผ่านการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) ซึ่งกำหนดความดันไอน้ำเท่ากับ 40 ลูกบาศก์ลิตรต่อตารางนิ้ว ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองเป็น 0.25 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 120 องศาเซลเซียส และกำหนดความเร็วรอบของลูกกลิ้งเป็น 12 รอบต่อนาที พบว่าที่อัตราส่วนของแป้งต่อน้ำ 50:90 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร น้ำแป้งมีความชื้นเหนียวมาก ทำให้แป้งไหลช้าเมื่อหยอดลงในเครื่องทำแห้งน้ำทำให้ได้แผ่นแป้งที่มีความหนา แข็งไม่สนิทและติดที่ผิวหน้าลูกกลิ้งทำให้เกิดการสูญเสียของแป้งจำนวนมาก แต่ที่อัตราส่วนของแป้งต่อน้ำ 50:100 50:115 และ 50:125 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร น้ำแป้งมีการไหลดีสามารถหยอดได้ง่าย โดยที่อัตราส่วนของ

แป้งต่อน้ำ 50:100 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แผ่นแป้งที่ได้สมบูรณ์ มีลักษณะแห้งและบางสม่ำเสมอ โดยใช้เวลาในการทำแห้งน้อยที่สุดคือ 6.14 นาที และให้ผลผลิตสูงสุดที่ร้อยละ 77 เมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราส่วนอื่นๆ (Table 2) ดังนั้นที่อัตราส่วนของแป้งต่อน้ำ 50:100 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรจึงเป็นอัตราส่วนที่ดีที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาอุณหภูมิ และความเร็วรอบในการทำแห้งต่อไป

Table 2 Processing time (min) and yield (%) of pre-gelatinized Hom Nil flour with different ratio of flour and water.

ratio of flour and water (w/v)	processing time (min)	yield (%)
50:90	7.15	63
50:100	6.14	77
50:115	7.16	72
50:125	8.10	72

1. องค์ประกอบทางเคมีของแป้งหอมนิลพรีเจลเลตไนซ์ เปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้า และข้าวหอมนิลผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า (ตราช้างสามเศียร) แป้งข้าวหอมนิล (ไม่แป้งแบบแห้ง) และแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลเลตไนซ์ (ที่ได้จากการนำน้ำแป้งไปให้ความร้อนจนเปลี่ยนสภาพเป็นเจลและถูกทำให้แห้งในขั้นตอนเดียวด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง) (Table 3) พบว่าแป้งข้าวหอมนิล และแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลเลตไนซ์ทุกสิ่งทดลองมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า โดยองค์ประกอบทางเคมีของแป้งทุกชนิดประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย ความชื้น ซึ่งมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก ปริมาณของ

องค์ประกอบเหล่านี้จะแตกต่างกันขึ้นกับพืช ชนิดพืช และพันธุ์พืช (Furukawaka et al., 2006) อาจสรุปได้ว่าแป้งข้าวหอมนิล และแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลเลตไนซ์มีปริมาณสารอาหารได้แก่ โปรตีน ไขมัน วิตามิน แร่ธาตุ และเส้นใย สูงกว่าแป้งข้าวเจ้า นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งข้าวเจ้ามีปริมาณความชื้นของสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 10.48 รองลงมาคือแป้งข้าวหอมนิลเท่ากับร้อยละ 8.14 และแป้งทั้งสองชนิดถึงมีปริมาณความชื้นสูงกว่าแป้งข้าวหอมนิลที่ผ่านกระบวนการพรีเจลเลตไนซ์เป็นเท่าตัว (Table 3) โดยที่แป้งข้าวหอมนิลที่ผ่านกระบวนการพรีเจลเลตไนซ์ด้วยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบ 12 และ 18 รอบต่อนาที มีปริมาณร้อยละความชื้นเท่ากับ 2.50 และ 1.66 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าแป้งข้าวหอมนิลที่ผ่านกระบวนการพรีเจลเลตไนซ์ด้วยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิ 130 และ 140 องศาเซลเซียส โดยหลักการแล้วความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าควรจะไล่ความชื้นออกจากตัวอย่างได้มากกว่า ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า แต่ในตัวอย่างอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก หรือน้ำตาลสูงความร้อนที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดการไหม้ที่บริเวณผิวหน้าตัวอย่าง เกิดเป็นแผ่นแข็ง (crust) ซึ่งขัดขวางการระเหยออกของน้ำที่ยังคงอยู่ในอาหารภายใต้ผิวแข็ง (Wachirasiri, Wanlapa, Sithisam-ang, & Suwannathap, 2010) องค์ประกอบทางเคมีมีความสำคัญที่จะบ่งบอกคุณสมบัติของแป้ง เนื่องด้วยองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันทำให้แป้งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน อาทิเช่น โปรตีนที่มีอยู่ในผิวชั้นนอกเมล็ดข้าวกล้องจะทำให้ข้าวกล้องสุกมีความร่วนแข็งมากขึ้น ไขมันในแป้งที่ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่ม ชุ่มชื้น หรือเส้นใยจะทำให้แป้งมีความร่วนมากขึ้น (Han, Benmoussa, Gray, BeMiller, & Hamaker, 2005)

Table 3 Chemical composition of rice flour (RF), Hom Nil flour (HF) and pre-gelatinized Hom Nil flour produced with different temperatures and rotation speeds.

treatment	chemical composition (% wet basis)					
	moisture	protein	fat	ash	fiber	carbohydrate
RF	11.71±0.18 ^a	7.54±0.17 ^c	0.17±0.12 ^e	0.41±0.06 ^b	1.0±0.13 ^c	79.16±0.38 ^c
HF	8.86±0.02 ^b	8.53±0.38 ^b	3.31±0.20 ^a	1.42±0.10 ^a	1.64±0.53 ^{ab}	76.24±0.86 ^d
PHF1	2.50±0.05 ^f	9.43±0.25 ^a	2.03±0.93 ^{bc}	1.87±0.93 ^a	1.42±0.24 ^b	82.76±0.98 ^{ab}
PHF2	1.66±0.14 ^g	9.50±0.25 ^a	1.92±0.29 ^c	1.35±0.29 ^a	1.94±0.36 ^b	83.64±1.15 ^a
PHF3	4.34±0.13 ^c	9.29±0.25 ^{ab}	1.63±0.20 ^d	1.45±0.20 ^a	2.16±0.53 ^a	81.14±0.82 ^c
PHF4	3.94±0.06 ^d	8.90±0.25 ^{ab}	1.63±0.25 ^d	1.38±0.25 ^a	1.81±0.36 ^{ab}	82.35±0.33 ^{abc}
PHF5	3.87±0.10 ^d	8.78±0.25 ^{ab}	2.20±0.27 ^b	1.68±0.27 ^a	1.72±0.02 ^{ab}	81.77±0.17 ^{bc}
PHF6	3.31±0.05 ^e	9.52±0.25 ^{ab}	2.06±0.14 ^{bc}	1.42±0.14 ^a	1.71±0.16 ^{ab}	81.99±0.65 ^{bc}

Note: The different letters in the same column mean significantly different ($p < 0.05$).

2. สี ความสามารถในการดูดซับ และละลายน้ำ ของแป้งหอมชนิดพรีเจลาติไนซ์ เปรียบเทียบกับ แป้งข้าวเจ้าและข้าวหอมชนิด

ผลการวิเคราะห์ค่าสีระบบ CIE ของแป้งข้าวเจ้า (ตราช้างสามเศียร) แป้งข้าวหอมชนิด (ไม่แป้งแบบแห้ง) และแป้งข้าวหอมชนิดพรีเจลาติไนซ์ (Table 4) พบว่าค่าความสว่าง (lightness: 0-100) ของแป้งข้าวเจ้า สูงสุด (95.74) รองลงมาคือ แป้งข้าวหอมชนิด (69.99) และแป้งข้าวหอมชนิดพรีเจลาติไนซ์ PHF 2 (58.08) ส่วนค่าความเป็นสีแดง (redness: -a,+a) พบว่าแป้งข้าวหอมชนิดพรีเจลาติไนซ์ PHF 3, 4, 5 และ 6 ที่ผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 130 และ 140 องศาเซลเซียสมีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) รองลงมาคือ แป้งข้าวหอมชนิดพรีเจลาติไนซ์ PHF 1 และ 2 ซึ่งผ่านความร้อนที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และแป้งข้าวหอมชนิด (HF) ตามลำดับ โดยแป้งข้าวเจ้า (RF) มีค่าความเป็นสีแดงต่ำที่สุด (-0.24) เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีสีชาวจึงมีค่าความ

สว่างสูงมาก และมีค่าสีแดงต่ำมาก ต่างกับแป้งข้าวหอมชนิดที่เป็นผงสีม่วงจึงมีค่าความเป็นสีแดงที่สูงกว่า และเมื่อแป้งข้าวหอมชนิดได้รับความร้อนขณะผ่านกระบวนการพรีเจลาติไนซ์ จึงทำให้เปลี่ยนเป็นผงสีม่วงเข้มมากขึ้นเมื่อระดับอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้ค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น และความสว่างลดลง

ผลการวิเคราะห์ร้อยละการดูดซับของแป้งข้าวเจ้า (ตราช้างสามเศียร) แป้งข้าวหอมชนิด (ไม่แป้งแบบแห้ง) และแป้งข้าวหอมชนิดพรีเจลาติไนซ์ (Table 4) พบว่าแป้งข้าวเจ้ามีร้อยละการดูดซับน้ำต่ำที่สุดมีค่าเท่ากับ 1.77 โดยแป้งข้าวหอมชนิดมีค่าร้อยละการดูดซับน้ำต่ำกว่าแป้งข้าวหอมชนิดพรีเจลาติไนซ์ โดยตัวอย่างแป้งข้าวหอมชนิดพรีเจลาติไนซ์ PHF 3 ซึ่งกำหนดอุณหภูมิและความเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งเท่ากับ 130 องศาเซลเซียส และ 12 รอบต่อนาที มีค่าร้อยละการดูดซับน้ำสูงที่สุดคือร้อยละ 2.61 สรุปได้ว่าแป้งข้าวหอมชนิดมีความสามารถในการดูดซับน้ำดีกว่าแป้งข้าวเจ้า

และมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อผ่านกระบวนการพรี-เจลาติไนซ์ สอดคล้องกับรายงานของ Lai (2001) ซึ่งพบว่า แป้งข้าวเจ้าพรีเจลาติไนซ์มีดัชนีการดูดซับน้ำสูงกว่าตัวอย่างควบคุม เนื่องจากกระบวนการพรีเจลาติไนซ์ ทำให้เม็ดแป้งมีขนาดเล็กลงกลายเป็นอนุภาคนาขนาดเล็ก

จำนวนมาก ซึ่งทำให้มีพื้นที่ผิวของเม็ดแป้งในการสัมผัส และดูดซับกับน้ำได้มากขึ้น และด้วยเหตุผลเดียวกันนี้ จึงทำให้แป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์มีค่าดัชนีการละลายสูงกว่าของแป้งข้าวหอมนิล (ไม่แป้งแบบแห้ง) และแป้งข้าวเจ้า (ตราช้างสามเศียร) ตามลำดับ (Table 4)

Table 4 Colors, water absorption and solubility of rice flour (RF), Hom Nil flour (HF) and pre-gelatinized Hom Nil flour produced with different temperatures and rotation speeds.

treatment	colors			absorption (%)	solubility (%)
	lightness (L*)	redness (a*)	yellowness (b*)		
RF	95.74±0.07 ^a	-0.24±0.00 ^e	3.34±0.62 ^a	1.77±0.20 ^g	1.88±0.60 ^c
HF	69.99±0.89 ^b	3.59±0.62 ^d	3.40±0.12 ^a	2.12±0.00 ^f	2.99±0.71 ^b
PHF1	55.96±0.46 ^d	5.99±0.02 ^b	2.62±0.02 ^d	2.27±0.01 ^d	3.79±0.59 ^{ab}
PHF2	58.08±0.23 ^c	5.77±0.03 ^c	2.59±0.01 ^d	2.27±0.01 ^d	3.72±0.51 ^{ab}
PHF3	54.34±0.69 ^d	6.31±0.09 ^a	2.90±0.02 ^c	2.61±0.01 ^a	3.39±0.42 ^{ab}
PHF4	55.34±0.32 ^d	6.29±0.22 ^a	2.88±0.11 ^c	2.43±0.01 ^c	4.07±0.25 ^a
PHF5	55.43±0.20 ^d	6.42±0.04 ^a	3.08±0.01 ^b	2.20±0.11 ^e	3.56±0.53 ^{ab}
PHF6	55.35±0.62 ^d	6.37±0.03 ^a	3.06±0.07 ^b	2.50±0.06 ^b	3.09±0.40 ^{ab}

Note: The different letters in the same column mean significantly different ($p < 0.05$).

3. พฤติกรรมความหนืดของแป้งหอมนิลพรี-เจลาติไนซ์ เปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้าและข้าวหอมนิล

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวเจ้า (ตราช้างสามเศียร) แป้งข้าวหอมนิล (ไม่แป้งแบบแห้ง) และแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ (Table 5) พบว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวหอมนิลแสดงผลพฤติกรรมความหนืดแตกต่างกันอย่างมาก และกระบวนการพรีเจลาติไนซ์ขั้นที่ใช้ในการทดลองทั้ง 6 สภาวะ ได้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งข้าวหอมนิลเช่นกัน อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) ซึ่งแสดงถึงอุณหภูมิที่ทำให้แป้งเกิดการพองตัวมีค่าเท่ากับของแป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวหอมนิล และแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ PHF 6 เท่ากับ 73.90, 64.22 และ 55.60 ตามลำดับ โดยที่แป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ทุกสิ่งทดลองมีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดไม่แตกต่างกัน ($p < 0.05$) แสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ทุกสิ่งทดลองมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่อุณหภูมิต่ำกว่า และเกิดการพองตัวได้ดีกว่าแป้งข้าวหอมนิล และแป้งข้าวเจ้า ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวเจ้ามีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มากกว่าแป้งข้าวหอมนิล และแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการถึงจุดที่ความหนืดสูงสุด (peak time) หรือจุดที่เม็ด

สสารของตัวเต็มที่มีนานที่สุดเช่นกัน แสดงว่าแป้งข้าวเจ้ามีความสามารถในการทำให้ข้นหนืด (thickening power) สูงกว่าแป้งข้าวหอมนิล และแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ ส่วนค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) เป็นค่าที่บ่งชี้ลักษณะของน้ำแป้งเมื่อแป้งเย็นตัวลง ซึ่งบ่งชี้ถึงลักษณะของแป้งเมื่อผ่านการให้ความร้อน และทำให้เย็นว่าจะมีลักษณะเป็นแป้งเปียกหรือเจล (Phuphechr, Suwonsichon, & Limanond, 2009)

จากการศึกษาพบว่าทั้งแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวหอมนิล และแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ มีค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) มากกว่าค่าความหนืดต่ำสุด (trough) นั้นแสดงว่าแป้งมีลักษณะเป็นเจล (Aphichachan, & Jiamyangyuen, 2006) โดยแป้งข้าวเจ้าจะให้ลักษณะเจลที่แข็ง ในขณะที่แป้งข้าวหอมนิล และแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ จะให้ลักษณะเจลที่อ่อนหรือเจลที่นิ่มกว่า

Table 5 Viscosity properties of rice flour (RF), Hom Nil flour (HF) and pre-gelatinized Hom Nil flour produced with different temperatures and rotation speeds.

treatment	peak viscosity (RVU)	trough (RVU)	breakdown (RVU)	final viscosity (RVU)	setback (RVU)	peak time (min)	pasting temp. (°C)
RF	4464.33±61.37 ^a	3338.67±67.12 ^a	1125.67±11.15 ^a	6983.67±64.70 ^a	3646.50±9.19 ^a	6.35±0.04 ^a	73.90±0.52 ^a
HF	1138.33±10.26 ^c	507.00±13.00 ^b	631.33±18.56 ^d	997.67±18.77 ^b	490.67±5.86 ^b	5.29±0.03 ^b	64.22±0.41 ^b
PHF1	1330.33±77.02 ^b	357.67±12.06 ^c	927.67±65.21 ^b	683.33±23.71 ^c	325.67±11.68 ^c	2.22±0.34 ^f	55.53±0.06 ^c
PHF2	1179.33±7.02 ^c	341.33±7.09 ^d	838.00±13.00 ^c	643.00±8.89 ^d	301.67±2.08 ^d	4.11±0.14 ^{de}	55.48±0.06 ^c
PHF3	573.67±23.46 ^e	268.67±7.77 ^f	305.00±17.32 ^e	529.67±5.77 ^f	261.00±2.65 ^f	4.73±0.12 ^{cd}	55.55±0.05 ^c
PHF4	557.33±18.58 ^e	263.33±8.50 ^f	294.00±19.31 ^e	529.67±6.03 ^f	266.33±2.52 ^f	4.91±0.03 ^c	56.22±1.15 ^c
PHF5	929.67±6.66 ^d	318.00±2.65 ^e	611.67±7.09 ^d	610.33±3.79 ^e	292.33±1.15 ^{de}	1.49±0.08 ^f	55.55±0.05 ^c
PHF6	910.67±4.16 ^d	317.00±6.00 ^e	593.67±6.43 ^d	603.67±2.31 ^e	286.67±4.16 ^e	4.29±0.03 ^{ef}	55.60±0.10 ^c

Note: The different letters in the same column mean significantly different ($p < 0.05$).

นอกจากนี้ค่าผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) เป็นค่าที่แสดงถึงการคืนตัวของแป้งหลังการทำให้เย็น (retrogradation) ซึ่งค่านี้จะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยถ้ามีค่า setback มาก จะเกิดการคืนตัวของแป้งมาก และมีแนวโน้มที่จะให้เจลแป้งที่แข็งมาก ขณะที่แป้งที่มีการคืนตัวน้อยกว่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะนุ่มกว่าสอดคล้องกับผลการศึกษาของในการศึกษาพฤติกรรมด้านความหนืดและคุณสมบัติทางกล

ของแป้งเท้ายายม่อมเปรียบเทียบกับแป้งอื่นๆ พบว่าแป้งมีค่าความหนืดสุดท้ายมากกว่าค่าความหนืดต่ำสุดเมื่อผ่านการให้ความร้อน และทำให้เย็นจะมีลักษณะเป็นเจลที่อ่อนนุ่ม ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้กับขนมไทยที่ต้องการลักษณะของเจลอ่อนนุ่ม เช่น ขนมชั้น ขนมเปียกปูน (Ritthiruangdej, Suwonsichon, Haruthaithanasan, & Srirod, 2000)

4.ฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระของแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ เปรียบเทียบกับแป้งข้าวเจ้าและข้าวหอมนิล

ข้าวหอมชนิดมีสีม่วงดำ เป็นการรวมกันของ สารสีประกอบไปด้วยสารสีม่วงเข้ม (cyanidin) สีชมพูอ่อน (peonidin) และสีน้ำตาล (procyanidin) ผสมกัน ซึ่งเป็นสารประกอบกลุ่ม flavonoid ที่เรียกว่า สารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ซึ่งทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระ (Tang et al., 2016; Pajareon, 2019) ผลการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวเจ้า (ตราช้างสามเศียร) แป้งข้าวหอมชนิด (ไม่แป้งแบบแห้ง) และแป้งข้าวหอมชนิดพรีเจลลาติไนซ์ (Table 6) พบว่า แป้งข้าวหอมชนิดมีปริมาณสารแอนโทไซยานินสูงที่สุด โดยไม่แตกต่างกับแป้งข้าวหอมชนิดพรีเจลลาติไนซ์ PHF 1, 3 และ 5 ($p>0.05$) แต่มากกว่าแป้งข้าวเจ้า สอดคล้องกับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง พบว่า การได้รับความร้อนมากเกินไปจะทำลายสารแอนโทไซยานินในการสกัดกระเจี๊ยบแดงได้ (Narkprasom, Boonmee, Kaewwongsa, Narkprasom, &

Tanongkankit, 2016) และเมื่อวิเคราะห์ฤทธิ์ต้าน สารอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS พบว่าแป้งข้าวหอมชนิดมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด โดยไม่แตกต่างกับแป้งข้าวหอมชนิดพรีเจลลาติไนซ์ PHF 1 ($p>0.05$) แต่มากกว่าแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวหอมชนิดพรีเจลลาติไนซ์ที่ PHF 2, 3, 4, 5 และ 6 แสดงให้เห็นว่า กระบวนการพรีเจลลาติไนซ์ส่งผลต่อฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในกระบวนการพรีเจลลาติไนซ์ชั้น ทำให้เกิดการลดลงของความสามารถต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างแป้งข้าวหอมชนิด สอดคล้องกับการศึกษาวิจัยต่างๆ ที่พบว่าความร้อนจากการทำแห้ง และกระบวนการผลิตส่งผลทำให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผลิตภัณฑ์ลดลง (Keeratiburana, & Srijesdaruk, 2011; Punfujinda, Chumkaew, Gaveevangso, Atthatham, & Suttapong, 2019; Purintraphiban, & Poonpaerdchon, 2020)

Table 6 Anthocyanidin contents and antioxidant properties of rice flour (RF), Hom Nil flour (HF) and pre-gelatinized Hom Nil flour produced with different temperatures and rotation speeds.

treatment	anthocyanidin contents	antioxidant properties	
	(mg/g)	DPPH (%)	ABTS (%)
RF	2.96±0.43 ^e	3.87±0.07 ^e	21.15±0.35 ^e
HF	66.18±1.70 ^a	8.97±0.12 ^a	29.63±0.95 ^a
PHF1	60.81±1.01 ^b	5.91±0.21 ^b	25.14±0.57 ^b
PHF2	58.06±4.43 ^{bc}	4.20±0.699 ^e	21.47±0.16 ^{de}
PHF3	65.45±3.87 ^a	5.69±0.32 ^{bc}	22.86±0.93 ^c
PHF4	52.42±1.23 ^c	5.14±0.27 ^{cd}	22.53±0.09 ^{cd}
PHF5	64.30±2.07 ^{ab}	4.95±0.14 ^{cd}	21.93±0.41 ^{cde}
PHF6	59.77±7.44 ^b	4.54±0.66 ^{de}	21.17±0.53 ^e

Note: The different letters in the same column mean significantly different ($p<0.05$).

สรุป

แป้งข้าวหอมนิลมีคุณค่าทางโภชนาการ โดยเฉพาะโปรตีนสูง และมีสารแอนโทไซยานิน 65.45 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม การปรับปรุงสมบัติของแป้งข้าวหอมนิลด้วยวิธีการดัดแปรทางกายภาพ (physical modification) โดยการให้ความร้อนแก่น้ำแป้งจนผ่านขั้นตอนของการเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization) แล้วทำให้แห้งทันที โดยใช้เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer) พบว่าความร้อน และความเร็วรอบของลูกกลิ้งในกระบวนการพรีเจลาตินไนซ์ส่งผลต่อคุณภาพของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาตินไนซ์ดังนี้ จากการสูญเสียความชื้นด้วยความร้อนจากกระบวนการพรีเจลาตินไนซ์ส่งผลต่อสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแป้งจึงทำให้ปริมาณโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น รวมถึงการพรีเจลาตินไนซ์ช่วยให้แป้งข้าวหอมนิลมีความสามารถในการดูดซับ และการละลายน้ำได้ดีขึ้น นอกจากนี้จากการติดตามพฤติกรรมความหนืดพบว่ากระบวนการพรีเจลาตินไนซ์ส่งผลต่อความสามารถในการคงทนต่ออุณหภูมิ และการกวนแป้งสูงที่มีการคั้นตัวต่ำ และเมื่อผ่านการให้ความร้อน และทำให้เย็นจะมีลักษณะเป็นเจลที่อ่อนนุ่ม อย่างไรก็ตามความร้อน และความเร็วรอบที่มากขึ้นจากกระบวนการพรีเจลาตินไนซ์ส่งผลให้ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของแป้งข้าวหอมนิลลดลง โดยสภาวะที่เหมาะสมในการพรีเจลาตินไนซ์ของแป้งข้าวหอมนิลคือ อัตราส่วนของแป้งต่อน้ำที่ 50:100 กรัมต่อมิลลิกรัม โดยใช้อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วในการหมุนลูกกลิ้ง 12 รอบต่อนาที จากการที่แป้งมีความสามารถในการดูดซับ และการละลายน้ำเพิ่มสูงที่สุด และมีปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้าน

อนุมูลอิสระสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาตินไนซ์ที่สภาวะอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

- Association of Official Agricultural Chemists (AOAC). (2000). *Official Methods of Analysis* (17th Ed.). Gaithersburg, MD, USA: The Association of Official Analytical Chemists.
- Aphichachan, U., & Jiamyangyuen, S. (2006). Production and utilization of pregelatinized rice flour and its application in reduced – fat donut cake. *University of The Thai Chamber of Commerce Journal*, 26(3), 32-45. (in Thai)
- Biliaderis, C. G. (2009). Structural transition and related physical properties of starch. In J. BeMiller, & R. Whistler (Eds.), *Starch* (pp. 293-372). London: Academic.
- Bemiller, J. N., & Huber, K. C. (2015). Physical modification of food starch functionalities. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6, 19-69.
- Colonna, P., & Buleon, A. (2010). Thermal transitions of starches. In Bertolini (Eds.), *Starch: characterization, properties and applications* (pp. 71-102). Boca Raton, Florida: CRC press.
- Furukawaka, S., Tanaka, K., Masumura, T., Ogiwara, Y., Kiyokawa, Y., & Waka, Y. (2006). Influence of rice proteins on eating quality of cooked rice and on aroma and flavor of sake. *Cereal Chemistry*, 83(4), 439-446.
- Han, X. Z., Benmoussa, M., Gray, J. A., BeMiller, J. N., & Hamaker, B. R. (2005). Detection of proteins in starch granule channels. *Cereal Chemistry*, 83(4), 351-355.
- Hu, C., Zawistowski, J., Ling, W., & Kitts, D. D. (2003). Black rice (*Oryza sativa* L. *indica*) pigmented

- fraction suppresses both reactive oxygen species and nitric oxide in chemical and biological model systems. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 51(18), 5271-5277.
- Keeratiburana, T., & Srijesdaruk, V. (2011). Effect of tray drying of germinated brown KDML 105 on bioactive compounds. In *The 12th Graduate Research Conference* (pp. 729-734). Khon Kaen: Khon Kaen University. (in Thai)
- Lai, H. M. (2001). Effects of hydrothermal treatment on the physicochemical properties of pregelatinized rice flour. *Food Chemistry*, 72, 455-463.
- Miklus, M. B., & Hamaker, B. R. (2003). Isolation and characterization of a soluble branched starch fraction from corn masa associated with adhesiveness. *Cereal chemistry*, 80, 693-698.
- Narklaor, D., Sangnark, A., & Limroongreungrat, K. (2011). Improvement in quality of jackfruit seed flour by pregelatinization. *Burapha Science Journal*, 16(1), 12-21. (in Thai)
- Narkprasom, K., Boonmee, N., Kaewwongsa, W., Narkprasom, N., & Tanongkankit, Y. (2016). *The optimal condition for anthocyanin extraction from roselle (Hibiscus sabdariffa L.)* (research report). Chaingmai: Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University. (in Thai)
- Pajareon, S. (2019). Stability of anthocyanin extract from riceberry rice bran encapsulated with rice bran protein concentrate under different pH and heating conditions. *RMUTSB Academic Journal*, 7(2), 205-215. (in Thai)
- Papuphechr, P., Suwonsichon, S., & Limanond, B. (2009). Chemical and physical characteristics of Sinin rice flour and qualities of Sinin rice flour. In *The 47th Kasetsart University Annual Conference* (pp. 20-27). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Plaitho, Y., Kangsadalampai, K., & Sukprasansap, M. (2013). The protective effect of Thai fermented pigmented rice on urethane induced somatic mutation and recombination in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7, 91-98.
- Polthum, P., & Ahromrit, A. (2014). GABA content and antioxidant activity of Thai waxy corn seeds germinated by hypoxia method. *Songklanakarin Journal Science and Technology*, 36(3), 309-316.
- Punfujinda, C., Chumkaew, K., Gaveevangso, A., Atthatham, A., & Suttapong, S. (2019). Effects of ground dried basil leaves on chemical composition and sensory acceptance of bread. *RMUTSB Academic Journal*, 7(2), 192-204. (in Thai)
- Purintrapibhan, S., & Poonpaerdchon, S. (2020). Effect of tea processing on quality and antioxidant properties of gac fruit peel tea. *RMUTSB Academic Journal*, 8(1), 28-38. (in Thai)
- Ritthiruangdej, P. (2018). *Data analysis for research and product development using SPSS*. Bangkok: Vista interprint. (in Thai)
- Ritthiruangdej, P., Suwonsichon, T., Haruthaithanasan, V., & Srirod, K. (2000). Pasting behavior and mechanical properties of Thao Yai Mom flour (*Tacca leontopetaloides Ktze.*). In *The 41th Kasetsart University Annual Conference* (pp. 53-60). Bangkok: Kasetsart University. (in Thai)
- Rodmui, A., & Jitwaropas, O. (2007). Production of cookies using wheat flour partial substituted with Hom Nin rice flour. *Journal of Food Technology Siam University*, 3(1), 37-43. (in Thai)

- Sandoval Gordillo, C. A., Valencia, G. A., Vargas Zapata, R. A., & Agudelo Henao, A. C. (2014). Physicochemical characterization of arrowroot starch (*Maranta arundinacea* Linn) and glycerol/arrowroot starch membranes. *International Journal of Food Engineering*, 10(4), 10-17.
- Sangkaeo, W., & Chomkhuntod, J. (2015). Substitution wheat flour with black jasmine rice flour in healthy muffin products. *Agricultural Science Journal*, 46(36), 705-708. (in Thai)
- Srirod, K., & Piyajomkhawn, K. (2000). *Technology of starch*. Bangkok: Department of Biotechnology, Faculty of Agro-Industry, Kasetsart University. (in Thai)
- Sumczynski, D., Kotásková, E., Družbiková, H., & Mlcek, J. (2016). Determination of contents and antioxidant activity of free and bound phenolics compounds and in vitro digestibility of commercial black and red rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *Food Chemistry*, 211, 239-246.
- Sutharut, J., & Sudarat, J. (2012). Total anthocyanin content and antioxidant activity of germinated colored rice. *International Food Research Journal*, 19(1), 215-221.
- Tang, H., Wang, S., Wang, J., Song, M., Xu, M., Zhang, M., Shen, Y., Hou, J., & Bao, X. (2016). N-hypermannose glycosylation disruption enhances recombinant protein production by regulating secretory pathway and cell wall integrity in *Saccharomyces cerevisiae*. *Scientific Reports*, 6, 1-13.
- Varavinit, S., Shobsngob, S., Varayanond, W., Chinachoti, P., & Naivikul, O. (2002). Freezing and thawing conditions affect the gels of different varieties of rice flour. *Starch/Stärke*, 54, 31-36.
- Wachirasiri, K., Wanlapa, S., Sithisam-ang, D., & Suwannathap, T. (2010). Influence of partial substitution of wheat flour with Choke Anan mango peel dietary fiber on the physiochemical and sensory characteristics of breadstick. *Agricultural Science Journal*, 41(3/1)(Suppl.), 309-312. (in Thai)
- Ye, J., Hu, X., Zhang, F., Fang, C., Liu, C., & Luo, S. (2016). Freeze-thaw stability of rice starch modified by improved extrusion cooking technology. *Carbohydrate Polymer*, 151, 113-118.