

ผลของใยอาหารสกัดจากเมล็ดลูกสำรองต่อคุณสมบัติกายภาพเคมีของขนมปังโดแช่แข็งและการย่อยในหลอดทดลอง

อัญชลี ศรีจำเริญ^{1*}

¹ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

*Corresponding author: anchalee1@gmail.com

(Received: February 2, 2023; Revised: May 3, 2023; Accepted: May 12, 2023)

บทคัดย่อ

ใยอาหารจากเมล็ดลูกสำรองมีความหนืด และเจลเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ ขนมปังโดแช่แข็งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่จำหน่ายเพื่อความสะดวกในการนำเข้าเตาอบโดยไม่ต้องเตรียมส่วนผสม วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลของใยอาหารสกัดจากเมล็ดลูกสำรอง (MNG) ในขนมปังต่อการชะลอการย่อยแป้งเป็นน้ำตาลมอลโตสและกลูโคส และศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพเคมีของขนมปังที่มีการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์และหนึ่งเดือน ผลการทดลองแสดงว่าขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริม 1% MNG มีปริมาณมากกว่าขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุม ความชื้นของขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุมมีแนวโน้มการลดลงเร็วกว่าขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริมใยอาหาร ขนมปังสูตรเสริม 0.5% MNG และ 1% MNG ที่มีการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ และหนึ่งเดือนมีค่าความแข็งใกล้เคียงกันในวันที่สามของอายุการเก็บรักษา ขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริมใยอาหารทุกสูตรที่มีการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ และหนึ่งเดือนมีปริมาณมอลโตสลดลง 66-88 % และกลูโคสลดลง 43-69 % เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรดั้งเดิมที่ไม่ผ่านการแช่แข็งโด กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งแสดงรูพรุนในเนื้อขนมปังสูตรเสริม 1% MNG มีปริมาณน้อยกว่าขนมปังสูตรควบคุม

คำสำคัญ: ใยอาหารลูกสำรอง; โดแช่แข็ง; ขนมปัง; การย่อย; กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง

Effect of Extracted Malva Nut Gum on Physicochemical Properties of Frozen Dough Bread and *in vitro* Digestion

Anchalee Srichamroen^{1*}

¹Department of Agro-Industry, Faculty of Agriculture, Natural Resources and Environment, Naresuan University, Phitsanulok Province 65000

*Corresponding author: anchalee1@gmail.com

(Received: February 2, 2023; Revised: May 3, 2023; Accepted: May 12, 2023)

Abstract

Malva nut gum has viscosity and gelling properties suitable for health. Frozen dough is a ready-to-cook food. This research was aimed to investigate the effect of extracted malva nut gum (MNG) on attenuation of starch digestibility to maltose and glucose, and to determine physicochemical properties of frozen-dough breads compared between dough frozen for one week and one month. Frozen dough bread containing 1% MNG had higher loaf volume than that of control. Bread containing 0.5% MNG and 1% MNG compared between dough frozen for one week and one month had similar levels of bread crumb hardness on the third day of shelf life. Frozen dough breads contained dietary fiber both frozen for one week and one month had reduced amount of maltose 66-88 % and glucose 43-69 % compared to that of control. The Scanning electron microscopy showed frozen dough bread containing 1% MNG had less porosity of bread crumb compared to the control.

Keywords: Malva nut gum; Frozen dough; Bread; Digestibility; Scanning electron microscopy

บทนำ

ต้นสำรองเป็นพืชที่พบในป่าดิบชื้นที่มีแสงแดดส่องถึงพื้นและมีฝนตกชุก มีถิ่นกำเนิดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เช่น ไทย ลาว พม่า มาเลเซีย และพบในจีนตอนใต้ ประเทศไทยพบต้นสำรองมากที่จังหวัดจันทบุรี ตราด และภาคใต้ สาเหตุที่ไม่พบการปลูกต้นสำรองนอกป่า เนื่องจากเป็นพืชที่ใช้เวลาเติบโต 10-15 ปี จึงจะเก็บผลผลิตเมล็ดลูกสำรองในครั้งแรก และจะเก็บได้ปีละครั้งในช่วงเดือนมีนาคมและเมษายนของทุกปี ลำต้นมีความสูง 30-40 เมตรซึ่งต้องรอให้เมล็ดลูกสำรองร่วงหล่นกระทบพื้นดินจึงจะนำเมล็ดลูกสำรองไปจำหน่ายเพื่อการบริโภค ต้นสำรอง 1 ต้นให้ผลผลิตเมล็ดลูกสำรอง 50-60 กิโลกรัม (Baird and Bounphasy, 2002) เมล็ดลูกสำรองจัดอยู่ใน family Malvaceae, genus *Scaphium* (ในอดีต Malvaceae อยู่ใน family Sterculiaceae) ลูกสำรองมี 2 สายพันธุ์ (species) คือ *Scaphium affine* (Mast.) Pierre เรียกว่า สำรอง (พุททะลาย) เมล็ดมีลักษณะเป็นรูปวงรี เมื่อละลายน้ำทำให้สารละลายข้นหนืด (mucilage) พบทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย เช่น จังหวัดจันทบุรี ระยอง และสายพันธุ์ *Scaphium scaphigerum* (Wall. Ex G. Don) G. Planch เรียกว่า สำรองกะโหลก พบทางภาคใต้ เมล็ดมีลักษณะกลม เมื่อละลายน้ำทำให้สารละลายข้นหนืดพอสมควร (พงษ์ศักดิ์, 2550; Phonsena and Wilkie, 2008)

เปลือกชั้นนอกสุดของเมล็ดลูกสำรองเมื่อต้มในน้ำเดือด พบว่า พองตัวเกาะเป็นกลุ่มและกระจายในน้ำ ทำให้สารละลายมีลักษณะเป็นเจลและข้นหนืด นำมาผลิตและจำหน่ายเป็นเครื่องดื่มน้ำลูกสำรองซึ่งได้รับความนิยม การสกัดใยอาหารจากเปลือกชั้นนอกของเมล็ดลูกสำรองด้วยสารละลายต่าง พบว่ามีค่าความเป็นเจล (Young modulus, G') เพิ่มขึ้นเกือบ 10 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องดื่มน้ำลูกสำรองความเข้มข้นเดียวกันที่จำหน่ายทางการค้า เนื่องจากสารละลายต่างตัดพันธะบางชนิดทำให้ไม่พบกรด uronic และ galactouronic ในโมเลกุลของใยอาหารที่สกัดจากเปลือกชั้นนอกของเมล็ดลูกสำรอง ส่งผลให้ไม่มีการผลัดประจุระหว่างตัวทำละลายและตัวถูกละลาย จึงทำให้สารละลายมีความเป็นเจลเพิ่มขึ้น (อัญชลี, 2552; Srichamroen and Chavasit, 2011) การนำเมล็ดลูกสำรองไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่อยู่ในรูปแบบ solid matrix ยังไม่หลากหลาย การพิจารณาเลือกใช้ใยอาหารที่สกัดจากเมล็ดลูกสำรองในผลิตภัณฑ์อาหารใด ๆ ผู้วิจัยพิจารณาจาก 2 ปัจจัย คือ 1) ผลิตภัณฑ์อาหารชนิดนั้นมีเนื้อสัมผัสที่พองตัวสามารถเข้ากันได้กับคุณสมบัติการดูดซับน้ำของใยอาหาร และ 2) ควรเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการบริโภคเป็นประจำเพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภค ซึ่งผู้วิจัยมีความเห็นว่าขนมปังมีลักษณะทั้งสองประการดังกล่าว

การผลิตขนมปังมีขั้นตอนการปั้นโด (dough) ก่อนเข้าเตาอบเพื่อทำให้เป็นขนมปังสุก โรงงานอุตสาหกรรมอาหารในทวีปยุโรปและอเมริกาผลิตโดแช่แข็ง (frozen dough) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดขั้นตอนระยะเวลาและประหยัดพลังงานในระดับครัวเรือนและร้านผลิตเบเกอรี่ที่รับซื้อโดแช่แข็ง ผลิตภัณฑ์โดแช่แข็งเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่จำหน่ายสำหรับความสะดวกในการนำไปอบโดยไม่ต้องเตรียมส่วนผสม อาจเรียกว่า ready-to-cook food ผู้บริโภคสามารถนำโดแช่แข็งเข้าเตาอบเพื่อรับประทานขนมปังสุกใหม่ตามเวลาสะดวกที่ต้องการบริโภค นอกจากนี้ การแช่แข็งโดมีประโยชน์หลายประการ เช่น สามารถยืดอายุการเก็บรักษาและควบคุมคุณภาพของขนมปังเมื่อเข้าเตาอบ อย่างไรก็ตาม โดแช่แข็งมีข้อบกพร่องบางประการคือ ร้างแห้งหลุด

(gluten network) เสียโครงสร้าง เซลล์ยีสต์เสื่อมสภาพการทำงานเมื่อเก็บรักษาโดในสภาวะอุณหภูมิต่ำทำให้ลดการกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในโครงสร้างของร่างแหกลูเตน เมื่อนำโดแช่แข็งไปอบจะได้ขนมปังสุก ที่มีปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ลดลง ขนมปังขาดความยืดหยุ่น (springiness) และเนื้อขนมปังมีความแข็ง (crumb hardness) เพิ่มขึ้น (Jia et al., 2017) งานวิจัยหลายชิ้นมีการพัฒนาสูตรขนมปังโดแช่แข็งเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ส่วนผสมที่นิยมใช้ในสูตรขนมปังคือ กลูเตน (gluten), อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) (Rosell and Gomez, 2007)

โครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides) มีส่วนประกอบของหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) สามารถจับพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำได้เป็นอย่างดี เช่น แซนแทนกัม (xanthan gum) สามารถยึดพันธะระหว่างโมเลกุลน้ำกับโปรตีนในแป้งสาลี ช่วยตรึงโครงสร้างร่างแหกลูเตน (gluten network) ในโดระหว่างเก็บรักษาในอุณหภูมิแช่แข็ง ทำให้เพิ่มปริมาณน้ำและกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในโดแช่แข็ง จึงช่วยเพิ่มปริมาตรของขนมปังสุก สำหรับกัวกัม (guar gum) สามารถป้องกันภาวะขาดโมเลกุลน้ำ (dehydration) ในโครงสร้างร่างแหกลูเตน และช่วยลดการหดตัวของปริมาตรขนมปังสุก โยอาหารเซลลูโลสชนิด carboxymethyl cellulose ช่วยลดการสูญเสียโมเลกุลน้ำในโดแช่แข็ง โยอาหารคาราจีแนน (carrageenan) สามารถจับพันธะกับโปรตีนกลูเตนิน (glutenin) ช่วยเพิ่มความสามารถการอุ้มน้ำในโดและลดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำอิสระ จึงทำให้ลดการสูญเสียโมเลกุลน้ำจากโดแช่แข็ง (Feng et al., 2020)

งานวิจัยนี้วางแผนการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐานเรื่อง การแช่แข็งโดของขนมปังสูตรเสริมโยอาหารสกัดจากเมล็ดลูกสำรองเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์และหนึ่งเดือน เมื่อนำโดแช่แข็งเข้าเตาอบขนมปังมีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีเปลี่ยนแปลงหรือไม่ และเมื่อนำขนมปังทดสอบด้วยเอนไซม์ α -amylase โยอาหารสกัดจากเมล็ดลูกสำรองที่อยู่ในเนื้อขนมปังช่วยชะลอการย่อยโมเลกุลแป้งทำให้มีปริมาณลดลงของโมเลกุลมอลโตสและกลูโคส โดยเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรดั้งเดิมที่ไม่ผ่านการแช่แข็งโด ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดเรียกว่าขนมปังสูตร Fresh และขนมปังสูตรดั้งเดิมที่แช่แข็งโด ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดเรียกว่าขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุม งานวิจัยนี้มีขนมปังสูตรเสริมกัวกัม (guar gum) เพื่อเป็น positive control เนื่องจากมีบทความงานวิจัยหลายชิ้นในสัตว์ทดลองและมนุษย์แสดงว่ากัวกัมมีคุณสมบัติชะลอการเคลื่อนที่ของโมเลกุลกลูโคสในลำไส้เล็ก

อุปกรณ์และวิธีการ

วัตถุดิบ

เมล็ดลูกสำรองซื้อจากตลาดสดในจังหวัดชลบุรี เก็บตัวอย่างเมล็ดลูกสำรองแห้งตามหลักการ Herbarium ที่ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี นางงาม ระบุสายพันธุ์ *Scaphium affine* (Mast.) Pierre เลขลำดับของ voucher specimen No. 003567 เมล็ดลูกสำรองถูกนำมาสกัดโดยบดเปลือกชั้นนอกที่เป็นสีคล้ำของเมล็ดลูกสำรองให้มีขนาดอนุภาค 0.5 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรง mesh size 0.5 mm) นำผงเมล็ดลูกสำรองแช่ในน้ำกลั่นด้วยอัตราส่วนเนื้อต่อน้ำ 1:100 (w/v) นำไปวางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ต้มให้เดือดเป็นเวลา 1.5 ชั่วโมง เพื่อให้ผง

เมล็ดลูกสำรองละลายน้ำอย่างสมบูรณ์ จากนั้นทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30-31 องศาเซลเซียส) เติมน้ำละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.5 mol/L คนให้ละลายที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10-15 นาที เติมน้ำ absolute ethanol ด้วยอัตราส่วน 1:1 (v/v) ตั้งทิ้งไว้หนึ่งคืนเพื่อให้อนุภาคใยอาหารตกตะกอน นำตะกอนละลายน้ำกลั่นและปรับ pH 7.4 นำไปกรอง และนำส่วนตะกอนไปทำให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นไม่เกินร้อยละ 8 บดตะกอนให้มีขนาดอนุภาค 100 ไมโครเมตร โดยร่อนผ่านตะแกรง mesh sieve (Srichamroen and Chavasit, 2011)

สารเคมีทุกชนิด เอนไซม์ pepsin และ α -amylase ที่ใช้ในงานวิจัยเป็น analytical grade สั่งซื้อจากบริษัท Sigma Chemical Co. (St. Louis MO, USA) Dialysis membrane (molecular weight cutoff of 12,000) สั่งซื้อจากบริษัท Membrane Filtration Products Inc. (Texas, USA)

วิธีทำขนมปัง

สูตรขนมปังที่ใช้เป็นกลุ่มควบคุมในงานวิจัย มีส่วนผสมแป้งสาลี 60 กรัม น้ำมันถั่วเหลือง 3.5 กรัม ยีสต์ 1.5 กรัม เกลือ 0.5 กรัม น้ำตาลทราย 0.5 กรัม น้ำ 34 กรัม ขนมปังสูตรที่มีการเสริมใยอาหารมีส่วนผสมเหมือนกับสูตรขนมปังกลุ่มควบคุม ยกเว้นการทดแทนแป้งสาลีด้วยใยอาหารในปริมาณเท่ากัน ขนมปังสูตรเสริมใยอาหารแบ่งเป็น 3 สูตร คือ 1) กวักัม (guar gum) ปริมาณ 0.5 กรัม/100 กรัม 2) ใยอาหารสกัดจากเมล็ดลูกสำรอง ต่อไปเรียกว่า Malva nut gum (MNG) ปริมาณ 0.5 กรัม/100 กรัม และ 3) MNG ปริมาณ 1.0 กรัม/100 กรัม โดยใยอาหารทุกชนิดละลายน้ำอย่างสมบูรณ์ก่อนเติมในส่วนผสมทั้งหมด เนื่องจากใยอาหารจากเมล็ดลูกสำรองดูดซับน้ำปริมาณมากในช่วงการอบขนมปัง ขนมปังสูตรเสริม MNG จึงมีปริมาณน้ำเพิ่มจากสูตรอื่นอีก 6 กรัม เพื่อป้องกันการขาดโมเลกุลน้ำในช่วงการพัฒนาโครงสร้างร่างแหกลูเตน (ข้อมูลจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Srichamroen, 2014) ส่วนผสมทั้งหมดของแต่ละสูตรขนมปังนวดให้เข้ากัน และปั้นก้อนกลมเรียกว่าโด (dough) นำโดเข้าเตาอบอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 อบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง บรรจุโดในถุงพลาสติกชนิด โพลีโพรพิลีน (polypropylene) นำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน และ 30 วัน ตามลำดับ

เมื่อครบกำหนดเวลาแช่แข็ง นำโดออกจากตู้แช่แข็งรอให้มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นวดโดอีกครั้งให้ส่วนผสมเข้ากันและชั่งน้ำหนักก้อนละ 210 กรัม วางบนกระดาษสแตนเลสสำหรับขนมปัง (ความยาว 19 เซนติเมตร กว้าง 8 เซนติเมตร สูง 8 เซนติเมตร) นำเข้าเตาอบขนมปัง (บริษัทกล้วยน้ำไท กรุงเทพฯ) อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที นำขนมปังสุกจากเตาอบทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี สำหรับการศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมปัง บรรจุขนมปังในถุงพลาสติกชนิด โพลีโพรพิลีน (polypropylene) เก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วันเพื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

ความสูงขนมปัง ปริมาตรขนมปัง และปริมาตรจำเพาะ

วิเคราะห์ความสูงของขนมปังสุกด้วยอุปกรณ์ calibrated calipers โดยวัดจากจุดกึ่งกลางของก้อนขนมปัง วิเคราะห์ปริมาตรขนมปังสุก (loaf volume) ด้วยการใช้เมล็ด rapeseed เติมนลงในแม่พิมพ์ที่มีขนมปังสุกวางไว้ จากนั้นนำเมล็ด rapeseed เทใส่กระบอกตวงเพื่ออ่านปริมาตรของขนมปังสุกโดยมีหน่วยเป็นมิลลิลิตร ตามวิธี AACC approved Method 10-05 (AACC, 2000) ค่าปริมาตรจำเพาะ (specific volume) คือการคำนวณปริมาตรของขนมปังหารด้วยน้ำหนักของขนมปัง

$$\text{ค่าปริมาตรจำเพาะ} = \frac{\text{ปริมาตรของขนมปัง (mL)}}{\text{น้ำหนักของขนมปัง (g)}}$$

ความชื้นของขนมปัง

เนื้อขนมปังส่วนที่อยู่กึ่งกลางของก้อนขนมปัง นำมาทำให้เป็นชิ้นเล็ก เพื่อวิเคราะห์ค่าความชื้นของขนมปังด้วยเครื่องอบลมร้อน (hot air oven) อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง

ความแข็งของเนื้อขนมปัง

เนื้อขนมปังส่วนที่อยู่กึ่งกลางของก้อนขนมปัง นำมาหั่นเป็นชิ้นขนาดกว้าง ยาว สูง ด้านละ 2 เซนติเมตร วิเคราะห์ด้วยเครื่อง QTS Brookfield Texture Analyzer (Middleboro, MA, USA) โดยกำหนดให้กดเนื้อขนมปังลึกร้อยละ 40 ของความสูงขนมปัง มีขนาด compression load 25 กิโลกรัม ด้วยความเร็ว (cross-head speed) 60 มิลลิเมตรต่อวินาที (Srichamroen, 2014)

การย่อยแป้งในขนมปังสุก ทำในหลอดทดลอง (*In vitro* digestibility of starch of bread)

งานวิจัยนี้เป็นการเลียนแบบและดัดแปลงบางส่วน (partial simulation) จากทฤษฎีการย่อยอาหารในร่างกายมนุษย์ โดยคำนวณเนื้อขนมปังที่มีแป้งสาลีปริมาณ 40 กรัม ใส่ในสารละลาย sodium phosphate buffer (pH 6.9) ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร (Symons and Brennan, 2004) เติมน้ำ pepsin ปริมาณ 5.75 ยูนิต ต่อแป้ง 1 กรัม ใช้กรด HCl ปรับสารละลายทั้งหมดให้มี pH 1.5 วางในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (shaking water bath) ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นใช้สารละลายเข้มข้น NaOH ปรับสารละลายทั้งหมดให้มี pH 6.9 เติมน้ำ porcine pancreatic α -amylase ปริมาณ 110 ยูนิตต่อแป้ง 1 กรัม แล้วนำส่วนผสมทั้งหมดใส่ในถุง dialysis membrane และนำไปใส่ในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ที่มีน้ำกลั่น (deionized water) ปริมาตร 250 มิลลิลิตร วางขวดรูปชมพู่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า ควบคุมอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยทุก 15, 30, 60, 120, 180 นาที ตูดสารละลายภายในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 2 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณกลูโคสและมอลโตส

วิเคราะห์ปริมาณกลูโคสและมอลโตส

นำสารละลายจากขบวนการหมักในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าดังกล่าวข้างต้น วิเคราะห์ปริมาณกลูโคสและมอลโตสด้วยเครื่อง HPLC (Shimadzu, Kyoto, Japan) โดยกรองสารละลายผ่าน filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร และใช้ปริมาตร 10 ไมโครลิตรฉีดเข้าเครื่อง HPLC ที่มีคอลัมน์ Inertsil® NH₂ 5 um, dimension 4.6 x 250 mm โดยมีเฟสเคลื่อนที่เป็นสารละลายผสม CH₃CN/H₂O อัตราส่วน 75/25 กำหนดอัตราไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เครื่อง HPLC ประกอบด้วย refractive index detector ซึ่งสามารถวิเคราะห์ปริมาณน้อยสุด (detection limit) ที่ระดับ 0.01 มิลลิโมลต่อลิตร

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (Scanning electron microscopy, SEM)

เนื้อขนมปังถูกตัดเป็นชิ้นเล็กวางบนภาตอลูมิเนียมที่มีคาร์บอนเป็นสื่อนำสัญญาณ (conductivity) จากส่วนบนถึงฐาน และนำไปฉาบทองคำ (gold) ด้วยเครื่อง Sputter Coater Model SC 7620 (Quorum Technologies Ltd., UK) จากนั้นนำเนื้อขนมปังที่ฉาบทองคำไปเข้าเครื่อง Scanning electron microscope (LEO model 1455 VP, LEO Electron Microscopy Ltd., Cambridge, England) กำหนดกำลัง 10 kV of electron beam-accelerating voltage.

วิเคราะห์สถิติ

การวิเคราะห์ในงานวิจัยทำ 3 ซ้ำ ผลการทดลองแสดงเป็นค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าทางสถิติใช้โปรแกรม SPSS Statistics 17.0 for Windows ค่าวิเคราะห์ต่าง ๆ ในงานวิจัยใช้สถิติ ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองด้วย Student-Newman-Keuls (SNK) ที่ระดับความเชื่อมั่น $P < .05$ สำหรับค่าวิเคราะห์กลูโคสและมอลโตสใช้สถิติ Repeated Measurement ANOVA และวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่มทดลองด้วย SNK ที่ระดับความเชื่อมั่น $P < .05$

ผลการทดลองและอภิปรายผล

ปริมาตรขนมปังสุก และปริมาตรจำเพาะ

การแช่แข็งได้อาจส่งผลให้ขนมปังสุกมีปริมาตรลดลง ซึ่งการแช่แข็งเป็นระยะเวลานานจะส่งผลต่อการลดปริมาตรมากขึ้น เนื่องจากระหว่างการแช่แข็งโด โมเลกุลน้ำในโดเกิดผลึกน้ำแข็ง (ice crystal) และการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำออกจากโครงสร้างร่างแหกลูเตน (gluten network) ทำให้โครงสร้างร่างแหกลูเตนมีการแตกตัว ส่งผลให้เม็ดแป้ง (starch granules) คลายพันธะที่จับกับโครงสร้างร่างแหกลูเตน ทำให้ขนมปังสุกมีปริมาตร (loaf volume) ลดลง (Rosell and Gomez, 2007) และส่งผลให้ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ลดลง (Mezaize et al., 2010) สอดคล้องกับผลการทดลองในตารางที่ 1 และ 2 พบว่าขนมปังโดแข็งสูตรควบคุมมีความสูงและปริมาตรลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรควบคุมที่ไม่แช่แข็งโด (ต่อไปเรียกว่า สูตร Fresh)

ขนมปังสูตรเสริมกัวกัมที่แช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ (Table 1) มีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตร Fresh ยกเว้นขนมปังสูตรเสริม 0.5% MNG มีปริมาณใกล้เคียงและสูตรเสริม 1% MNG มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตร Fresh และพบว่าขนมปังสูตรเสริม 1% MNG มีปริมาณมากกว่าขนมปังสูตรเสริม 0.5% MNG แสดงว่า MNG ปริมาณเพิ่มขึ้นสามารถจับพันธะกับโมเลกุลน้ำได้มากขึ้น จึงอาจช่วยลดความเสียหายของโครงสร้างร่างแหกลูเตนในช่วงแรกของการแช่แข็ง เมื่อนำโดเข้าเตาอบขนมปังโดสามารถขยายตัวเพิ่มขึ้นในระหว่างการอบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Park et al. (2016) ที่แสดงว่าใยอาหาร Fructo-oligosaccharide และ Isomalto-oligosaccharide ช่วยป้องกันความเสียหายของโครงสร้างร่างแหกลูเตนในช่วงเริ่มต้นของการแช่แข็งโด ทำให้ขนมปังสูตรเสริมใยอาหารมีปริมาณมากกว่าขนมปังสูตรควบคุม

การเปรียบเทียบปริมาณของขนมปังสุกอาจไม่สามารถแสดงความแตกต่างหลายปัจจัย จึงนิยมใช้การเปรียบเทียบด้วยค่าปริมาตรจำเพาะ (specific volume) โดยคำนวณปริมาตรของขนมปังสุกหารด้วยน้ำหนักของขนมปัง ซึ่งสามารถแสดงความแตกต่างได้สองปัจจัยทั้งปริมาตรและน้ำหนักของขนมปัง ผลการทดลองแสดงว่าขนมปังสูตรเสริมกัวกัมมีปริมาตรน้อยกว่าขนมปังสูตร Fresh อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table 1) แต่ขนมปังสูตรเสริมกัวกัมมีค่าปริมาตรจำเพาะมากกว่าขนมปังสูตร Fresh อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .05$) เนื่องจากกัวกัมมีคุณสมบัติการจับพันธะโมเลกุลน้ำที่ดีจึงทำให้เนื้อขนมปังเกาะตัวแน่นและมีน้ำหนักขนมปังมากถึงแม้ว่าขนมปังสูตรเสริมกัวกัมมีรูปลักษณะภายนอกเล็กกว่าขนมปังสูตร Fresh สำหรับขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริม 1% MNG มีปริมาณมากกว่าขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุม (Table 1) แต่ขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริม 1% MNG มีค่าปริมาตรจำเพาะน้อยกว่าขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุม เนื่องจากขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริม 1% MNG มีน้ำหนักมากกว่าขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุม แสดงว่าใยอาหารสกัด 1% MNG สามารถยึดพันธะโมเลกุลน้ำได้มาก ทำให้ขนมปังมีปริมาตรและน้ำหนักมากกว่า ขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุม ผลการทดลองชี้แนะไปทางเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริม 1% MNG และขนมปังสูตร Fresh พบว่าขนมปังทั้งสองสูตรมีปริมาตรและปริมาตรจำเพาะใกล้เคียงกัน ซึ่งบ่งชี้ว่าใยอาหารสกัด 1% MNG ช่วยลดความเสียหายของโครงสร้างร่างแหกลูเตนในระหว่างการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ทำให้เนื้อขนมปังมีการขยายตัวและมีน้ำหนักของขนมปังสุกใกล้เคียงกับขนมปังสูตร Fresh ที่ไม่ผ่านการแช่แข็งโด

ขนมปังสูตรเสริมใยอาหารที่แช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งเดือน (Table 2) มีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรเสริมใยอาหารชนิดเดียวกันที่แช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ (Table 1) ยกเว้น ขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุม เมื่อแช่แข็งโดนานขึ้นเป็นเวลาหนึ่งเดือนทำให้ขนมปังมีปริมาณลดลง บ่งชี้ว่าใยอาหารในสูตรขนมปังยึดพันธะโมเลกุลน้ำได้มาก จึงช่วยคงสภาพของปริมาตรของขนมปังสุกได้ดี อาจเนื่องมาจากการจับพันธะระหว่างโมเลกุลของใยอาหารและโมเลกุลน้ำ ซึ่งทำให้โดมีโมเลกุลน้ำอิสระลดลง จึงไม่เปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งในสภาวะการเก็บรักษาโดที่อุณหภูมิแช่แข็ง ส่งผลให้ลดความเสียหายของโครงสร้างร่างแหกลูเตน และมีผลทางอ้อมต่อความสามารถกักเก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในโครงสร้างร่างแหกลูเตน

สำหรับขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริมกัวกัมเมื่อแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งเดือนมีค่าปริมาตรขนมปังเพิ่มขึ้น แต่มีค่าปริมาตรจำเพาะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรเสริมกัวกัมที่แช่แข็งโดหนึ่งสัปดาห์ อาจเนื่องจาก กัวกัมมีคุณสมบัติจับพันธะกับโมเลกุลน้ำแล้วมีโครงสร้างลักษณะ entanglement network ทำให้เนื้อขนมปัง เกาะตัวกันแน่นจึงมีน้ำหนักของขนมปังเพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรอื่น แต่ปริมาตรของขนมปังไม่ขยายตัวเพิ่มขึ้น อย่างเป็นอัตราส่วน จึงทำให้ค่าคำนวณของปริมาตรจำเพาะลดลง ผลการทดลองบ่งชี้ว่า ใยอาหารกัวกัม ทำให้ขนมปังมีปริมาตรและน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อแช่แข็งโดนานขึ้นเป็นเวลาหนึ่งเดือน

Table 1. Physical properties of fresh, control and gum-containing breads after frozen dough for 1 week.

Breads	Height (cm)	Loaf volume (mL)	Specific volume (mL/g)
Fresh	7.85 ± 0.03 ^a	730 ± 7.27 ^{ab}	3.80 ± 0.07 ^b
Control	6.63 ± 0.09 ^b	720 ± 2.82 ^b	4.26 ± 0.03 ^a
Guar gum	5.17 ± 0.08 ^c	705 ± 6.08 ^c	4.18 ± 0.05 ^a
0.5 % MNG	6.29 ± 0.21 ^b	720 ± 4.24 ^b	3.75 ± 0.07 ^b
1.0 % MNG	6.50 ± 0.17 ^b	740 ± 5.15 ^a	3.92 ± 0.04 ^b

Data present as mean ± standard deviation.

^{a-c} different letters following means within the same column indicate a significant difference at the $P < .05$ level. Fresh means bread without frozen-dough treatment; Control means frozen-dough bread; Guar gum means frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; MNG means frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level 0.5 g/100 g concentration and 1.0 g/100 g concentration.

Table 2. Physical properties of fresh, control and gum-containing breads after frozen dough for 1 month.

Breads	Height (cm)	Loaf volume (mL)	Specific volume (mL/g)
Fresh	7.92 ± 0.25 ^a	740 ± 6.95 ^a	3.91 ± 0.05 ^b
Control	7.14 ± 0.17 ^a	680 ± 2.94 ^b	3.76 ± 0.02 ^b
Guar gum	4.74 ± 0.55 ^b	741 ± 9.89 ^a	3.73 ± 0.03 ^b
0.5% MNG	5.55 ± 0.18 ^b	780 ± 16.97 ^a	4.17 ± 0.06 ^a
1.0% MNG	5.61 ± 0.38 ^b	790 ± 26.76 ^a	4.29 ± 0.04 ^a

Data present as mean ± standard deviation.

^{a-b} different letters following means within the same column indicate a significant difference at the $P < .05$ level. Fresh means bread without frozen-dough treatment; Control means frozen-dough bread; Guar gum means frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; MNG means frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level 0.5 g/100 g concentration and 1.0 g/100 g concentration.

ความชื้นของขนมปัง

ขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุมมีความชื้นน้อยกว่าขนมปังสูตร Fresh ตลอดอายุการเก็บรักษาเป็นเวลา 3 วัน ทั้งการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์และหนึ่งเดือน (Table 3 and 4) งานวิจัยนี้เลือกใช้ระยะเวลา 3 วัน เนื่องจากเป็นช่วงเวลาอายุการเก็บรักษาที่จำหน่ายเป็นส่วนใหญ่จากร้านค้า ขนมปังแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์สูตรเสริม 0.5% MNG และ 1% MNG มีค่าความชื้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังทุกสูตรตั้งแต่วันแรกถึงวันที่สาม (Table 3) ขนมปังทุกสูตรมีค่าความชื้นลดลงจากเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละสูตรในวันแรกที่ออกจากเตาอบ โดยขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุมมีแนวโน้มการลดลงเร็วกว่าขนมปังโดแช่แข็งเสริมใยอาหารทุกสูตร เนื่องจากใยอาหารมีความสามารถยึดพันธะกับโมเลกุลน้ำสูง (high affinity) จึงดูดซับน้ำไว้ได้ดีในระหว่างการแช่แข็งโด (Crittenden and Playne, 1996) ทำให้ขนมปังมีความชื้นใกล้เคียงกับขนมปังที่อบวันแรก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Park et al. (2016) แสดงว่าขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริมใยอาหารมีความชื้นในขนมปังสูงกว่าขนมปังสูตรควบคุม ซึ่งความชื้นปริมาณที่พอดีเป็นลักษณะที่พึงประสงค์ของขนมปังทำให้ขนมปังคงสภาพความสดและเนื้อสัมผัสที่ดี

ขนมปังโดแช่แข็งเป็นเวลาหนึ่งเดือนสูตรเสริมกัวกัม (Table 4) มีค่าความชื้นวันแรกใกล้เคียงกับขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริม 1% MNG แต่ขนมปังสูตรเสริมกัวกัมมีความชื้นลดลงมากในวันที่สามของอายุการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรเสริม 1% MNG ที่มีความชื้นลดลงด้วยอัตราที่สม่ำเสมอ สอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (Srichamroen and Chavasit, 2011) เสนอว่าใยอาหารสกัดจากเมล็ดลูกสำรองเมื่อละลายน้ำ ก่อให้เกิดเจล ซึ่งเป็นผลมาจากการจับพันธะกันเองภายในโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ (intramolecular structure) และจับพันธะแบบ polymer-polymer interaction ดังนั้นผลการทดลองครั้งนี้อาจชี้แนะว่า

MNG สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากในโครงสร้างโมเลกุลใหญ่ ทำให้ขนมปังมีความชื้นลดลงแบบช้าในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา

Table 3. Moisture contents of fresh, control and gum-containing breads after frozen dough for 1 week.

Breads	Moisture content (g/100g)		
	Day 0	Day 1	Day 3
Fresh	41.21 ± 0.28 ^{bc}	39.54 ± 0.83 ^b	37.15 ± 0.18 ^c
Control	38.63 ± 0.75 ^c	34.78 ± 0.93 ^c	32.65 ± 0.28 ^d
Guar gum	40.84 ± 1.31 ^{bc}	39.98 ± 0.48 ^b	38.53 ± 0.49 ^b
0.5% MNG	43.63 ± 0.89 ^{ab}	43.41 ± 0.23 ^a	41.78 ± 0.15 ^a
1.0% MNG	45.49 ± 1.11 ^a	43.24 ± 0.39 ^a	42.54 ± 0.28 ^a

Data present as mean ± standard deviation.

^{a-d} different letters following means within the same column indicate a significant difference at the $P < .05$ level. Fresh means bread without frozen-dough treatment; Control means frozen-dough bread; Guar gum means frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; MNG means frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level 0.5 g/100 g concentration and 1.0 g/100 g concentration.

Table 4. Moisture contents of fresh, control and gum-containing breads after frozen dough for 1 month.

Breads	Moisture content (g/100g)		
	Day 0	Day 1	Day 3
Fresh	42.37 ± 1.95 ^a	40.54 ± 0.42 ^c	38.15 ± 0.09 ^c
Control	37.17 ± 1.81 ^b	33.35 ± 0.38 ^d	31.89 ± 0.57 ^d
Guar gum	44.41 ± 0.75 ^a	44.14 ± 0.28 ^a	42.02 ± 0.43 ^a
0.5% MNG	42.16 ± 0.25 ^a	40.45 ± 0.39 ^c	39.75 ± 0.35 ^b
1.0% MNG	44.08 ± 0.21 ^a	42.32 ± 0.15 ^b	41.75 ± 0.22 ^a

Data present as mean ± standard deviation.

^{a-c} different letters following means within the same column indicate a significant difference at the $P < .05$ level. Fresh means bread without frozen-dough treatment; Control means frozen-dough bread; Guar gum means frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; MNG means frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level 0.5 g/100 g concentration and 1.0 g/100 g concentration.

ความแข็งของเนื้อขนมปัง

ขนมปังสูตรควบคุมที่แช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์และหนึ่งเดือนมีค่าความแข็งของเนื้อขนมปัง (crumb hardness) เพิ่มขึ้นในวันที่สามของอายุการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตร Fresh (Tables 5 and 6) ซึ่งค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นของเนื้อขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุมสัมพันธ์แปรผกผันกับค่าความชื้นที่ลดลงของขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุม (Tables 3 and 4) เนื่องจากอุณหภูมิต่ำของการแช่แข็งโดทำให้โมเลกุลน้ำเกิดเป็นผลึกน้ำแข็ง โครงสร้างร่างแหกลูเตนจึงสูญเสียโมเลกุลน้ำอิสระ ส่งผลต่อการละลายของเม็ดแป้ง (starch granule) ลดลง (Scanlon and Zghal, 2001) ทำให้มีการจัดเรียงตัวใหม่ในโครงสร้างของโด ซึ่งส่งผลกระทบหลังจากอบขนมปังสุกและอายุการเก็บรักษา อาจก่อให้เกิดภาวะ starch retrogradation เพิ่มขึ้นในขนมปังที่มาจากโดแช่แข็ง จึงทำให้ขนมปังมีความแข็งเพิ่มขึ้น (Ribotta et al., 2003)

ขนมปังเสริมใยอาหารทุกชนิดที่ผ่านการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ (Table 5) หลังออกจากเตาอบมีค่าความแข็งน้อยกว่าขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < .05$) โดยขนมปัง โดแช่แข็งสูตรเสริม 1% MNG มีค่าความแข็งน้อยที่สุด เนื่องจากใยอาหาร MNG มีโครงสร้างโมเลกุลใหญ่และสามารถดูดซับโมเลกุลน้ำ ทำให้ลดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำอิสระ จึงป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งในการแช่แข็งโดสอดคล้องกับงานวิจัยของ Park et al. (2016) แสดงว่าใยอาหารช่วยลดการเกิดผลึกน้ำแข็งในโด ทำให้คงสภาพของโมเลกุลน้ำอิสระและช่วยเพิ่มการขึ้นฟูของโด (dough proofing) ก่อนนำไปอบ เนื้อสัมผัสของขนมปังจึงมีความนุ่มที่เหมาะสม

ขนมปังแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งเดือน (Table 6) มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งตลอดอายุการเก็บรักษาล้ากับการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ (Table 5) การแช่แข็งนานหนึ่งเดือนทำให้ขนมปังโดแช่แข็งสูตรควบคุมมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น 7.5 % ในวันที่สามของอายุการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรเดียวกันที่มีการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ ขนมปังสูตรเสริม 0.5% MNG และ 1% MNG มีค่าความแข็งใกล้เคียงกันในวันที่สามของอายุการเก็บรักษาเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์และหนึ่งเดือน (Tables 5 and 6) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Purhagen et al. (2012) เสนอแนวคิดไว้ว่าใยอาหารชนิดละลายน้ำสามารถดูดซับโมเลกุลน้ำ (water holding capacity) ปริมาณมาก ทำให้ลดการเกิด starch retrogradation ในขนมปัง จึงส่งผลให้ลดความแข็งของเนื้อขนมปังในช่วงอายุการเก็บรักษา ผลการทดลองครั้งนี้ชี้แนะว่าใยอาหารสกัดจากลูกสำรองอาจช่วยลดการเกิด starch retrogradation ของขนมปัง

Table 5. Hardness of fresh, control and gum-containing breads after frozen dough for 1 week.

Breads	Hardness (newton, N)		
	Day 0	Day 1	Day 3
Fresh	7.82 ± 1.22 ^a	17.92 ± 1.95 ^a	20.25 ± 0.35 ^b
Control	6.24 ± 1.36 ^b	16.75 ± 0.35 ^a	21.75 ± 0.07 ^a
Guar gum	6.10 ± 1.41 ^b	11.87 ± 1.21 ^b	17.94 ± 1.27 ^c
0.5% MNG	5.83 ± 0.89 ^b	10.43 ± 0.56 ^b	17.26 ± 1.69 ^c
1.0% MNG	5.34 ± 0.62 ^b	9.61 ± 0.84 ^b	18.85 ± 1.23 ^c

Data present as mean ± standard deviation.

^{a-c} different letters following means within the same column indicate a significant difference at the $P < .05$ level. Fresh means bread without frozen-dough treatment; Control means frozen-dough bread; Guar gum means frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; MNG means frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level 0.5 g/100 g concentration and 1.0 g/100 g concentration.

Table 6. Hardness of fresh, control and gum-containing breads after frozen dough for 1 month.

Breads	Hardness (newton, N)		
	Day 0	Day 1	Day 3
Fresh	8.05 ± 1.24	18.24 ± 1.55 ^{ab}	21.45 ± 1.23 ^b
Control	7.61 ± 2.26	20.21 ± 0.25 ^a	23.37 ± 0.32 ^a
Guar gum	8.13 ± 1.59	15.97 ± 1.26 ^{bc}	18.33 ± 0.37 ^c
0.5% MNG	8.40 ± 1.96	14.05 ± 1.41 ^{cd}	16.89 ± 1.34 ^{cd}
1.0% MNG	7.88 ± 1.34	12.74 ± 0.99 ^d	16.21 ± 0.02 ^d

Data present as mean ± standard deviation.

^{a-d} different letters following means within the same column indicate a significant difference at the $P < .05$ level. Fresh means bread without frozen-dough treatment; Control means frozen-dough bread; Guar gum means frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; MNG means frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level 0.5 g/100 g concentration and 1.0 g/100 g concentration.

การย่อยแป้งในขนมปังสุก ทำในหลอดทดลอง (*In vitro* digestibility of starch of bread)

การย่อยอาหารในกระเพาะอาหารมีสารละลายบัฟเฟอร์และเอนไซม์หลายชนิดอยู่ในสภาวะ pH 1.5 เอนไซม์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ pepsin ซึ่งทำหน้าที่ตัดพันธะเพปไทด์ (peptides) ในโมเลกุลอาหาร สำหรับการย่อยอาหารในลำไส้เล็กส่วน duodenum และ jejunum มีสารละลายบัฟเฟอร์และเอนไซม์หลายชนิดในสภาวะ pH หลายระดับขึ้นอยู่กับตำแหน่งของลำไส้เล็ก (pH 6.5 - 7.4) งานวิจัยนี้เลือกใช้เอนไซม์ α -amylase ซึ่งมีส่วนเกี่ยวข้องสำหรับการย่อยโมเลกุลแป้งเป็นมอลโตสและกลูโคสตามลำดับ แนวคิดงานวิจัยคือการผสมขนมปังรวมกับเอนไซม์ α -amylase ในถุง dialysis ซึ่งเอนไซม์จะตัดพันธะ

ของโมเลกุลแบ่งได้เป็นมอลโตสและกลูโคสแล้วเคลื่อนที่ออกผ่านผนังเมมเบรนของถุง dialysis คำถามงานวิจัยคือโยอาหารในขนมปังสามารถชะลอการทำงานของเอนไซม์ α -amylase และชะลอการเคลื่อนที่โมเลกุลมอลโตสและกลูโคสผ่านผนังเมมเบรนได้หรือไม่ งานวิจัยนี้เลือกใช้เอนไซม์ pepsin ร่วมด้วยเพื่อควบคุมปัจจัยรบกวน (confounding factor) เนื่องจากการยึดพันธะระหว่างโยอาหารและโครงสร้างร่างแหกลูเตนทำให้เป็นโมเลกุลใหญ่ที่มีโครงสร้างซับซ้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจส่งผลทำให้เอนไซม์ α -amylase ไม่สามารถย่อยแบ่งในโครงสร้างซับซ้อนดังกล่าวอย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นการเลือกใช้เอนไซม์ pepsin จึงมีเหตุผลสองประการคือช่วยลดขนาดโมเลกุลใหญ่โครงสร้างซับซ้อนดังกล่าว และเป็นการเลียนแบบร่างกายมนุษย์ที่อาหารผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ pepsin ในกระเพาะอาหารก่อนถึงลำไส้เล็ก

ผลการทดลองในตารางที่ 7-10 แสดงว่าขนมปังสูตร Fresh มีปริมาณมอลโตสและกลูโคสสูงที่สุด ขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริมโยอาหารทุกสูตรที่มีการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์และหนึ่งเดือนมีปริมาณมอลโตสลดลง 66-88 % และกลูโคสลดลง 43-69 % เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตร Fresh สอดคล้องกับงานวิจัยของ Brennan et al. (1996) ที่มีการทำขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริมโยอาหารชนิด galactomannan พบว่าขั้นตอนการนวดส่วนผสมเพื่อปั้นโด ทำให้โยอาหารแทรกตัวผสมกับโครงสร้างเม็ดแป้ง (starch granules) และโครงสร้างใหญ่ของโปรตีน (protein matrix) เมื่อย้อมขนมปังด้วย lectins ซึ่ง มีความจำเพาะกับ galactomannan polymer และเมื่อนำไปส่องกล้อง fluorescence microscopy พบว่า โครงสร้างเม็ดแป้งในขนมปังถูกห่อหุ้มด้วยโมเลกุล galactomannan นักวิจัยเสนอแนวคิดไว้ว่าโยอาหาร galactomannan เป็นสิ่งกีดขวางทำให้เอนไซม์ α -amylase ไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยากับโครงสร้างเม็ดแป้ง จึงไม่สามารถย่อยแบ่งเป็นมอลโตสและกลูโคส

ขนมปังสูตรเสริมโยอาหารทุกสูตรที่ผ่านการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งเดือนมีปริมาณมอลโตสเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับสูตรเดียวกันที่มีการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ (Tables 7 and 9) แต่การแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งเดือนทำให้ขนมปังทุกสูตรมีปริมาณกลูโคสเพิ่มขึ้น 18-27 % เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรเดียวกันที่มีการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ (Tables 8 and 10) จากข้อมูลงานวิจัยของ Rosell and Gomez (2007) แสดงไว้ว่าการแช่แข็งโดทำให้โมเลกุลน้ำเกิดผลึกน้ำแข็ง และมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำออกจากโครงสร้างร่างแหกลูเตน ส่งผลให้โครงสร้างร่างแหกลูเตนมีการแตกตัวและมีการจัดเรียงตัวโครงสร้างใหม่ ผลการทดลองครั้งนี้จึงสันนิษฐานว่าขั้นตอนที่นำโดออกจากตู้แช่แข็งเพื่อรอให้มีอุณหภูมิห้องและเข้าเตาอบ ความร้อน ส่งผลให้ผลึกน้ำแข็งละลาย ทำให้มีโมเลกุลน้ำอิสระในโครงสร้างร่างแหกลูเตนที่มีการหดตัวเป็นระยะเวลานาน ทำให้โครงสร้างร่างแหกลูเตนมีการจัดเรียงตัวใหม่ ซึ่งอาจจะมีปลายสายโมเลกุลเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar) เพิ่มขึ้น ทำให้เอนไซม์ α -amylase เข้าทำปฏิกิริยาปลดปล่อยกลูโคสออกจากโครงสร้างสายยาวของแป้งเพิ่มขึ้น ซึ่งข้อสันนิษฐานดังกล่าวต้องวางแผนการทำวิจัยต่อเนื่องเพื่อพิสูจน์โครงสร้างโมเลกุล รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งระหว่างการให้ความร้อน เช่น Rapid Visco Amylograph

Table 7. Maltose contents in dialysate of *in vitro* digestion in bread after frozen dough for 1 week.

Breads	Maltose content in dialysate (mmol/L)				
	15 min	30 min	60 min	120 min	180 min
Fresh	3.87 ± 0.07 ^a	4.11 ± 0.09 ^a	4.46 ± 0.36 ^a	4.72 ± 0.25 ^a	5.16 ± 0.23 ^a
Control	0.52 ± 0.03 ^b	0.72 ± 0.04 ^b	0.87 ± 0.06 ^b	1.38 ± 0.09 ^b	1.56 ± 0.14 ^b
Guar gum	0.51 ± 0.04 ^b	0.88 ± 0.07 ^b	0.87 ± 0.09 ^b	1.35 ± 0.01 ^b	1.44 ± 0.19 ^b
0.5% MNG	0.59 ± 0.09 ^b	0.73 ± 0.04 ^b	1.00 ± 0.07 ^b	1.34 ± 0.07 ^b	1.55 ± 0.15 ^b
1.0% MNG	0.63 ± 0.05 ^b	0.79 ± 0.05 ^b	0.97 ± 0.05 ^b	1.51 ± 0.04 ^b	1.76 ± 0.13 ^b

Data present as mean ± standard deviation.

^{a-b} different letters following means within the same column indicate a significant difference at the $P < .05$ level. Fresh means bread without frozen-dough treatment; Control means frozen-dough bread; Guar gum means frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; MNG means frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level 0.5 g/100 g concentration and 1.0 g/100 g concentration.

Table 8. Glucose contents in dialysate of *in vitro* digestion in bread after frozen dough for 1 week.

Breads	Glucose content in dialysate (mmol/L)				
	15 min	30 min	60 min	120 min	180 min
Fresh	3.01 ± 0.15 ^a	3.31 ± 0.42 ^a	3.75 ± 0.16 ^a	4.03 ± 0.38 ^a	4.38 ± 0.17 ^a
Control	0.98 ± 0.03 ^b	1.04 ± 0.04 ^b	1.18 ± 0.09 ^b	1.27 ± 0.15 ^b	1.26 ± 0.09 ^c
Guar gum	1.07 ± 0.03 ^b	1.54 ± 0.29 ^b	1.59 ± 0.14 ^b	1.61 ± 0.14 ^b	1.73 ± 0.11 ^b
0.5% MNG	1.19 ± 0.04 ^b	1.19 ± 0.13 ^b	1.22 ± 0.03 ^b	1.27 ± 0.11 ^b	1.35 ± 0.06 ^c
1.0% MNG	1.18 ± 0.06 ^b	1.26 ± 0.08 ^b	1.31 ± 0.15 ^b	1.31 ± 0.02 ^b	1.37 ± 0.08 ^c

Data present as mean ± standard deviation.

^{a-c} different letters following means within the same column indicate a significant difference at the $P < .05$ level. Fresh means bread without frozen-dough treatment; Control means frozen-dough bread; Guar gum means frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; MNG means frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level 0.5 g/100 g concentration and 1.0 g/100 g concentration.

Table 9. Maltose contents in dialysate of *in vitro* digestion in bread after frozen dough for 1 month.

Breads	Maltose content in dialysate (mmol/L)				
	15 min	30 min	60 min	120 min	180 min
Fresh	3.69 ± 0.17 ^a	3.91 ± 0.23 ^a	4.57 ± 0.15 ^a	4.92 ± 0.25 ^a	5.25 ± 0.27 ^a
Control	0.44 ± 0.14 ^b	0.57 ± 0.08 ^b	1.11 ± 0.13 ^{bc}	1.33 ± 0.14 ^b	1.66 ± 0.14 ^b
Guar gum	0.51 ± 0.05 ^b	0.66 ± 0.06 ^b	0.91 ± 0.08 ^{bc}	1.48 ± 0.19 ^b	1.94 ± 0.09 ^b
0.5% MNG	0.59 ± 0.15 ^b	0.60 ± 0.11 ^b	0.72 ± 0.03 ^c	1.60 ± 0.11 ^b	1.79 ± 0.06 ^b
1.0% MNG	0.61 ± 0.13 ^b	0.76 ± 0.14 ^b	0.85 ± 0.05 ^{bc}	1.51 ± 0.15 ^b	1.83 ± 0.05 ^b

Data present as mean ± standard deviation.

^{a-c} different letters following means within the same column indicate a significant difference at the $P < .05$ level. Fresh means bread without frozen-dough treatment; Control means frozen-dough bread; Guar gum means frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; MNG means frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level 0.5 g/100 g concentration and 1.0 g/100 g concentration.

Table 10. Glucose contents in dialysate of *in vitro* digestion in bread after frozen dough for 1 month.

Breads	Glucose content in dialysate (mmol/L)				
	15 min	30 min	60 min	120 min	180 min
Fresh	3.42 ± 0.28 ^a	3.63 ± 0.19 ^a	3.98 ± 0.14 ^a	4.27 ± 0.17 ^a	4.56 ± 0.18 ^a
Control	2.14 ± 0.03 ^b	2.24 ± 0.15 ^b	2.35 ± 0.18 ^b	2.61 ± 0.05 ^{ab}	2.75 ± 0.01 ^b
Guar gum	2.11 ± 0.03 ^b	2.14 ± 0.13 ^b	2.21 ± 0.13 ^b	1.43 ± 1.27 ^b	2.64 ± 0.15 ^b
0.5% MNG	2.22 ± 0.13 ^b	2.29 ± 0.16 ^b	2.47 ± 0.17 ^b	2.43 ± 0.04 ^{ab}	2.63 ± 0.13 ^b
1.0% MNG	1.95 ± 0.04 ^b	2.01 ± 0.18 ^b	2.16 ± 0.09 ^b	2.20 ± 0.16 ^{ab}	2.36 ± 0.02 ^b

Data present as mean ± standard deviation.

^{a-b} different letters following means within the same column indicate a significant difference at the $P < .05$ level. Fresh means bread without frozen-dough treatment; Control means frozen-dough bread; Guar gum means frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; MNG means frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level 0.5 g/100 g concentration and 1.0 g/100 g concentration.

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (Scanning electron microscopy, SEM)

ขนมปังสูตร Fresh (Figure 1a) มีโครงสร้างร่างแหกลูเตนที่มีเม็ดแป้ง (starch granules) ยื่นออกมาจากพื้นผิว matrix เม็ดแป้งมีรูปร่างเป็นลักษณะ spherical และ oval ขนาดใหญ่บ้างเล็กบ้างกระจายตัวขนมปังสูตรควบคุมที่มีการแช่แข็งเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ (Figure 1b) มีลักษณะเช่นเดียวกันแต่รอยหักโครงสร้างร่างแหกลูเตนมีความสม่ำเสมอน้อยกว่าขนมปังสูตร Fresh สำหรับขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริมใยอาหาร (Figure 1c - 1e) มีลักษณะพื้นผิวเรียบเป็นแผ่น และมีเม็ดแป้งยื่นออกจากโครงสร้างร่างแหกลูเตน

จำนวนน้อยกว่าขนมปังสูตร Fresh โดยขนมปังโดแฉ่แข็งสูตรเสริม 1% MNG มีเม็ดแบ่งจำนวนน้อยกว่าสูตรทั่วๆ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Brennan et al. (1996) รายงานไว้ว่าใยอาหาร galactomannan กระจายตัวและผสมอยู่ในโครงสร้างร่างแหกลูเตนทำให้มีลักษณะพื้นผิวเรียบ ผลการทดลองครั้งนี้แสดงว่า ขนมปังทุกสูตรที่ผ่านการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งเดือน (Figure 2) มีโครงสร้างร่างแหกลูเตนที่มีรอยหยักเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแต่ละสูตรของขนมปังโดแฉ่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ (Figure 1) อาจเนื่องมาจากการแช่แข็งโดเป็นระยะเวลานานทำให้ปริมาณน้ำอิสระลดลง ส่งผลให้โครงสร้างร่างแหกลูเตนมีลักษณะเปลี่ยนแปลง

ขนมปังสูตร Fresh และสูตรควบคุมที่ผ่านการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ (Figure 3) และหนึ่งเดือน (Figure 4) ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ pepsin และ α -amylase ตามลำดับ มีพื้นผิวเป็นรูพรุนจำนวนมากและมีเม็ดแบ่งจำนวนน้อยที่ยังคงเหลือติดอยู่กับโครงสร้างร่างแหกลูเตน แสดงว่าเอนไซม์ α -amylase ย่อยเม็ดแบ่งเป็นมอลโตสและกลูโคส โดยขนมปังสูตร Fresh มีรูพรุนมากกว่าขนมปังโดแฉ่แข็งสูตรควบคุม ซึ่งผลการทดลองในรูปที่ 3 และ 4 สอดคล้องกับปริมาณมอลโตสและกลูโคสสูงที่สุดของขนมปังสูตร Fresh ในตารางที่ 7-10 สำหรับขนมปังโดแฉ่แข็งเสริมใยอาหารทุกสูตรมีรูพรุนน้อยกว่า และมีเม็ดแบ่งที่ยังไม่ถูกย่อยปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตร Fresh และขนมปังโดแฉ่แข็งสูตรควบคุม แสดงว่าใยอาหารเป็นสิ่งกีดขวางทำให้เอนไซม์ α -amylase ทำงานลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Slaughter et al. (2002) ที่กล่าวว่าใยอาหารชนิด galactomannan ห่อหุ้มรอบโมเลกุลเม็ดแบ่ง จึงเป็นสิ่งกีดขวางทำให้เอนไซม์ α -amylase ทำงานลดลง

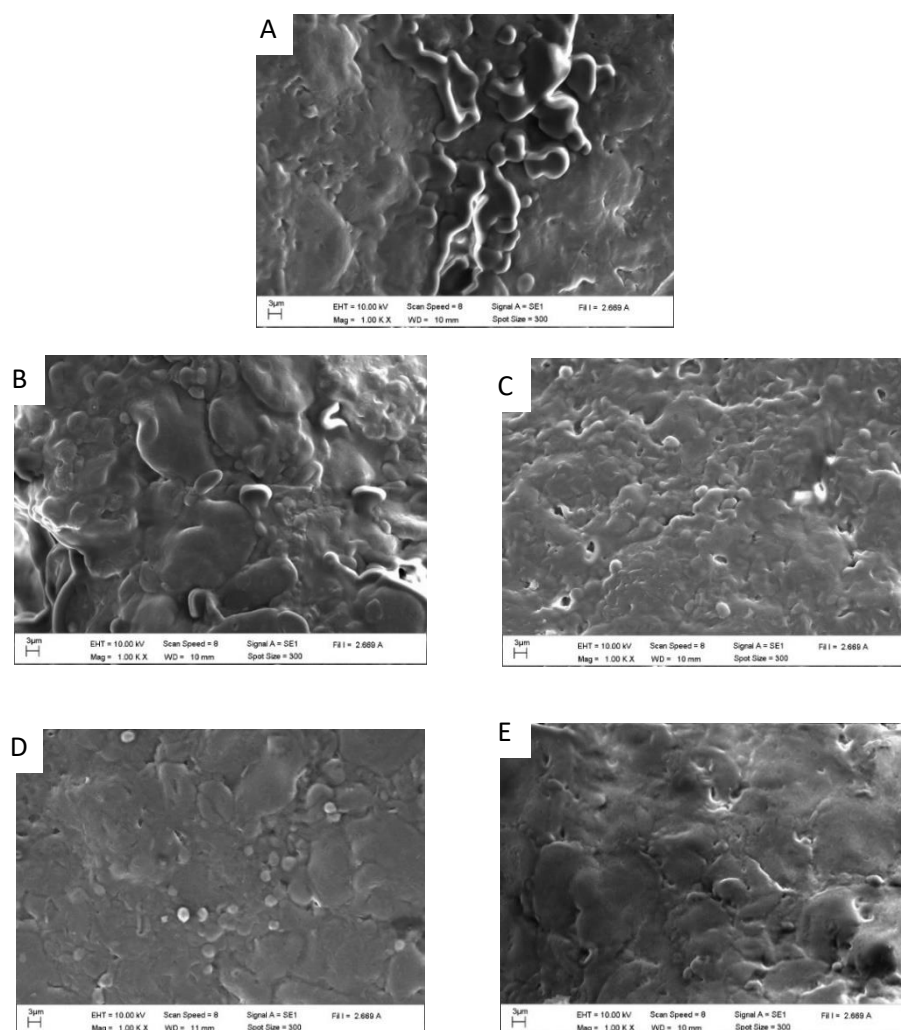


Figure 1. Scanning Electron Micrographs (1000x) of fresh, control and gum-containing breads after frozen dough for 1 week.

(A) bread without frozen-dough treatment; (B) frozen-dough bread; (C) frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; (D-E) frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level (D) 0.5 g/100 g concentration and (E) 1.0 g/100 g concentration.

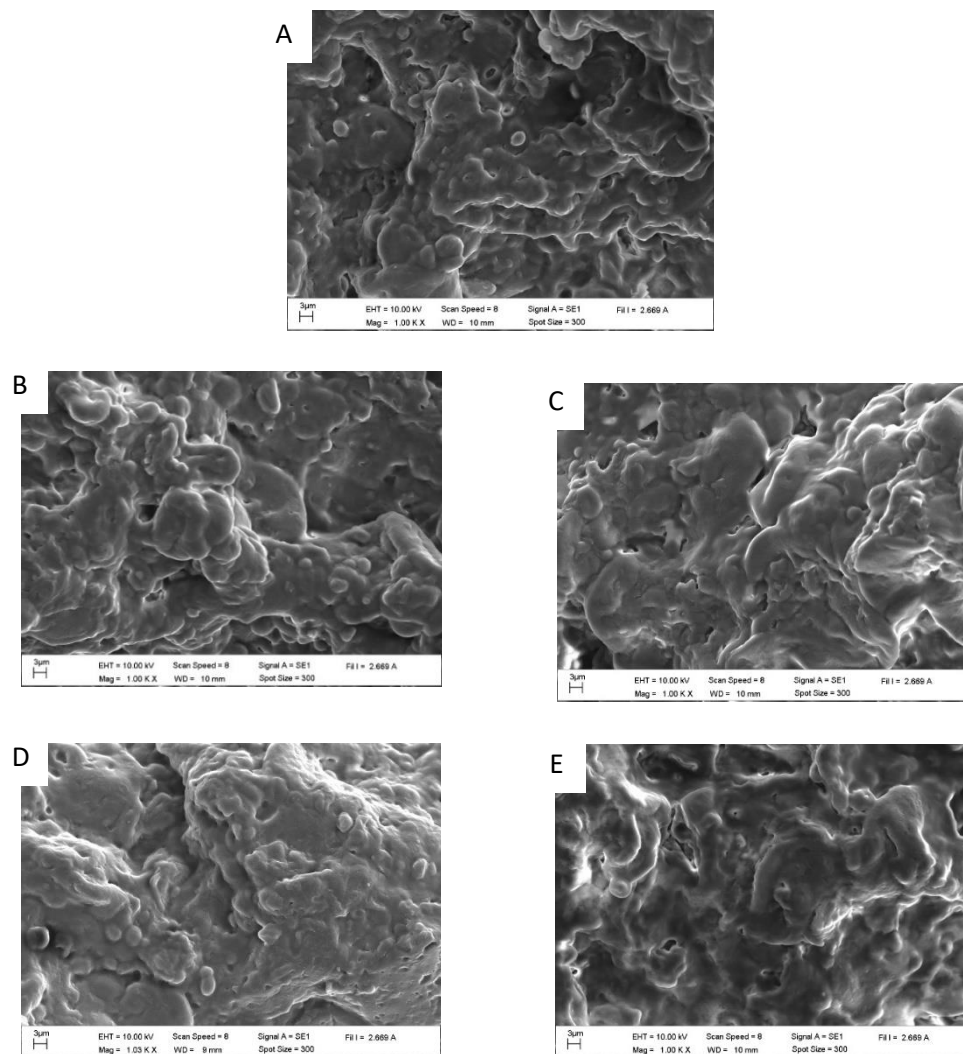


Figure 2. Scanning Electron Micrographs (1000x) of fresh, control and gum-containing breads after frozen dough for 1 month.

(A) bread without frozen-dough treatment; (B) frozen-dough bread; (C) frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; (D-E) frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level (D) 0.5 g/100 g concentration and (E) 1.0 g/100 g concentration.

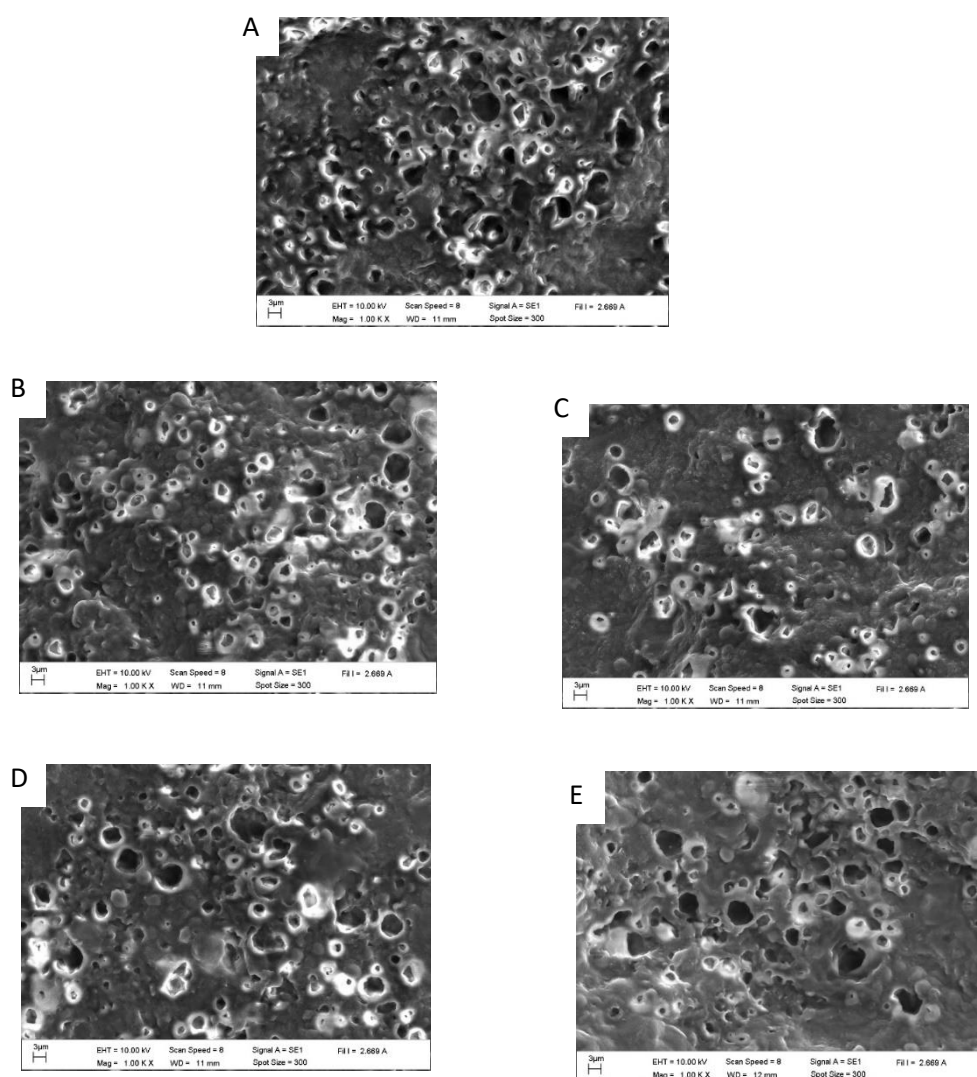


Figure 3. Scanning Electron Micrographs (1000x) of fresh, control and gum-containing breads after frozen dough for 1 week, and digested with porcine pancreatic α - amylase for 180 min in a dialysis system.

(A) bread without frozen-dough treatment; (B) frozen-dough bread; (C) frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; (D-E) frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level (D) 0.5 g/100 g concentration and (E) 1.0 g/100 g concentration.

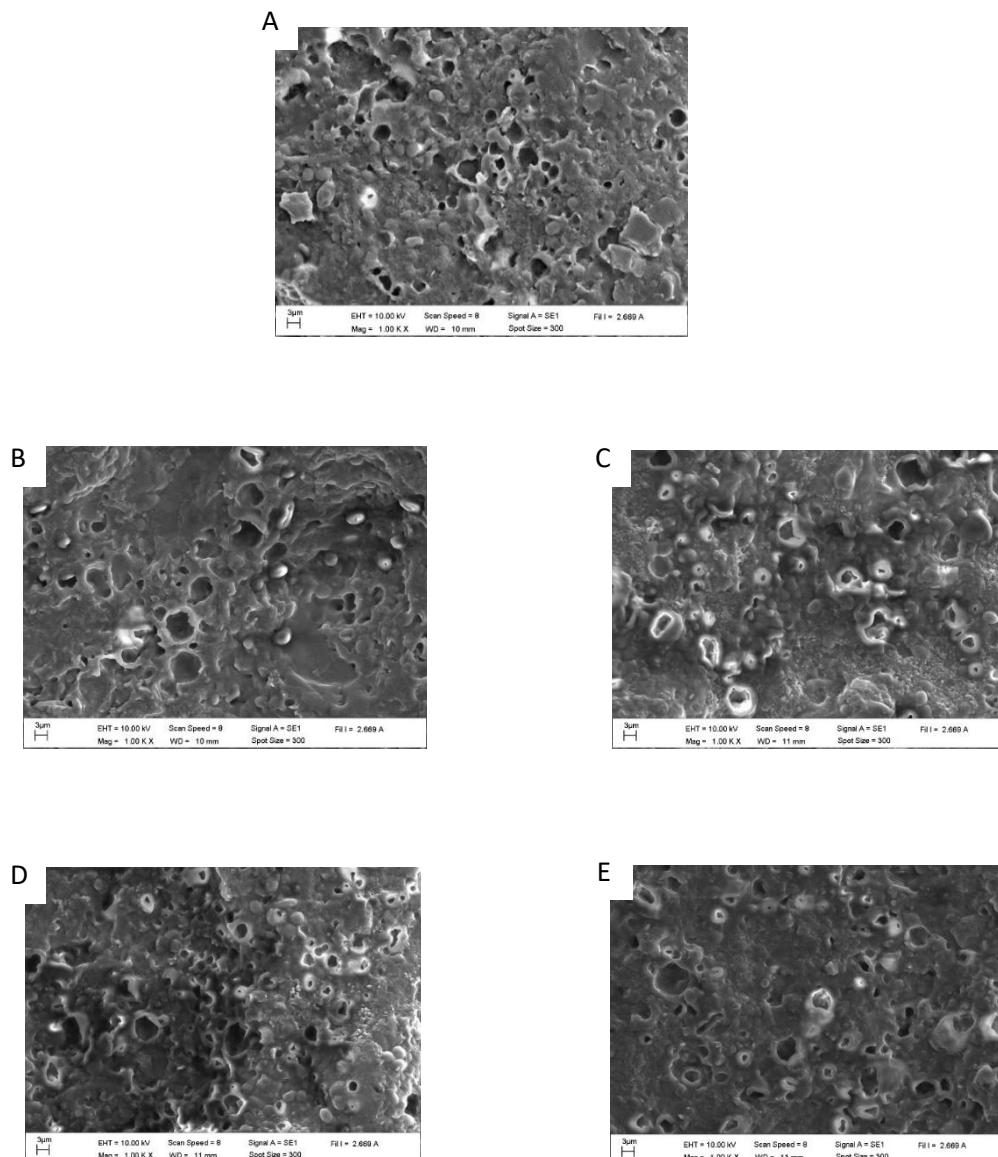


Figure 4. Scanning Electron Micrographs (1000x) of fresh, control and gum-containing breads after frozen dough for 1 month, and digested with porcine pancreatic α - amylase for 180 min in a dialysis system.

(A) bread without frozen-dough treatment; (B) frozen-dough bread; (C) frozen-dough bread supplemented with guar gum 0.5 g/100 g concentration; (D-E) frozen-dough bread supplemented with extracted-malva nut gum: at level (D) 0.5 g/100 g concentration and (E) 1.0 g/100 g concentration.

สรุป

การแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์และหนึ่งเดือนมีผลทำให้ขนมปังสุกมีปริมาตรลดลง มีความชื้นลดลง เนื้อขนมปังมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น การแช่แข็งโดที่มีการเสริมใยอาหารจากกัวกัม และเมล็ดลูกสำรองช่วยปรับปรุงคุณลักษณะของขนมปังทำให้มีปริมาตรคงตัว มีความชื้นลดลงแบบช้าในระหว่างอายุการเก็บรักษา และยังมีค่าความแข็งใกล้เคียงกับขนมปังสูตรควบคุม การแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งเดือนส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของขนมปังมากกว่าการแช่แข็งโดเป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ การย่อยขนมปังโดแช่แข็งด้วยเอนไซม์ pepsin และ α -amylase พบว่า ใยอาหารจากกัวกัมและใยอาหารจากเมล็ดลูกสำรองช่วยชะลอการทำงานของเอนไซม์ α -amylase ทำให้มีปริมาณมอลโตสและกลูโคสลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตร Fresh ซึ่งสอดคล้องกับภาพจาก SEM แสดงว่าเนื้อขนมปังโดแช่แข็งสูตรเสริมใยอาหารมีรูพรุนน้อยกว่าขนมปังสูตร Fresh

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราณี นางงาม สังกัดภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ช่วยเก็บรักษาตัวอย่างเมล็ดลูกสำรองแห้งตามหลักการ Herbarium

เอกสารอ้างอิง

- พงษ์ศักดิ์ พลเสนา. (2550). *คู่มือจำแนกความแตกต่างระหว่างสำรอกกับสำรอกกะโหลก*. เจตนารมณัณท์.
- อัญชลี ศรีจำเริญ. (2552). *กระบวนการสกัดใยอาหารจากเมล็ดลูกสำรอง*. ยื่นต่อสำนักสิทธิบัตร กรมทรัพย์สินทางปัญญา ได้รับเลขที่คำขอสิทธิบัตรเลขที่ 0901003455 ลงวันที่ 30 กรกฎาคม 2552.
- American Association of Cereal Chemists (AACC). (2000). *Approved methods of the AACC* (10th ed.). The Association (Method 44-15A).
- Bae, W., Lee, B., Hou, G. G., & Lee, S. (2014). Physicochemical characterization of whole-grain wheat flour in a frozen dough system for bake off technology. *Journal of Cereal Science*, 60, 520-525.
- Baird, I. G., & Bounphasy, S. (2002). *Non-timber forest product use, management and tenure in Pathoumphone District, Champasak Province, Southern Laos*.
<http://www.tabi.la/articlemapper/resources/NTFP%20Laos%20doc/sustainable%20NTFP%20harvesting,%20cultivation,%20forest%20management>
- Brennan, C. S., Blake, D. E., Ellis, P. R., & Schofield, J. D. (1996). Effects of guar galactomannan on wheat bread microstructure and on the *in vitro* and *in vivo* digestibility of starch in bread. *Journal of Cereal Science*, 24, 151-160.

- Crittenden, R. G., & Playne, M. J. (1996). Production, properties and applications of food-grade oligosaccharides. *Trends in Food Science & Technology*, 7(11), 353-361.
- Feng, W., Ma, S. & Wang, X. (2020). Quality deterioration and improvement of wheat gluten protein in frozen dough. *Grain & Oil Science and Technology*, 3, 29-37.
- Jia, C., Yang, W., Yang, Z. & Ojobi, O. J. (2017). Study of the mechanism of improvement due to waxy wheat flour addition on the quality of frozen dough bread. *Journal of Cereal Science*, 75, 10-16.
- Jiang, Y., Zhao, Y., Zhu, Y., Qin, S., Deng, Y. & Zhao, Y. (2019). Effect of dietary fiber-rich fractions on texture, thermal, water distribution, and gluten properties of frozen dough during storage. *Food Chemistry*, 297, 124902.
- Mezaize, S., Chevallier, S., Le-Bail, A. & Lamballerie, M. (2010). Gluten-free frozen dough: influence of freezing on dough rheological properties and bread quality. *Food Research International*, 43, 2186-2192.
- Park, E. Y., Jang, S. B., & Lim, S. T. (2016). Effect of fructo-oligosaccharide and isomalto-oligosaccharide addition on baking quality of frozen dough. *Food Chemistry*, 213, 157-162.
- Phonsena, P., & Wilkie, P. (2008). *Scaphium affine* (Mast.) Pierre (Sterculiaceae) new for Thailand. *THAI Forest Bulletin (Botany)*, 36, 61-69.
- Purhagen, J. K., Sjo, M. E., & Eliasson, A. C. (2012). Fibre-rich additives-the effect on staling and their function in free-standing and pan-baked bread. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92, 1201-1213.
- Ribotta, P. D., Perez, G. T., Leon, A. E., & Anon, M. C. (2004). Effect of emulsifier and guar gum on micro structural, rheological and baking performance of frozen bread dough. *Food Hydrocolloids*, 18(2), 305-313.
- Rosell, C. M., & Gomez, M. (2007). Frozen dough and partially baked bread: an update. *Food Reviews International*, 23(3), 303-319.
- Scanlon, M. G., & Zghal, M. C. (2001). Bread properties and crumb structure. *Food Research International*, 34, 841-864.
- Slaughter, S. L., Ellis, P. R., Jackson, E. C., & Butterworth, P. J. (2002). The effect of guar galactomannan and water availability during hydrothermal processing on the hydrolysis of starch catalyzed by pancreatic α -amylase. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1571, 55-63.

- Srichamreon, A. (2014). Physical quality and in vitro starch digestibility of bread as affected by addition of extracted malva nut gum. *LWT-Food Science and Technology*, 59, 486-494.
- Srichamroen, A., & Chavasit, V. (2011). Rheological properties of extracted malva nut gum (*Scaphium scaphigerum*) in different conditions of solvent. *Food Hydrocolloids*, 25(3), 444-450.
- Symons, L. J., & Brennan, C. S. (2004). The influence of (1-3) (1-4)- β - D glucan-rich fractions from Barley on the physicochemical properties and in vitro reducing sugar release of white wheat breads. *Journal of Food Science*, 69(6), C463-C467.