

ผลของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของแป้งขนมขอม่วง
ที่มีส่วนผสมของแป้งโฮมิลพรีเจลาติไนซ์

Effect of Frozen Storage on Quality of Chormuang Dough Contains

Pregelatinized Hom Nil flour

ปภากร ศรีสอน* พชนี บุญธานนท์ อนงค์นาฏ โสภณางกูร และ ญาธิกร ธีระภัทรพลชัย

Paphakorn Srisorn* Patchanee Boontaganon Anongnat Sopanangkul and Yatipakorn Terapatponchai

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Faculty of Science and Technology Rajamangala University of Technology Tawan-ok

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

Received: 08 Aug 20

Revised: 21 Sep 20

Accepted: 22 Nov 20

บทคัดย่อ

การศึกษาลักษณะการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของแป้งขนมขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งโฮมิลพรีเจลาติไนซ์ ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของแป้งขนมขอม่วง เพื่อระบุอายุการเก็บที่เหมาะสมได้ แป้งขนมขอม่วงที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งโฮมิลพรีเจลาติไนซ์ร้อยละ 15 ถูกเตรียมและเก็บในถุงพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 สัปดาห์ จากการวิเคราะห์ค่าสีพบว่าระยะเวลาการเก็บที่นานขึ้นส่งผลให้สีของแป้งขนมขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งโฮมิลพรีเจลาติไนซ์ เข้มมากขึ้น สอดคล้องกับค่าสีแดง (+a) - เขียว (-a) และค่าสีเหลือง (+b) - น้ำเงิน (-b) ที่ลดลงเมื่อเก็บแช่เยือกแข็งนานขึ้น และจากการทดสอบค่าเนื้อสัมผัสพบว่าแป้งขนมขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งโฮมิลพรีเจลาติไนซ์ มีค่าความแข็ง และการเคี้ยวสูงขึ้นตามระยะเวลาการเก็บแช่เยือกแข็งที่เพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ทำการตรวจติดตาม ปริมาณสาร Monomeric Anthocyanin และฤทธิ์การยับยั้งสารอนุมูลอิสระ พบว่าผลิตภัณฑ์แป้งขนมขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งโฮมิลพรีเจลาติไนซ์ วันที่ 0 มีปริมาณ Monomeric Anthocyanin เท่ากับ 10.01 ± 0.32 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และมีฤทธิ์ยับยั้งสารอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS เท่ากับ 1.07 ± 0.01 และ 0.76 ± 0.03 ไมโครลิตรโมล/กรัม ของกรดแอสคอร์บิก ตามลำดับ ในสัปดาห์ที่ 12 พบว่าผลิตภัณฑ์แป้งขนมขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งโฮมิลพรีเจลาติไนซ์ มีปริมาณ Monomeric Anthocyanin ลดเหลือ 1.29 ± 0.22 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แต่ฤทธิ์ยับยั้งสารอนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ลดลงเล็กน้อย เท่ากับ 0.73 ± 0.03 และ 0.64 ± 0.02 ไมโครลิตรโมล/กรัม ของกรดแอสคอร์บิก ตามลำดับ

คำสำคัญ: เก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็ง แป้งโฮมิลพรีเจลาติไนซ์ แป้งขนมขอม่วง

Abstract

Studying the effects of frozen storage on the quality of Chormuang dough contains pre-gelatinized Hom Nil flour revealed changes in the chemical, physical, and sensory qualities of Chormuang dough for defining the optimum shelf life. Chormuang dough that replaces rice flour with 15 % of pre-gelatinized Hom Nil flour was prepared, packed in a polyethylene bag, and stored at -18 ° C for 12 weeks. For the color measurement, it was found that the longer storage time resulted in the darker color of Chormuang dough contains pre-gelatinized Hom Nil flour. In according to the redness (+ a) - greenness (-a) and yellowness (+ b) - blueness (-b) values were decrease with longer frozen storage. The texture profile analysis showed that Chormuang dough contains pre-gelatinized Hom Nil flour had higher hardness and chewing value as a result of the increased freeze storage period. Chemical changes were monitored for Monomeric Anthocyanin

content and antioxidant activity. At 0 day, Chormuang dough contains pre-gelatinized Hom Nil flour contained Monomeric Anthocyanin content 10.01 ± 0.32 mg/ml and performed inhibition ability on DPPH and ABTS about 1.07 ± 0.01 and 0.76 ± 0.03 $\mu\text{mol/g}$ of ascorbic acid, respectively. For 12th weeks, Chormuang dough contains pre-gelatinized Hom Nil flour presented the reducing of Monomeric Anthocyanin content to 1.29 ± 0.22 mg/ml, but inhibitory activity on DPPH and ABTS were slightly decreased by 0.73 ± 0.03 and 0.64 ± 0.02 $\mu\text{mol/g}$ of ascorbic acid, respectively.

Keywords: Frozen Storage, Pregelatinized Hom Nil flour, Chormuang dough

1. บทนำ

ขนมขม่อม่วงเกิดขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 2 กรุงรัตนโกสินทร์ คาดว่าได้รับอิทธิพลมาจากต่างชาติ สามารถแบ่งส่วนประกอบหลักขนมขม่อม่วงออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนไส้ และแป้งขนม โดยไส้มีความคล้ายคลึงกับไส้ขนมสาธุ โดยมีส่วนผสมของเนื้อสัตว์บดผสมกับเครื่องปรุงแล้วนำไปผัดและปรุงรสให้มีรสเค็มนำ และหวานตาม ส่วนที่ 2 คือ แป้งขนมขม่อม่วงเป็นแป้งผสม 3 ชนิด คือแป้งข้าวเจ้า แป้งท้าวยายม่อม และแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งนำมาทวนกับกะทิ และนวดต่อจนมีลักษณะเหนียวนุ่ม แล้วจึงนำมาห่อไส้ และตกแต่งให้สวยงามโดยการจับจีบเป็นรูปดอกไม้ ร่วมกับการเติมสีธรรมชาติจากดอกอัญชันลงในแป้ง เพื่อเพิ่มความสวยงามซึ่ง เป็นอัตลักษณ์ของขนมไทย [1]



Figure 1 Chormuang

Source: Obtom, T. (2012)

ข้าวหอมนิลเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีปริมาณโปรตีนและปริมาณธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวหอมมะลิเป็น 2 และ 4 เท่า ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปริมาณสังกะสี แคลเซียม และโพแทสเซียมสูงกว่าในข้าวหอมมะลิ ข้าวหอมนิลมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 12 – 13 และปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) สูง ประมาณ 293 ไมโครโมลต่อกรัม ในส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดที่มีสีม่วงเข้มประกอบไปด้วยแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) โปรแอนโทไซยานิน (Pranthocyanin) ไบโอฟลาโวนอยด์ (Bioflavonoids) วิตามินอี ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และสารสีจากธรรมชาติ [2]



Figure 2 Hom Nil rice

Source: Sutharut & Sudarat (2012)

จากการศึกษาก่อนหน้าเกี่ยวกับสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ เพื่อให้คงปริมาณสารแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และการดัดแปรคุณสมบัติทางกายภาพของเจลแป้งด้วยกระบวนการพรีเจลาติไนซ์ เพื่อให้ได้ เจลแป้งที่มีคุณสมบัติอ่อนนุ่ม และการศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ในผลิตภัณฑ์ขนมขม่อม่วง เพื่อเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระให้กับผลิตภัณฑ์ โดยที่ยังคงคุณภาพทางกายภาพ มีเนื้อสัมผัสของแป้งขนมขม่อม่วงที่อ่อนนุ่ม และช่วยคงสภาพความชุ่มชื้นของผิวขนมได้ โดยพบว่าระดับการทดแทนที่เหมาะสมคือร้อยละ 15 ขึ้น ต่อมาของการพัฒนากระบวนการผลิตขนมขม่อม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ คือการศึกษาผลกระทบของกระบวนการเก็บรักษาในสถานะแช่เยือกแข็งต่อคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ทางประสาทสัมผัส และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของแป้งขนมขม่อม่วงที่เก็บรักษาในสถานะแช่เยือกแข็งดังกล่าว เพื่อเป็นข้อมูลแนวทางเลือกเกี่ยวกับวิธีการเก็บรักษา สำหรับการผลิตเชิงปริมาณในระดับอุตสาหกรรม

กระบวนการแช่เยือกแข็งเป็นกระบวนการเก็บรักษาอาหาร โดยช่วงอุณหภูมิที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมคือ -18 ถึง -20 องศาเซลเซียส กระบวนการแช่เยือกแข็งใช้หลักการเปลี่ยนน้ำในอาหารให้แปรสภาพจากของเหลวที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส กลายเป็นของแข็งภายใต้สถานะอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เมื่อนำในอาหารซึ่งเป็น

ตัวกลางในการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี และจุลินทรีย์กลายเป็นของแข็ง จึงเป็นเหตุ หรือชะลอกระบวนการเสื่อมเสียของอาหารที่เกิดจากปฏิกิริยาข้างต้น แต่ระหว่างการแช่เยือกแข็งหรือละลายอาหาร (Freezing and Thawing) ให้กลับเข้าสู่ลักษณะพร้อมใช้หรือบริโภค มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพเกิดขึ้นมากมายที่ส่งผลต่อคุณภาพของอาหาร ได้แก่ กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และสารอาหาร [3]

Thaipanich (2009) ได้ทำการศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขม่อมวงโยอาหารสูงพร้อมบริโภค โดยเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถเก็บรักษาขนมขม่อมวงโยอาหารสูงพร้อมบริโภคได้ยาวนานถึง 12 สัปดาห์ โดยที่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าสี และเนื้อสัมผัส อีกทั้งความพึงพอใจต่อผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในระดับชอบปานกลาง [4] ขนมชิ้นเป็นขนมไทยที่มีเนื้อสัมผัสของแป้งที่เหนียวนุ่ม ทำให้สุกโดยการนึ่งแป้งที่ละชิ้น และมีส่วนผสมของแป้งใกล้เคียงกับตัวแป้งขม่อมวง แต่ในแป้งขนมชิ้นมีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบเพิ่มเติม การศึกษาผลของการอัตราการแช่เยือกแข็ง และวิธีการละลายต่อคุณภาพของขนมชิ้นโดย Batpho, Sroythong, & Charoenrein (2011) พบว่าการแช่เยือกแข็งแบบเร็วที่อัตราการลดอุณหภูมิ 4.0 องศาเซลเซียสต่อนาที และการใช้อุณหภูมิสูงระยะเวลาด้านในการละลายน้ำแข็ง ทำให้ได้ขนมชิ้นที่มีคุณภาพใกล้เคียงสภาพเดิมมากที่สุด [5] ในการศึกษาความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและการคืนรูปของแป้งพุทธรักษา พบว่ากระบวนการตัดแปรด้วยวิธีฟอสเฟตโครสลิงกิงช่วยให้แป้งมีความคงตัวต่อสภาวะแช่เยือกแข็งสูงกว่าเมื่อเทียบกับแป้งที่ไม่ตัดแปร โดยการตัดแปรด้วยวิธีฟอสเฟตโครสลิงกิงจะช่วยเสริมให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งให้มีความแข็งแรงมากขึ้น จึงช่วยลดการพองตัวและเพิ่มความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง สามารถต้านทานต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ [6] สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ye, Hu, Zhang, Fang, Liu & Luo (2016) ที่พบว่าแป้งข้าวตัดแปรด้วยเทคโนโลยีทำสุกด้วยเครื่องอัดผ่านเกลียวมีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็ง และการคืนตัวดีกว่าแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปร [7]

ปัญหาของกระบวนการแช่เยือกแข็งที่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นส่วนผสมหลัก คือการเกิดการรีโทรกราเดชัน (Retrogradation) ของอะไมโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในแป้ง ขณะผลิตภัณฑ์อยู่ในระหว่างแช่เยือกแข็ง และการคืนตัว การเติมแป้งตัดแปร หรือแป้งพรีเจลาติไนซ์ซึ่งมีคุณสมบัติยับยั้ง

กระบวนการรีโทรกราเดชัน จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว [8] ดังนั้นการศึกษามูลของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพของขนมขม่อมวงที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ โดยการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัส จะทำให้ได้ข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับอายุการเก็บรักษา และคุณภาพของแป้ง เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการขยายกำลังการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย/ทดลอง

2.1 การเตรียมแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์

ทำการเตรียมแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ตามวิธีการของ Narklaor, Sangnark, & Limroongreungra (2011) โดยนำเมล็ดข้าวหอมนิลที่อยู่ในสภาพสมบูรณ์ และทำความสะอาดกำจัดสิ่งเจือปนออก มาไม่ด้วยเครื่องมือแบ่งแบบแห้ง และบดให้ละเอียดอีกครั้ง ด้วยเครื่องบดไฟฟ้า Ultra-centrifugal mill (รุ่น ZM 200 ยี่ห้อ Retsch) จากนั้นนำแป้งข้าวหอมนิลที่ได้มาละลายกับน้ำ ที่อัตราส่วน 50:100 น้ำหนักต่อปริมาตร นำแป้งละลายที่ละลายดีเป็นเนื้อเดียวกันมาทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้งคู่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 เซนติเมตร ยาว 26 เซนติเมตร ทำการตั้งค่าความดันไอน้ำ 40 lb/in² อุณหภูมิที่ผิวหน้าลูกกลิ้งเป็น 130 องศาเซลเซียส ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง 0.25 มิลลิเมตร และความเร็วรอบของลูกกลิ้งเป็น 12 รอบต่อนาที นำแผ่นแป้งที่ได้มาบดให้ละเอียด และร่อนผ่านตะแกรงความละเอียดขนาด 100 mesh [9] ผงแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์เก็บในภาชนะที่ปิดแสงที่อุณหภูมิห้อง และปราศจากความชื้น

2.2 การเตรียมแป้งขนมขม่อมวงที่มีส่วนผสมของ

แป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์

ทำการเตรียมแป้งขนมขม่อมวงที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ โดยชั่งน้ำหนักส่วนผสมต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ทำการนวดแป้งผสม กับน้ำเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมกะทิส่วนที่เหลือ คนให้เข้ากัน และนำไปกวนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนแป้งไม่ติดกระทะ แล้วจึงนำแป้งที่ได้มานวดต่อด้วยมือ จนเนื้อแป้งมีลักษณะเหนียวนุ่ม ซึ่งแป้งน้ำหนัก 8 กรัมต่อก่อน ปั้นเป็นก้อนกลม และบรรจุใส่ถุงพอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) เก็บแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์

Table 1 Formulation of Chormuang contain pregelatinized Hom Nil flour.

Ingredient	Weight (g)
Rice flour	25.5
Pregelatinized Hom Nil flour	4.5
Water	63.0
Coconut milk	7.0

ทำการเก็บตัวอย่างทุก 4 สัปดาห์ มาวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานิน ฤทธิ์การยับยั้งสารอนุมูลอิสระ คุณภาพทางประสาทสัมผัส และทำการเก็บตัวอย่างทุก 2 สัปดาห์ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสี และค่าเนื้อสัมผัส

2.3 การวิเคราะห์ค่าสี

ทำการเตรียมตัวอย่างแป้งขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลลาติไนซ์ โดยนำตัวอย่างแป้งแช่เยือกแข็งมาตั้งพักไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 50 นาที เป็นตัวอย่างแป้งก่อนนึ่ง (Pre-cooked dough) จากนั้นนำแป้งที่คลายตัวแล้วมานึ่งเป็นเวลา 5 นาที เป็นตัวอย่างแป้งนึ่งสุก (Cooked dough) นำตัวอย่างแป้งที่เตรียม มาทำการวิเคราะห์ค่าสีในระบบ CIE Lab แสดงค่า L^* , a^* และ b^* ด้วยเครื่อง Minolta Spectrophotometer (รุ่น CM-3500d)

2.4 การวิเคราะห์ค่าเนื้อสัมผัส

ทำการเตรียมตัวอย่างแป้งขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลลาติไนซ์ Pre-cooked dough และ Cooked dough (เช่นเดียวกับข้อ 3) มาทำการวิเคราะห์ค่า Texture Profile Analysis (TPA) โดยใช้เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyzer (รุ่น TA.XT. Plus) และหัววัดชนิด Cylinder probe (P/35) กดลงไปในขนมขอม่วงร้อยละ 50 ของชิ้น โดยกำหนดอัตราเร็วก่อนวัด (Pre-Test Speed) 1.5 mm/s อัตราเร็วขณะวัด (Test Speed) 1.0 mm/s อัตราหลังวัด (Post-Test Speed) 10.0 mm/s

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ

การเตรียมสารสกัดแป้งขอม่วง

ทำการเตรียมสารสกัดจากตัวอย่างแป้งขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลลาติไนซ์ Pre-cooked dough และ Cooked dough โดยดัดแปลงวิธีมาจาก Han & Koh (2011) [10] นำแป้งแช่เยือกแข็งไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง บดเป็นผง และร่อนผ่านตระแกรงมาตรฐานขนาด 20 mesh ซึ่ง

ตัวอย่าง 10 กรัม ผสมกับสารละลายผสม 250 มิลลิลิตร (95% Ethanol 70: 30 Distilled water) กวนเป็นเวลา 44 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 300 กรัม เป็นเวลา 15 นาที เก็บส่วนใสไว้สำหรับวิเคราะห์

2.6 การวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน

ทำการวิเคราะห์ปริมาณแอนโทไซยานิน โดยดัดแปลงวิธีมาจาก Sutharut & Sudarat (2012) [11] หลอดที่ 1 เตรียมสารสกัดที่ได้จากแป้งขอม่วงปริมาณ 200 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย KCl buffer pH 1.0 ปริมาณ 2,800 ไมโครลิตร หลอดที่ 2 ใช้สารสกัดเท่ากันผสมกับสารละลาย CH_3COONa pH 4.5 ปริมาตร 2,800 ไมโครลิตร ตั้งสารผสมทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง Spectrophotometer (รุ่น UV-1800 ยี่ห้อ SHIMADZU) ที่ความยาวคลื่น 520 nm และ 700 nm โดยใช้น้ำกลั่นเป็น blank คำนวณหาค่า A ดังสมการ

$$A = (A_{520} - A_{700}) \text{ KCl pH 1.0} - (A_{520} - A_{700}) \text{ CH}_3\text{COONa pH 4.5}$$

นำค่า A ที่ได้มาคำนวณปริมาณแอนโทไซยานิน ในรูป cyanidin 3-glucoside จากการหาค่า Monomeric Anthocyanin ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Monomeric Anthocyanin } \left(\frac{\text{mg}}{\text{mL}} \right) = \frac{A \times MW \times DF \times 1000}{e}$$

โดย MW คือน้ำหนักโมเลกุลของ Cyanidin-3-glucoside = 449.2

DF คือ dilution factor = 15 (สารสกัดปริมาณ 200 ไมโครลิตร ผสมกับสารละลาย 2800 ไมโครลิตร จนปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 3000 ไมโครลิตร)

e คือ ค่าโมลาร์แอบซอร์บิตีวี่ = 26900

2.7 ฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH

ทำการวิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH โดยดัดแปลงวิธีมาจาก Han & Koh (2011) [10] เตรียมสารละลาย 2,2-Diphenyl-1-picryl hydrazyl (DPPH) ความเข้มข้น 0.2 ไมโครโมลต่อลิตร ในสารละลายเอทานอล ปิเปตสารละลาย DPPH ปริมาตร 950 ไมโครลิตร เติมสารสกัดตัวอย่าง 50 ไมโครลิตรผสมให้เข้ากัน บ่มในที่มืดเป็นเวลา 15 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517

นาโนเมตร โดยเตรียมกรดแอสคอร์บิก 0.0250 กรัม เป็นสารละลายมาตรฐาน รายงานผลในหน่วยของ ไมโครลิตรโมล/กรัม ของกรดแอสคอร์บิก ($\mu\text{mol/g}$ ascorbic acid)

2.8 การยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS

ทำการวิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS โดยดัดแปลงวิธีมาจาก Han & Koh (2011) [10] เตรียมสารละลาย ABTS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลต่อลิตร ผสมกับโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) ความเข้มข้น 2.45 มิลลิโมลต่อลิตร ในสัดส่วน 2:3 เก็บไว้ที่มืดเป็นเวลา 16 - 18 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 729 นาโนเมตร ให้มีค่าอยู่ในช่วง 0.9-1.0 จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยปิเปตสารทดสอบ ABTS ปริมาตร 950 ไมโครลิตร เติมน้ำกลั่นตัวอย่าง 50 ไมโครลิตรผสมให้เข้ากัน บ่มเป็นเวลา 5 นาที และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 729 นาโนเมตร โดยเตรียมกรดแอสคอร์บิก 0.001 กรัม เป็นสารละลายมาตรฐาน รายงานผลในหน่วยของ ไมโครลิตรโมล/กรัม ของกรดแอสคอร์บิก ($\mu\text{mol/g}$ ascorbic acid)

2.9 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการเตรียมตัวอย่างแป้งขนมปังที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ Pre-cooked dough และ Cooked dough (เช่นเดียวกับข้อ 3) จากนั้นนำมาห่อใส่ที่ป็นเป็นก้อนกลมน้ำหนัก 4 กรัมต่อก้อน ขึ้นรูปโดยใช้ที่หนีบให้เป็นลักษณะดอกไม้ และนึ่งเป็นเวลา 5 นาที แล้วประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9 - Points hedonic scaling 1 ถึง 9 คะแนน (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 หมายถึงชอบมากที่สุด) ในด้านคุณลักษณะต่างๆ ได้แก่ ด้านสี กลิ่นรส ความนุ่ม ความยืดหยุ่น และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบเป็นนักศึกษา และเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ช่วงอายุระหว่าง 18 - 50 ปี จำนวน 30 คน

2.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมี ตัวอย่าง Pre-cooked dough และ Cooked dough ใช้วิธี T-test เปรียบเทียบค่าความแปรปรวน และความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ และเคมีของตัวอย่างระหว่างการเก็บรักษาใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) และการประเมินด้านประสาทสัมผัส ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design: RCBD) โดยให้ผู้ทดสอบเป็น Block

3. ผลการวิจัยและทดลอง

3.1 ผลของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพทางกายภาพด้านสี

แป้งขนมปังที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ มีสีออกน้ำตาลแดงตามสีธรรมชาติของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยลักษณะของแป้งขนมปังที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ก่อนนึ่ง แป้งจะมีลักษณะทึบ ผิวลักษณะขาวนวล แต่เมื่อผ่านกระบวนการนึ่งสุกตัวแป้งจะมีลักษณะใส ผิวมีลักษณะมันวาว

ในการศึกษาผลกระทบของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพทางด้านสีของแป้งขนมปังที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่าง (Lightness; L^*) ค่าสีแดง-เขียว (Redness; a^*) และค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (Yellowness; b^*) ในสัปดาห์ที่ 0, 2, 4, 6, 8 และ 12 สัปดาห์ (Figure 4) โดยพบว่าค่าความสว่างของแป้งก่อนนึ่งสูงกว่าแป้งหลังนึ่งสุก และค่าความสว่างของแป้งขนมปังทั้งก่อนและหลังนึ่งไม่เปลี่ยนแปลง ($p>0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 12 สัปดาห์ จากการสุ่มตัวอย่างวิเคราะห์ทุก ๆ 2 สัปดาห์

อย่างไรก็ตามพบว่าค่าสีแดง-เขียว (Redness; a^*) และค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (Yellowness; b^*) มีแนวโน้มลดลง เมื่อระยะเวลาสุ่มตัวอย่างนานขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะปรากฏที่เห็นคือแป้งขนมปังที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ มีสีเข้มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาแช่เย็นนานขึ้น



Figure 3 Chormuang dough contains pre-gelatinized Hom Nil flour; Pre-cooked (A) and Cooked (B).

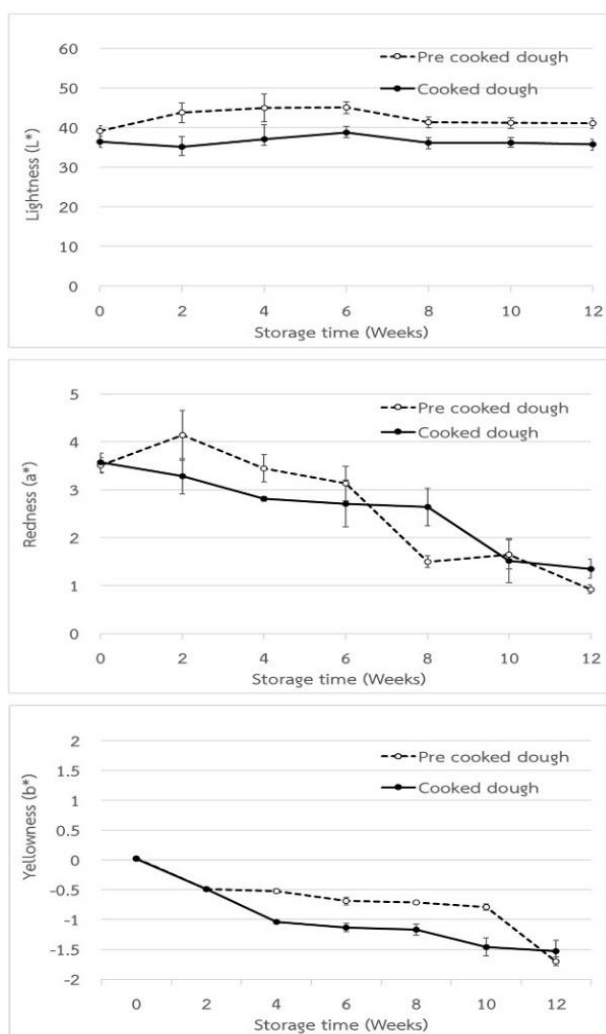


Figure 4 Lightness (L*), Redness (a*) and Yellowness (b*) of Chormuang with pre-cooked and cooked dough at storage time for 12 weeks

3.2 ผลของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส

ในการศึกษาผลกระทบของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัสของแป้งขนมขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ โดยการติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ค่าความเหนียว (Gumminess) และค่าการเคี้ยว (Chewiness) สัปดาห์ที่ 0, 2, 4, 6, 8 และ 12 สัปดาห์ (Figure 5)

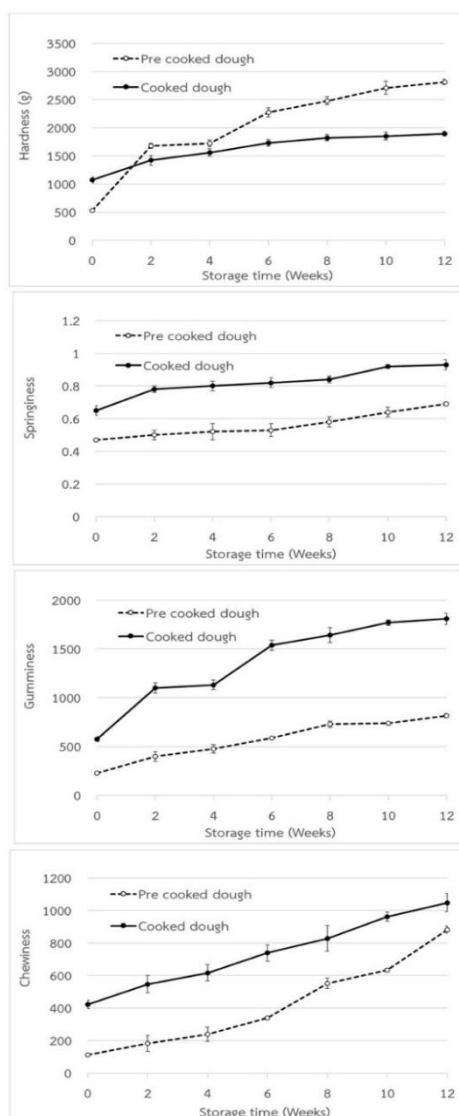


Figure 5 Hardness, springiness, gumminess and chewiness of Chormuang with pre-cooked and cooked dough at storage time for 12 weeks.

พบว่าหลังจากแช่เยือกแข็งไป 2 สัปดาห์ แป้งก่อนนึ่งมีค่าความแข็งสูงกว่าแป้งนึ่งสุก และสูงขึ้นอย่างช้า ๆ ตามระยะเวลาการเก็บในสภาวะแช่เยือกแข็ง เช่นเดียวกันกับค่าความยืดหยุ่น ค่าความเหนียว และค่าการเคี้ยวที่สูงขึ้นเมื่อถูกเก็บในสภาวะแช่เยือกแข็งนานขึ้น แต่ต่างกันเพียงแป้งก่อนนึ่งมีค่าทั้ง 3 ต่ำกว่าแป้งนึ่งสุกตลอดการเก็บรักษา ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะเนื้อแป้งเมื่อเวลาการเก็บรักษาของแป้งนานขึ้น ตัวแป้งหลังนึ่งสุกจะมีลักษณะแข็ง และความเหนียวมากขึ้น

3.3 ผลของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ

สารแอนโทไซยานินจากแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ มีบทบาทสำคัญในการเสริมฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ขนมขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์

จากการติดตามผลกระทบของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระทุก ๆ 4 สัปดาห์ เป็นเวลา 12 สัปดาห์ (Figure 6) พบว่าในสัปดาห์การเก็บรักษาที่ 0 และ 4 ปริมาณแอนโทไซยานินในแป้งก่อนนึ่ง (10.01 ± 0.32 , 7.31 ± 0.36 mg/mL) มีค่าสูงกว่าแป้งหลังนึ่งสุก (5.00 ± 0.36 , 3.23 ± 0.19 mg/mL) ถึงสองเท่า โดยตั้งแต่สัปดาห์ที่ 8 ขึ้นไป สารแอนโทไซยานินที่พบในแป้งก่อนนึ่ง (2.55 ± 0.41 , 1.29 ± 0.22 mg/mL) และแป้งหลังนึ่งสุก (2.29 ± 0.25 , 1.12 ± 0.09 mg/mL) มีปริมาณลดลงต่ำ และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากการตรวจติดตามวิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ พบว่าระดับการยับยั้งสารอนุมูลอิสระ DPPH ในสัปดาห์ที่ 0, 4, 8 และ 12 ของแป้งก่อนนึ่งเท่ากับ 1.07 ± 0.01 , 0.81 ± 0.37 , 0.78 ± 0.04 และ 0.73 ± 0.03 ไมโครลิตรโมล/กรัม ของกรดแอสคอร์บิก ตามลำดับ ส่วนแป้งหลังนึ่งสุก 1.02 ± 0.32 , 0.89 ± 0.01 , 0.79 ± 0.01 และ 0.74 ± 0.05 ไมโครลิตรโมล/กรัม ของกรดแอสคอร์บิก ตามลำดับ จากการตรวจติดตามวิเคราะห์ฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS พบว่าในสัปดาห์ที่ 0, 4, 8 และ 12 ระดับการยับยั้งสารอนุมูลอิสระ ABTS ของแป้งก่อนนึ่งเท่ากับ 0.76 ± 0.03 , 0.70 ± 0.01 , 0.65 ± 0.02 และ 0.64 ± 0.02 ไมโครลิตรโมล/กรัม ของกรดแอสคอร์บิก ตามลำดับ ส่วนแป้งหลังนึ่งสุก 0.79 ± 0.04 , 0.76 ± 0.03 , 0.68 ± 0.05 , และ 0.64 ± 0.01 ไมโครลิตรโมล/กรัม ของกรดแอสคอร์บิก ตามลำดับ สังเกตได้ว่าระดับการยับยั้งสารอนุมูลอิสระของแป้ง

ขนมขอม่วงทั้งก่อนและหลังนึ่งมีค่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) แต่มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาเก็บรักษา

3.4 ผลของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ

คุณลักษณะที่สำคัญในการประเมินความชอบผลิตภัณฑ์ขนมขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ ได้แก่ สี (Colour) กลิ่นรส (Flavour) ความนุ่ม (Softness) ความเหนียวหนึบ (Gumminess) และความชอบโดยรวม (Overall

liking) ได้ถูกตรวจประเมินทางประสาทสัมผัสทุก 4 สัปดาห์ตลอดการศึกษาตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าระดับความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขนมขอม่วงในทุกคุณลักษณะลดลงตามระยะเวลาการเก็บแช่เยือกแข็งที่เพิ่มขึ้น จากระดับคะแนนความชอบที่ลดลง อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบของผลิตภัณฑ์ในทุกคุณลักษณะ ณ สัปดาห์ที่ 4 นั้นยังไม่ต่างจาก สัปดาห์ที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

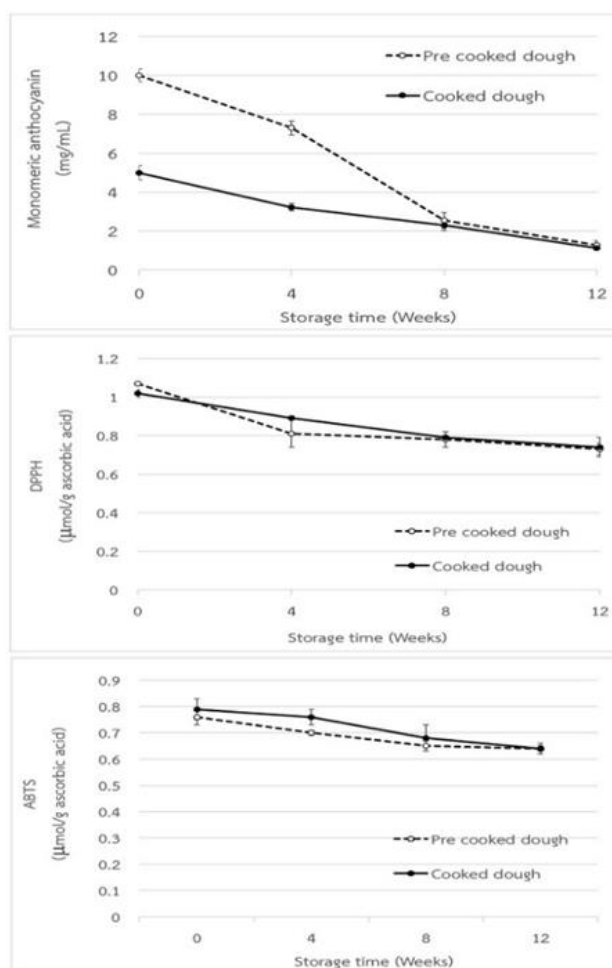


Figure 6 Monomeric Anthocyanin content and Antioxidant properties (DPPH and ABTS assay) of Chormuang with pre-cooked and cooked dough at storage time for 12 weeks.

Table 2 Sensory evaluation of Chormuang dough contains pre-gelatinized Hom Nil flour with pre-cooked and cooked dough at storage time for 12 weeks

Attribute	Storage time (Weeks)			
	0	4	8	12
Colour	6.8 ^a ±1.2	6.7 ^a ±1.0	5.7 ^b ±1.8	5.5 ^b ±0.9
Flavour	6.5 ^a ±1.7	6.4 ^a ±1.4	5.8 ^{ab} ±1.7	5.5 ^b ±1.1
Softness	6.8 ^a ±1.1	6.7 ^a ±1.2	5.8 ^b ±1.8	5.4 ^b ±0.9
Gumminess	6.5 ^a ±1.2	6.3 ^a ±1.3	5.6 ^b ±1.7	5.4 ^b ±0.8
Overall liking	7.1 ^a ±0.7	7.0 ^a ±1.1	6.4 ^b ±0.9	6.1 ^b ±1.4

Note ^{a-b} Means difference in the same row (p<0.05)

4. วิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพทางกายภาพทางด้านสี

สีของผลิตภัณฑ์ขอม่วงที่พบเห็นโดยทั่วไปจะมีสีฟ้าหรือม่วงซึ่งเป็นสีธรรมชาติที่ได้จากน้ำดอกอัญชัน แต่ในผลิตภัณฑ์ขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลลาติไนซ์ ซึ่งมีสีแดงอมน้ำตาล เกิดจากสารสีธรรมชาติ คือ แอนโทไซยานิน (Natural pigment) แอนโทไซยานินแต่ละชนิดที่พบนั้นให้สีที่แตกต่างกันขึ้นกับการแทนที่ในตำแหน่งของโครงสร้างฟลาโวลีนที่แตกต่างกันส่งผลให้สีที่พบนั้นแตกต่างกัน เช่น ฟิลาโรโกนินที่พบในหัวราดิซให้สีส้ม ไชยานินที่พบในสตอเบอรี่ให้สีส้มถึงแดง และเดฟิโนนินที่พบในบลูเคอร์แรนต์ให้แดงถึงสีน้ำเงิน [12] ซึ่งแอนโทไซยานินเป็นรงควัตถุที่ละลายได้ดีในน้ำ ไม่เสถียรสลายตัวได้ง่ายด้วยความร้อน ออกซิเจน หรือแสง จากการศึกษาได้มีการใช้ความร้อน สัมผัสกับน้ำ และออกซิเจนในหลายขั้นตอน เช่น กระบวนการพรีเจลลาติไนซ์ การกวนแป้ง การคั่วตัวหลังแช่แข็ง และการนึ่ง ซึ่งทุกกระบวนการที่กล่าวในขั้นตอนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งของโครงสร้างฟลาโวลีน [13-15] สอดคล้องกับผลการทดลองในขั้นตอนที่พบว่าระยะการแช่เยือกแข็งที่นานขึ้นจึงส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์แป้งขนมขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลลาติไนซ์คือ ทำให้แป้งมีสีแดงเข้มจนเกือบคล้ำ หรือสีน้ำตาลอมแดง มีผลทำให้สีของแป้งขอม่วงเข้มขึ้น

4.2 ผลของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพทางกายภาพทางด้านเนื้อสัมผัส

กระบวนการแช่เยือกแข็ง และการคั่วตัวของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งส่งผลกระทบต่อน้ำสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นส่วนผสมหลัก อย่างเด่นชัด เช่น เกิดการแยกชั้น หรือแยกตัวของน้ำออกจากตัวแป้ง ทำให้แป้งไม่เหนียวนุ่ม และแข็งกระด้าง จากกระบวนการรีโทรกราเดชันที่เกิดขึ้น [16] ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้แป้งพรีเจลลาติไนซ์จากข้าวหอมนิล ซึ่งสามารถยับยั้งการเกิดรีโทรกราเดชันในเจลแป้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ขอม่วงมีความคงตัวในการแช่เยือกแข็ง และระหว่างกระบวนการคั่วจากสภาวะแช่เยือกแข็งสูงกว่าผลิตภัณฑ์จากแป้งที่ไม่ผ่านกระบวนการตัดแปร ซึ่งมีความสามารถยับยั้งการเกิดรีโทรกราเดชันในเจลแป้งต่ำ [17, 18] จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าแป้งผลิตภัณฑ์ขอม่วงที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลลาติไนซ์ มีการเปลี่ยนแปลงค่าเนื้อสัมผัสด้านค่าความแข็งและความยืดหยุ่นอย่างช้า ๆ โดยค่าความแข็งเริ่มคงที่ในสัปดาห์ที่ 8 และไม่ต่างจากสัปดาห์ที่ 12 อย่างมีนัยสำคัญ (P>0.05) เมื่อระยะการเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกนานขึ้น

4.3 ผลของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์การยับยั้งอนุมูลอิสระ

ข้าวหอมนิลหรือข้าวเจ้าหอมนิลมีสีม่วงของรงควัตถุชนิดแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) และโปรแอนโทไซยานิน (Proanthocyanidin) ซึ่งเป็นสารยับยั้งอนุมูลอิสระ (Antioxidation) สามารถทำงานได้ดีกว่าวิตามินอี และมีประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกาย [19] แต่สารในกลุ่มแอนโทไซยานินนี้มีความไวต่อแสง และอุณหภูมิ ที่ส่งผลให้ปริมาณหรือประสิทธิภาพลดลงในการยับยั้งอนุมูลอิสระลดลงได้ [20] กระบวนการแช่เยือกแข็ง และการคั่วตัวจากสภาวะแช่เยือกแข็งเป็นปัจจัยหนึ่งในการสูญเสียสารแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ยับยั้งสารอนุมูลอิสระ จากการถูกทำลาย ด้วยแสง อุณหภูมิสูงที่ใช้ใน

การคืนตัว รวมถึงการสูญเสียสารสำคัญเหล่านี้มาพร้อมกับน้ำแข็งที่ละลาย ซึ่งไม่สามารถกักไว้ในโครงสร้างของอาหาร [12, 21, 22] สอดคล้องกับผลทดลองในช่วงต้นที่ปริมาณสารแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระของแป้งขนมขม่อมที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ลดลง ตามระยะเวลาการแช่เยือกแข็งที่นานขึ้น หรือการได้รับความร้อนจากการนึ่งสุก

4.4 ผลของการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เทคโนโลยีการแช่เยือกแข็งเป็นการยืดอายุอาหารรูปแบบหนึ่ง โดยการเปลี่ยนน้ำในอาหารให้กลายเป็นของแข็งเพื่อหยุดปฏิกิริยาทางเคมี และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ [23] ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในการแช่เยือกแข็ง และการคืนสภาพเดิมของผลิตภัณฑ์ ส่งผลต่อการลดลงของคุณภาพทางกายภาพ และทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบหลัก จะได้รับผลกระทบต่อน้ำสัมผัสที่อาจสูญเสียความคงตัว หรือความนุ่มจากกระบวนการคืนสภาพมากที่สุด และส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคในลำดับถัดมา [24] จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาการเก็บแบบแช่เยือกแข็งส่งผลกระทบต่อความชอบของผู้ทดสอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ขม่อมที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ ในทุกคุณลักษณะ ได้แก่ สี กลิ่น ความนุ่ม ความเหนียว และความชอบโดยรวม

5. บทสรุป

การศึกษาการคุณสมบัติต่าง ๆ ของแป้งขนมขม่อมที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ โดยการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ร้อยละ 15 เมื่อทำการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 สัปดาห์ โดยการติดตามคุณภาพตัวอย่างแป้งทั้งก่อนนึ่ง และหลังนึ่ง จากการวิเคราะห์ค่าสี เนื้อสัมผัส ทุก 2 สัปดาห์ และปริมาณแอนโทไซยานิน ฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระ คุณภาพทางประสาทสัมผัส ทุก 4 สัปดาห์ พบว่ากระบวนการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็งส่งผลให้คุณภาพทุกด้านของแป้งขนมขม่อมที่มีส่วนผสมของแป้งหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ ลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บนานขึ้น อาทิ สีแป้งที่เข้มมากขึ้น เนื้อสัมผัสที่แข็ง เหนียวกัดขาดได้ยาก ปริมาณแอนโทไซยานิน และฤทธิ์ยับยั้งอนุมูลอิสระลดลง เช่นเดียวกับคะแนนความชอบที่ลดน้อยลงเมื่อเวลาแช่เยือกแข็งนานขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจาก ปริมาณ

แอนโทไซยานิน และคะแนนความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ในระยะการเก็บสัปดาห์ที่ 4 ที่มีค่าคุณภาพดังกล่าวไม่แตกต่างจากสัปดาห์ที่ 0 จึงสรุปได้ว่าหากระยะเวลา 4 สัปดาห์ คือระยะเวลาที่เหมาะสมที่จะใช้กำหนดอายุการเก็บรักษาแป้งขนมขม่อมที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวหอมนิลพรีเจลาติไนซ์ด้วยเทคนิคการเก็บรักษาแบบแช่เยือกแข็ง

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ผู้สนับสนุนเงินทุนในการวิจัย และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ในการปฏิบัติการวิจัยครั้งนี้

7. References

- [1] Obtom, T., Kanom wan Thai. 2012. Bangkok: Ammarin printing and publishing. (in Thai)
- [2] Ratseewo, J., Warren, F.J., and Siriamompun, S. 2019. The influence of starch structure and anthocyanin content on the digestibility of Thai pigmented rice. **Food Chemistry**. 298: 124949.
- [3] Goff, H.D., 1992. Low-temperature stability and the glassy state in frozen foods. **Food Research International**. 25: 317-325.
- [4] Thaipanich, W. 2009. **Development of Frozen Ready-to-Eat High Dietary Fiber Khanom Chor-Muang**. Faculty of Education, Rankhumhang University. (in Thai)
- [5] Batpho, K., Sroythong, T. and Charoenrein, S. 2011. Effect of freezing rate and thawing method on the quality of frozen Kanom Chun. in **Proceedings of 49th Kasetsart University Annual Conference**. Bangkok. (in Thai)
- [6] Emrat, I., Wandee, Y., and Pancha-arnon, S., et al., 2011. Modification of Canna Starch by Cross-linking with Sodium Trimetaphosphate. **KMUTT Research and Development Journal**. 34(4). 357-368. (in Thai)
- [7] Ye, J., Hu, X., and Zhang, F., et al., 2016. Freeze-thaw stability of rice starch modified by Improved Extrusion Cooking Technology. **Carbohydrate Polymer**. 151: 113-118.

- [8] Chotipratoom, S., Choi, J.-H., and Bae, J.-E., et al., 2015. Freeze-thaw stability, glass transition, and retrogradation of high hydrostatic pressure-assisted hydroxypropylated corn starch. **Food Science and Biotechnology**. 24(4): 1327-1333.
- [9] Narklaor, D., Sangnark, A., and Limroongreungrat, K. 2011. Improvement in Quality of Jackfruit Seed Flour by Pregelatinization. **Burapha Science Journal**. 16(1): p. 12-21. (in Thai)
- [10] Han, H.M. and Koh, B.K. 2011. Antioxidant activity of hard wheat flour, dough and bread prepared using various processes with the addition of different phenolic acids. **Journal of Science and Food Agricultural**. 91(4): p. 604-8.
- [11] Sutharut, J. and Sudarat, J. 2012. Total anthocyanin content and antioxidant activity of germinated colored rice. **International Food Research Journal**. 19(1): p. 215-221.
- [12] Sablani, S.S. 2015. **Freezing of fruits and Impact on anthocyanins**, in Processing and Impact on Active Components in Food. 147-156.
- [13] Kha, T.C., Nguyen, M.H., and Roach, P.D. 2011. Effects of pre-treatments and air drying temperatures on colour and antioxidant properties of gac fruit powder. **International Journal of Food Engineering**. 7(3). DOI: 10.2202/1556-3758.1926
- [14] Aungkarb, T. and Rojanakorn, T. 2014. Effect of Osmodehydrofreezing on Quality Characteristics of Frozen Guava During Frozen Storage. in **Graduate Research Conference Khon Kaen University**. Khon Kaen.
- [15] Oszmiański, Wojdyło, J., A. and Kolniak, J. 2009. Effect of l-ascorbic acid, sugar, pectin and freeze-thaw treatment on polyphenol content of frozen strawberries. **LWT - Food Science and Technology**. 42(2): p. 581-586.
- [16] Vatanasuchart, N., Attaviboonkul, P., and Niyomwit, B., et al., 2010. Freeze-Thaw Stability of Bualoy Thai Dessert Using Waxy Rice Flour. **Cereal Chemistry**. 87(1): p. 73-78.
- [17] Arunyanart, T. and Charoenrein, S. 2008. Effect of sucrose on the freeze-thaw stability of rice starch gels: Correlation with microstructure and freezable water. **Carbohydrate Polymers**. 74(3): 514-518.
- [18] Varavinit, S., Shobsngob, S., and Varayanond, W., et al., 2002. Freezing and Thawing Conditions Affect the Gel Stability of Different Varieties of Rice Flour. **Starch/Stärke**. 54: 31-36.
- [19] Peanparkdee, M., Patrawart, J. and Iwamoto, S. 2019. Effect of extraction conditions on phenolic content, anthocyanin content and antioxidant activity of bran extracts from Thai rice cultivars. **Journal of Cereal Science**. 86: 86-91.
- [20] Žilić, S., Kocadağlı, and T., Vančetović, J., et al., 2016. Effects of baking conditions and dough formulations on phenolic compound stability, antioxidant capacity and color of cookies made from anthocyanin-rich corn flour. **LWT - Food Science and Technology**. 65: 597-603.
- [21] Plumb, M.E. and Dalaly, B.K. 2013. The Effect of Freezing as a Storage Method on Anthocyanin Concentration in Blueberries. in **Open Public Research Access Institutional Repository and Information Exchange**. Van D. and Barbara B. Fishback Honors College: South Dakota State University. 1-9.
- [22] Johnson, M.C., Thomas, A.L. and Greenlief, C.M. 2015. Impact of Frozen Storage on the Anthocyanin and Polyphenol Contents of American Elderberry Fruit Juice. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**. 63(23): 5653-5659.
- [23] Pham, Q.T. 2014. **Food Freezing And Thawing Calculation**. Springer Science+Business Media: USA.
- [24] Meechanchaowa, P. 2016. **Frozen Riceberry Flour Khanom Tien**. Home Economics Technology, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (in Thai)