



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การพัฒนาขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวเหนียว

โดย

ดร.พรรณทิพา เจริญไทยกิจ

คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ทุนสนับสนุนเงินรายได้คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร

ปีงบประมาณ 2555

บทคัดย่อ

คุณภาพของขนมปังมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในระหว่างการเก็บรักษาทั้งด้านกายภาพ และจุลินทรีย์ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเหนียวในผลิตภัณฑ์ขนมปัง และความเป็นไปได้ในการใช้โคโตซานในการยืดอายุการเก็บรักษา โดยทดแทนแป้งข้าวเหนียว (GNF) ลงในแป้งสาลี (Wheat substituted with glutinous rice flour, WSG) ในอัตราส่วน 90:10, 80:20 และ 70:30 (w/w) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (100% wheat flour, Control) จากการศึกษาพบว่าปริมาณโปรตีนใน WSG ลดลงเมื่ออัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับค่าความสว่างแป้งผสมมีความสว่างเพิ่มขึ้นเมื่อการทดแทนที่ระดับสูงขึ้น ($L^* = 94.79, 95.49$ และ 95.68 ที่ระดับ GNF ร้อยละ 10, 20 และ 30 ตามลำดับ) และจากการศึกษาพฤติกรรมความหนืด พบว่า GNF มี peak viscosity (PV = 350.63 RVU) มากกว่า แต่การคืน (setback viscosity, SV = 40.92 RVU) ตัวน้อยแป้งสาลี (PV = 125.34 และ 216.21 RVU ตามลำดับ) คุณภาพโดที่ได้จาก WSG โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ร้อยละ 30 จะมีความคงตัวของโดลดลงมาก และทำให้การขึ้นรูปยากกว่าโดสูตรอื่น ส่งผลต่อปริมาตรจำเพาะที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามเนื้อสัมผัสของขนมปังจาก WSG มีค่า Hardness น้อยกว่า (2.8 - 3.0 N) Control (4.2 N) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ผลการทดสอบการยอมรับ พบว่า ขนมปังจาก WSG ได้รับคะแนนการยอมรับทางด้านเนื้อสัมผัส (5.8 – 6.5 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย) และคะแนนความชอบรวม (6.0 – 6.3 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อย) มากกว่า Control (4.9 และ 5.19 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ใน

ระดับไม่ชอบเล็กน้อย) อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) เมื่อศึกษาการเติมโคโตซานในสูตรขนมปังจาก WSG ร้อยละ 20 ที่ระดับ 0.7 (B-WSG 20/0.7) และ 1.4 (B-WSG 20/1.4) ของน้ำหนักแห้ง ศึกษาคุณภาพในระหว่างการเก็บเป็นเวลา 0, 3 และ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ($28 \pm 2^{\circ}\text{C}$) พบว่า ขนมปัง B-WSG 20/1.4 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความแข็งน้อยกว่าสูตรอื่นๆ แต่ยังไม่พบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของโคโตซานทั้ง 2 ระดับ ในระหว่างการเก็บรักษาขนมปัง งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า GNF ส่งผลต่อคุณภาพของขนมปัง ซึ่งขนมปังจาก WSG มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า Control โดยไม่ทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้อยลง อย่างไรก็ตามโคโตซานที่ระดับร้อยละ 0.7 และ 1.4 ยังไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษาขนมปังจากแป้งผสมได้

คำสำคัญ (Keyword): แป้งข้าวเหนียว ขนมปัง โคโตซาน คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ คุณภาพทางประสาทสัมผัส

Abstract

The quality of bread was undergone changes during storage time both in physical and microbiological quality. The objective of this study was to investigate effects of glutinous rice flour (GNF) on quality of bread made with composite wheat-glutinous rice flour and to study feasibility of using chitosan to extend shelf life of composite bread. Bread formulations were prepared either with wheat flour (control) or composite wheat:glutinous rice flour (WSG) at 90:10, 80:20, and 70:30 ratios (w/w). The results showed that protein content of composite flours was significantly decreased ($P \leq 0.05$) as GNF level increased. In addition, L^* value of WSG was likely to be decreased as the substitution increased (L^* was 94.79, 95.49, and 95.68 for composite flours containing 10, 20, and 30%GNF, respectively). Pasting profiles revealed that GNF obtained higher peak viscosity (350.63 RVU) with lower set back viscosity (40.92 RVU) than those of the control (PV and SV were 216.21 and 125.34, respectively). Incorporation of GNF, especially at 30% decreased intensively in dough stability of composite flours. Bread containing 30% GNF affected dough forming process resulting in lower loaf volume ($P \leq 0.05$) than others. However, all composite breads obtained less hardness (2.8 – 3.0 N) than did the control (4.2 N) ($P \leq 0.05$). Consumer

acceptability scores for texture (ranged from 5.8 – 6.5, like slightly) and overall liking (ranged from 6.0 – 6.3, like slightly) were significantly greater for breads containing 10% - 30% GNF than did the control (4.9 and 5.19, neither like nor dislike, respectively). Incorporation of chitosan at the level of 0.7% and 1.4% (B-WSG 20/CS0.7 and B-WSG20/CS1.4) was, therefore, evaluated in bread containing 20% GNF compared with the control (bread without chitosan). All bread samples were stored 0, 3, and 5 days at room temperature ($28 \pm 2^{\circ}\text{C}$). The rate of increasing in hardness of B-WSG20/CS1.4 was lower than others. There was microbial growth observed for bread with both concentration of chitosan. This study indicated that GNF had effect on the quality of bread. All ratios of substitution, especially at 20% could obtain bread with softer texture than the control without compromising selected sensory quality. However, both 0.7% and 1.4% chitosan had limited effect on the microbial inhibition of composite bread over the storage time.

Keywords: Glutinous rice flour, Bread, Chitosan,
Physicochemical property, Sensory quality

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากหลายๆ ฝ่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร ที่ให้ความสนับสนุนทุนวิจัยและให้โอกาสทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท จาร์พา เทคโนโลยี จำกัด และเจ้าหน้าที่ประจำบริษัทที่ได้อำนวยความสะดวกและช่วยสอนการใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. รลิตา โอสถานนท์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยรามคำแหง ที่ได้อำนวยความสะดวกและช่วยสอนการใช้เครื่อง Brabender Farinograph Resistograph

ขอขอบคุณ คุณเฉลิมเกียรติ ภูตินาถ ที่ได้อำนวยความสะดวกในด้านเครื่องควบคุมอุณหภูมิ สำหรับใช้ในการบ่มโดขนมปัง

ขอขอบคุณ คณาจารย์ คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร และนิสิต นางสาวปิยะนุช หลวงประสาร และนายอนิรุทธิ์ สังฆะมงคลกิจ ในความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัย คณะผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในความช่วยเหลือ และปรารถนาดีของทุกท่าน จึงขอขอบคุณอีกครั้งมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
บัญชีตาราง	ก
บัญชีภาพประกอบ	ข
บทนำ	1
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
วิธีดำเนินการวิจัย	11
ผลและวิจารณ์	17
สรุป และข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	38
ประวัติผู้วิจัย	40

บัญชีตาราง

ตาราง ที่		หน้า
1	การจำแนกลักษณะของข้าวหุงสุกตามปริมาณแอมิโลส	6
2	ส่วนผสมของขนมปังที่ทำการพัฒนา	14
3	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลีที่ระดับต่างๆ	17
4	ค่าสี และดัชนีความขาว (WI) ของแป้งข้าวเหนียว แป้งสาลี และแป้งผสมที่ระดับการทดแทนต่างๆ	18
5	คุณภาพทางด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลีจากการตรวจวิเคราะห์ ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)	20
6	ปริมาณการดูดซึมน้ำและปริมาณน้ำที่ใช้ในสูตรขนมปังของแป้งสาลีและแป้งผสมที่ระดับต่างๆ	21
7	ความหนืดของแป้งสาลี และแป้งผสมที่ระดับต่างๆ ตามค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Brabender Farinograph Resistograph	22
8	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของขนมปังจากแป้งสาลีและแป้งผสมที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวที่ระดับต่างๆ	24
9	ปริมาตรจำเพาะ(Specific volume) และ คุณภาพทางเนื้อสัมผัสของขนมปังจากแป้งสาลีและแป้งผสมที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวที่ระดับต่างๆ	26

10	การทดสอบทางประสาทสัมผัสชนมปังจากแป้งสาลี และแป้งผสมที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวที่ระดับ ต่างๆ (n = 30)	28
11	ค่าสี (L*, a*, b*) ของชนมปังเสริมโคโคซานที่ระดับ 0.7% และ 1.4% ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของการเก็บ รักษา	30
12	คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของชนมปังเสริมโคโคซานที่มี การเสริมโคโคซานที่ระดับต่าง ๆ ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของการเก็บรักษา	31
13	อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness ในชนมปังจาก แป้งผสม WSG20 ที่มีการเสริมโคโคซานที่ระดับต่าง ๆ	32
14	การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ในชนมปังจากแป้ง ผสม WSG 20 และชนมปังเสริมที่มีการเสริมโคโค ซานที่ระดับต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน	33

บัญชีภาพประกอบ

ภาพ ที่		หน้า
1	Farinogram ของค่าคุณภาพต่าง ๆ ของแป้งสาลี	5
2	กระบวนการในการผลิตแป้งข้าว และการนำไป ประยุกต์ใช้	6
3	โครงสร้างของโคโตซาน	8
4	การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าว เหนียวและแป้งสาลี เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)	19
5	ลักษณะพฤติกรรมของโดจากเครื่อง ฟาริโนกราฟ ของ แป้งสาลี (a), WSG 10(b), WSG 20(c) 30 และ WSG 30 (d)	23
6	ภาพตัดขวางขนมปังจากแป้งสาลี และ WSG ร้อยละ ต่าง ๆ	27
7	การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านความแข็ง ขนมปัง B- WSG 20/CS0.7 และ B-WSG20/CS1.4 เปรียบเทียบกับ Control ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของอายุการเก็บ	32

บทที่ 1

บทนำ

ขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยม และบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทย ซึ่งมีการบริโภคกันมากขึ้นอันเนื่องมาจากความต้องการความสะดวกสบาย ขนมปังมีวัตถุดิบหลักในการผลิต คือ แป้งสาลี เนื่องจากมีกลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำให้เกิดโครงสร้างยืดหยุ่นที่ดี อย่างไรก็ตามคุณค่าทางโภชนาการของขนมปัง โดยเฉพาะจากแป้งขัดสียังมีไม่ครบถ้วนนัก ทำให้มีหลายการศึกษาวิจัยนำแป้งชนิดต่างๆ มาใช้เพื่อทดแทนแป้งสาลี และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของขนมปัง ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวบาร์เลย์ แป้งข้าวโอ๊ต แป้งข้าวกล้องงอก (Charoenthaikij, 2010) เป็นต้น แต่ในระหว่างการเก็บรักษาจะเห็นได้ว่าขนมปังโดยทั่วไปมีปัญหาหลักที่สำคัญอยู่ 2 ประการ คือ ปัญหาทางด้านกายภาพ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสทางด้านความแข็งของเนื้อขนมปัง (Gimenez *et al.*, 2007; Lodi & Vodovotz, 2008) และปัญหาทางด้านจุลินทรีย์ที่เห็นได้ชัด คือ การเกิดเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษา (Leuschner *et al.*, 1999; No *et al.*, 2007) ปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผู้ประกอบการที่ขายผลิตภัณฑ์ไม่ได้ ทำให้สูญเสียกำไร

ทั้งนี้จึงมีงานวิจัยอย่างกว้างขวางในการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของขนมปัง เช่น การเติมสารเสริมคุณภาพต่าง ๆ เช่น หรือการใช้แป้งบางชนิด รวมทั้งแป้งข้าวเหนียว (Charoenthaikij, 2010) ซึ่งมีคุณสมบัติในการลดการคืนตัวของแป้ง หรือลดการระเหยของน้ำออกจากเนื้อขนมปัง เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวเป็นแป้งที่มีปริมาณแอมิโลเพกตินสูงทำให้มีการคืนตัว (Retrogradation) ช้ากว่าแป้งชนิดอื่นที่มีแอมิโลสสูง ทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังนุ่มขึ้น และชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของอาหารในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ในการผลิตขนมปังในปัจจุบันยังมีการเติมวัตถุเจือปนอาหารสังเคราะห์ในการป้องกันเชื้อจุลินทรีย์เพื่อยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ขนมปัง การศึกษานี้จึงมีแนวคิดที่จะใช้วัตถุเจือปนธรรมชาติที่มีความปลอดภัยมาใช้ ซึ่งไคโตซาน เป็นวัตถุเจือปนอาหารจากธรรมชาติที่สกัดได้จากเปลือกปู กุ้ง และหอยต่าง ๆ ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีในหลายผลิตภัณฑ์ รวมทั้งในผลิตภัณฑ์ขนมปัง ซึ่งมีการนำไคโตซานมาช่วยยืดอายุการเก็บรักษา (Ahn *et al.*, 2003; Kerch *et al.*, 2010) โดยมีรายงานพบว่าไคโตซานที่ระดับร้อยละ 1-2 สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ลดการเพิ่มความแข็ง และการเกิดการคืนตัวของขนมปัง (Park *et al.*, 2002; Ahn *et al.*, 2003) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของขนมปังทั้งทางด้านกายภาพ และทางจุลินทรีย์ โดยศึกษาอิทธิพลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเหนียวต่อคุณภาพทางด้านต่าง ๆ ได้แก่ คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี รวมถึงการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมปังที่พัฒนาได้ และการศึกษาความเป็นไปได้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมปังโดยการใช้ไคโตซาน คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางประสาทสัมผัส และทางด้านจุลินทรีย์ นอกจากนี้งานวิจัยมุ่งหวังในการใช้ประโยชน์แป้งข้าวเหนียว เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อย่างข้าว ซึ่งเป็นการลดการนำเข้าแป้งสาลี อีกทั้งหากการใช้ไคโตซานให้ผลดี จะเป็นการใช้สารสกัดจากธรรมชาติที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์แทนการใช้สารสังเคราะห์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศอีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเหนียวต่อคุณภาพของขนมปัง
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเติมโคโคซานในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา

ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ต้องการผลิตขนมปังจากแป้งผสม (Composite flour) ระหว่างแป้งสาลี และแป้งข้าวเหนียวจากสูตรที่เหมาะสม โดยมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการเติมโคโคซานในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา หลังจากนั้นทำการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ (Finished product) ทั้งคุณภาพทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ รวมทั้งทำการศึกษการยอมรับของผู้บริโภค เพื่อให้ทราบพฤติกรรม ความชอบ การยอมรับ และความคิดเห็นของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมปังดังกล่าว

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โครงการวิจัยนี้คาดว่าจะเกิดประโยชน์ ดังนี้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์
ด้านองค์ความรู้	
1. ข้อมูลด้านสมบัติทางเคมีกายภาพ รวมทั้งพฤติกรรม ความคิดเห็น และการยอมรับของผู้บริโภคต่อขนมปังเสริมข้าวเหนียว	1. หน่วยงานต่าง ๆ เช่น เกษตรจังหวัด หรือศูนย์วิจัยข้าว เพื่อส่งเสริมในการปลูกข้าวเหนียว 2. ชุมชน หรือผู้ผลิตในระดับอุตสาหกรรม เพื่อใช้เป็นดัชนีในการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ สำหรับการผลิต
2. ความเป็นไปได้ในการยืดอายุการเก็บของขนมปังโดยใช้วัตถุเจือปนธรรมชาติ	ชุมชน และวิสาหกิจชุมชนอุตสาหกรรมอาหารที่สนใจ
ด้านการเผยแพร่ผลงาน	
3. นำผลการศึกษาเผยแพร่ในวารสาร หรือการประชุมระดับชาติ และ/หรือนานาชาติ	ชุมชน หรืออุตสาหกรรมที่สนใจ

ด้านการนำไปใช้ประโยชน์	
4. ข้อมูลการยอมรับของผู้บริโภค ใช้ประโยชน์ในเชิงการตลาดเพื่อให้เข้าถึง และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างมีประสิทธิภาพ	ชุมชน หรืออุตสาหกรรมที่สนใจ
ด้านการผลิตบุคลากร	
5. ผลิตรายได้ในระดับปริญญาตรี 2 คน	หน่วยงานราชการ และภาคอุตสาหกรรม



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

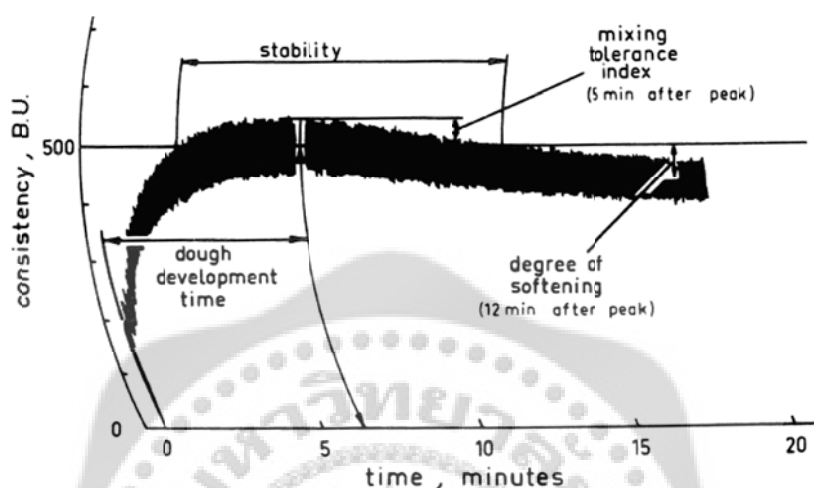
ขนมปัง และปัจจัยคุณภาพ

ขนมปัง เป็นอาหารหลักของคนเกือบทั่วโลก และมีการผลิตมากมายหลายสูตร แตกต่างกันไป ตามความนิยมของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมปังคือ แป้งสาลี เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเกิดโครงสร้างและเก็บกักแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมปังมีคุณภาพดี ซึ่งการผลิตข้าวสาลีประมาณร้อยละ 70 นั้นเป็นการผลิตเพื่อเป็นอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เพื่อผลิตขนมปัง และอาหารอบชนิดต่าง ๆ เช่น เค้ก และคุกกี้ (Dobraszczyk, 2001) ทั้งนี้เพราะแป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด ที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมคือ กลูเตนิน (Glutenin) และไกลอะดิน (Gliadin) ซึ่งเมื่อแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ถูกต้องจะทำให้เกิดสารชนิดหนึ่งเรียกว่า “กลูเตน” (Gluten) มีลักษณะเป็นยาง เหนียว ยืดหยุ่นได้ นอกจากโปรตีนและกลูเตนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของแป้งสาลีแล้ว ในแป้งสาลียังมีเอนไซม์ที่สำคัญคือ บีตา-อะไมเลส (β -amylase) และแอลฟา-อะไมเลส (α -amylase) เอนไซม์เหล่านี้จำเป็นสำหรับทำขนมปัง โดยบีตา-อะไมเลส จะทำการย่อยเดกซ์ทริน (Dextrin) และสารละลายสตาร์ชส่วนหนึ่งให้เป็นน้ำตาลมอลโทส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่จำเป็นสำหรับยีสต์ในการนำไปใช้เป็นอาหารในระหว่างการหมัก เอนไซม์ชนิดนี้ไม่ทนความร้อน การทำงานจะเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการหมัก โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีในแป้งสาลีที่สำคัญคือ สตาร์ช และกลูเตน รวมทั้งองค์ประกอบอื่น เช่น ไขมัน เพนโทเซน น้ำตาล และอื่นๆ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงเมื่อผสมแป้งกับน้ำ ยีสต์ และเกลือ เข้าด้วยกันจนเป็นโด (อรอนงค์, 2532)

ขนมปัง เป็นอาหารหลักของคนเกือบทั่วโลก และมีการผลิตมากมายหลายสูตร แตกต่างกันไป ตามความนิยมของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมปังคือ แป้งสาลี เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเกิดโครงสร้างและเก็บกักแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมปังมีคุณภาพดี ซึ่งการผลิตข้าวสาลีประมาณร้อยละ 70 นั้นเป็นการผลิตเพื่อเป็นอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เพื่อผลิตขนมปัง และอาหารอบชนิดต่าง ๆ เช่น เค้ก และคุกกี้ (Dobraszczyk, 2001)

นอกจากนี้คุณภาพของแป้งสาลีที่ใช้ในการผลิตขนมปังนั้นมีความแตกต่างกันตามคุณภาพทางเคมี ทางเอนไซม์ และทางกายภาพ (Rasper, 1991) กล่าวคือ ปริมาณความชื้น (ประมาณไม่เกินร้อยละ 14) ปริมาณโปรตีน (ประมาณร้อยละ 11 - 13) วิตามิน โยอาหาร และสตาร์ช มักใช้เป็นตัวกำหนดคุณภาพทางเคมีของแป้งสาลี กิจกรรมของเอนไซม์ก็มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของแป้ง หากแป้งมีระดับของเอนไซม์ในปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอในการผลิตแก๊สในระหว่างการหมัก และการอบขนมปังที่ได้ก็จะมีคุณภาพดี แต่หากมีปริมาณน้อย หรือมากเกินไปจะทำให้คุณภาพของโด และผลิตภัณฑ์สุดท้ายลดลง (Rasper, 1991; Hallen *et al.*, 2004) สำหรับคุณภาพทางกายภาพนั้นเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมทางกระแสวิทยา (Rheology) ของแป้งสาลี ซึ่งมีกลูเตนเป็นองค์ประกอบ

หลักที่มีความสำคัญมากในแป้งสาลี เนื่องจากเป็นทำให้โครงสร้างของโดมีความยืดหยุ่น มีแรงต้านต่อแรงกวน หรือเฉือน และมีความสามารถในการกักเก็บแก๊ส (Lazaridou *et al.*, 2007) โดยคุณภาพดังกล่าวนี้สามารถวิเคราะห์ได้โดยเครื่อง Barbender-farinograph (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 Farinogram ของค่าคุณภาพต่าง ๆ ของแป้งสาลี

ที่มา: Rasper (1991)

แป้งข้าว

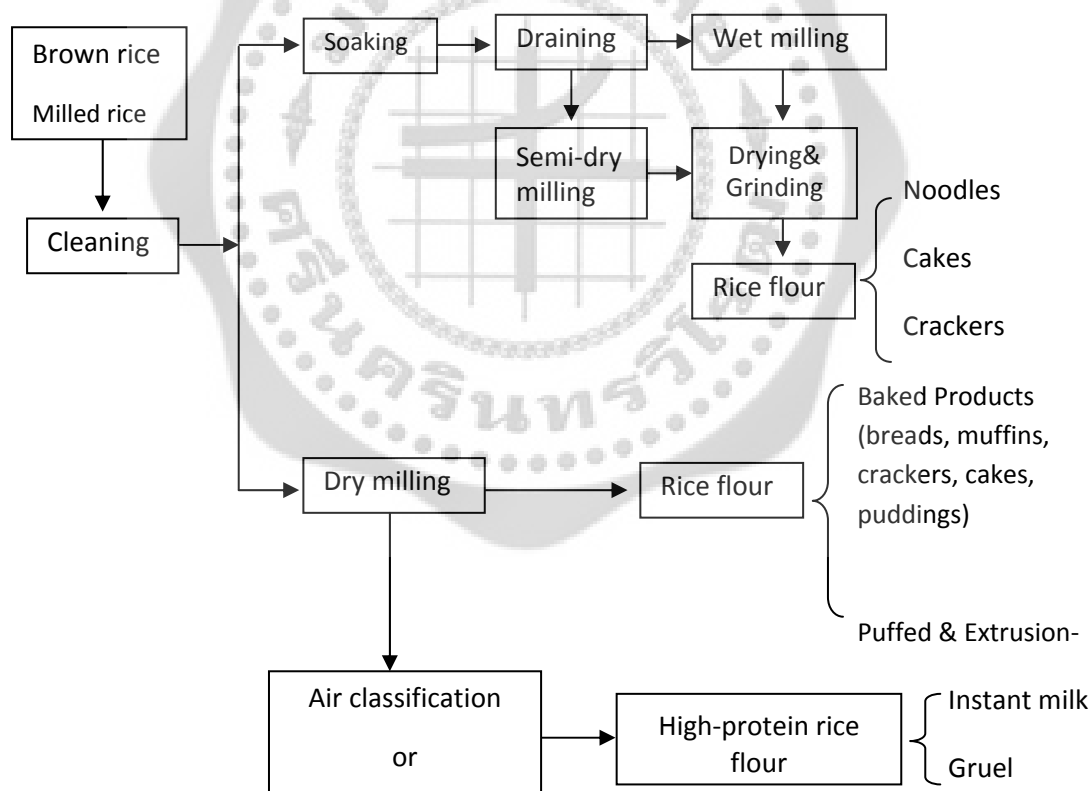
ในการจัดกลุ่มข้าวสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในการจำแนกข้าวว่าเป็นข้าวเจ้า หรือข้าวเหนียวนั้น ปริมาณแอมิโลส เป็นตัวบ่งชี้สำคัญ โดยข้าวเหนียวจะเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสน้อยมากหรือแทบจะไม่มีเลย (1-2% amylose) (ดังตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การจำแนกลักษณะของข้าวหุงสุกตามปริมาณแอมิโลส

ปริมาณแอมิโลส (%)	ชนิดข้าว	ลักษณะข้าวหุงสุก
1-2	ข้าวเหนียว	เหนียวมาก
2-9	ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำมาก	เหนียว, นุ่ม
9-20	ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำ	เหนียว, นุ่ม
20-25	ข้าวเจ้าแอมิโลสปานกลาง	นุ่ม, ค่อนข้างเหนียว
25-33	ข้าวเจ้าแอมิโลสสูง	ร่วน, แข็ง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Juliano, 1985

ซึ่งกระบวนการในการผลิตแป้งข้าว แสดงดังภาพที่ 2 มีการนำข้าวไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น ขนมปัง เค้ก ลูกอม คุกกี้ มัฟฟิน เป็นต้น



ภาพที่ 2 กระบวนการในการผลิตแป้งข้าว และการนำไปประยุกต์ใช้

ที่มา: Yeh (2004)

ปัจจุบันมีการนำแป้งข้าวเหนียวมาใช้ประโยชน์ในทางการค้ามากขึ้น ซึ่งแป้งข้าวเหนียวมีสมบัติด้านความหนืดที่ใกล้เคียงกับแป้งข้าวโพด และแป้งข้าวฟ่าง แป้งข้าวเหนียวโดยทั่วไปจะมีปริมาณแอมิโลสอยู่เพียงเล็กน้อยประมาณ 2% และมีเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลส (*alpha-amylase*) อยู่ในแป้งปริมาณหนึ่ง แป้งข้าวเหนียวมักมีความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) ต่ำกว่าแป้งข้าวเมล็ดสั้นโดยทั่วไป ซึ่งอาจเนื่องมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ดังกล่าว และการที่แป้งข้าวเหนียวไม่มีการคั่นตัวของความหนืดทำให้แป้งข้าวเหนียวมีความทนทานต่อการแช่เยือกแข็งและการละลาย (Freeze-thaw stability) กว่าแป้งชนิดอื่น ๆ พฤติกรรมดังกล่าวมานี้อาจเกิดจากการที่ไม่มีแอมิโลสเป็นส่วนประกอบในแป้ง ดังนั้นการเกิดการจัดเรียงตัวกันอีกครั้งของสายแอมิโลสจึงเกิดขึ้นน้อย หรือช่วยในการชะลอการเกิดการคั่นตัวของแป้ง อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัด คือ การใช้แป้งข้าวเหนียวจะช่วยให้เนื้อขนมปังนุ่มเฉพาะวันแรกของการผลิต แต่ในระหว่างจากการเก็บรักษาขนมปังก็เกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น เนื้อสัมผัสแข็งขึ้น เป็นต้น ดังรายงานการวิจัยของ Ji *et al.* (2007) ซึ่งได้ทำการศึกษา ถึงการใช้แป้งข้าวเหนียวใน Migao ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เค้กชนิดหนึ่งของชาวจีน พบว่า ผลิตภัณฑ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสอย่างรวดเร็วในวันที่ 1 ของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นค่าความแน่นเนื้อ (Firmness) ของผลิตภัณฑ์ในวันที่ 2 และ 3 จะใกล้เคียงกับวันที่ 1 และจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากวันที่ 3 ของการเก็บรักษา

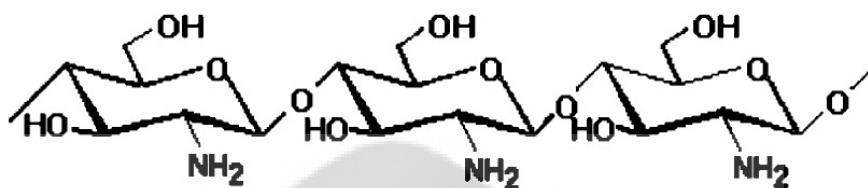
แป้งสาลี

บนพื้นฐานของระดับเอนโดสเปิร์มของแป้ง ข้าวสาลี (*Triticum aestivum* L.) แบ่งได้เป็นหลายสายพันธุ์ ทั้งแบบ Full waxy , Partial waxy, Normal (Wild-type) และ High-amylose ซึ่งหากเป็น Full waxy wheat การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของปริมาณ Amylose ต่อ Amylopectin มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของอาหารเนื่องมาจาก ความแตกต่างของการพองตัวและคุณสมบัติของการเกิดเจล เมื่อขาด Amylose จะทำให้ Waxy wheat มีความสามารถในการเกิด Retrogradation ในระยะแรกลดลง (Purna *et al.*, 2011) จากงานวิจัยของ Southgate (1991) พบว่า สตาร์ข้าวสาลีมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 28 ซึ่งปริมาณแอมิโลสของสตาร์จะสัมพันธ์กับความสามารถในการเกิดเจล และ Retrogradation ของเมตสตาซ์ ถ้าเมตสตาซ์มีปริมาณแอมิโลสต่ำ ก็จะทำให้ความสามารถในการเกิดเจล และ Retrogradation ของเมตสตาซ์ต่ำไปด้วย ในทางตรงกันข้ามถ้าเมตสตาซ์มีปริมาณแอมิโลสสูง ก็จะทำให้ความสามารถในการเกิดเจล และ Retrogradation ของเมตสตาซ์สูงเช่นเดียวกัน การเกิดรีโทรเกรเดชันจะเกิดหลังจากที่สตาซ์ผ่านการเกิดเจลแล้ว ทำให้เจลมีความหนาแน่น เกิดการก่อตัวของฟล็อก และทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะไม่สด (Staling) (Mua & Jackson, 1998)

แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทุกชนิด เนื่องจากแป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด ที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม กลูเตนิน (Glutenin) และ ไกลอะดีน (Gliadin) (จิตธนา และ อรอนงค์, 2552) แป้งสาลีไม่จากข้าวสาลีชนิดแข็งมีโปรตีนสูง (12-14%) ในบางประเทศ อาจใช้แป้งไม่จากข้าวสาลีชนิดนุ่มโปรตีนสูง เพื่อทำเป็นขนมปังชนิดแบนแบบอาหรับ แต่โดยทั่วไปแล้ว แป้งที่ใช้จะมีสีขาวนวล มีความชื้นไม่เกิน 14 % เป็นแป้งที่ดูดซึมน้ำได้มาก (60-65%) มีลักษณะทางกายภาพเหมาะสม (อรอนงค์, 2532)

3. ไคโตซาน และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร

ไคโตซานและไคโตซานโอลิโกเมอร์เป็นสารที่อุดมไปด้วย Dietary fiber ไคโตซานจัดเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติและเป็นอนุพันธ์ของไคติน ไคโตซานมีองค์ประกอบเป็น กลูโคซามีน (Glucosamine) และ เอ็น-แอซิติลกลูโคซามีน (N-acetylated glucosamine) เป็นหน่วยย่อยที่เรียงต่อกันเป็นสายด้วย พันธะ (1-4) - กลูโคสิดิก [(1-4) Glucosidic bonds] (ภาพที่ 3) จำนวนและลำดับของหน่วยย่อยในสายพอลิเมอร์จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและชีวภาพของไคโตซาน



ภาพที่ 3 โครงสร้างของไคโตซาน

ที่มา: Sinha *et al.* (2004)

การประยุกต์ใช้สารไคติน และไคโตซานในผลิตภัณฑ์อาหาร ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนไคติน-ไคโตซาน เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารและยา จากสมบัติที่ต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด (No *et al.*, 2007) จึงมีการใช้ไคติน-ไคโตซานเป็นสารกันบูด สารปรุงแต่งเพื่อความคงรูปและคงสีในอาหารต่างๆ สารเคลือบอาหารและผัก ผลไม้ ประโยชน์ของไคติน-ไคโตซานในด้านอาหาร ในการเป็นสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Antimicrobials) เช่น เชื้อแบคทีเรีย *Staphyococcus aureus* และเชื้อรา *Aspergillus parasiticus*

สำหรับกลไกการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ไคโตซานอาจยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์โดยอนุภาคประจุบวกบนโมเลกุลของไคโตซานสามารถจับกับอนุภาคประจุลบบนผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้ผนังเซลล์เกิดความเสียหายขึ้นจนไม่สามารถควบคุมการผ่านเข้าออกของสาร จึงเกิดการรั่วไหลของสารต่างๆในเซลล์ และทำให้เซลล์ตายในที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าฤทธิ์ในการต้านจุลินทรีย์อาจเป็นผลมาจากการขัดขวางสารอาหารเข้าสู่เซลล์ ไคโตซานบางชนิดโดยเฉพาะชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เมื่อเคลื่อนเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์จะไปจับกับ DNA จึงยับยั้งการสังเคราะห์ RNA และโปรตีน หรืออาจจับกับอออนของโลหะ (Chelation) และสารอาหารที่จำเป็น นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับขนาดน้ำหนักโมเลกุล ค่าระดับการกำจัดหมู่เอซิติลชนิดของจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย ชนิดของสารละลายกรดที่ใช้ ชนิดของอาหารและอุณหภูมิในการเก็บรักษาองค์ประกอบของอาหาร เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ เกลือ อาจทำปฏิกิริยากับไคโตซานและส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ การดัดแปลงโมเลกุลของไคโตซานมีผลต่อการยับยั้งจุลินทรีย์ด้วยเช่นกัน อนุพันธ์ของไคโตซานหลายตัว เช่น Diethylmethylchitosan, N,O-acylchitosan และ Hydroxypropylchitosan มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อราได้ดีกว่าไคโตซาน (กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2553)

ขนมปังเป็นอาหารที่มีอายุการเก็บรักษาที่จำกัดเพราะจะเกิดการเสื่อมสภาพ มีกลิ่นอับและบูดเสียจากการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ จากผลการศึกษาวิจัยที่รวบรวมโดย No *et al.* (2007) แสดงให้เห็นว่าขนมปังที่เคลือบด้วยไคโตซาน (1-2%) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 2-493 kDa สามารถเก็บรักษาได้นานกว่ามีการเสื่อมสภาพ การสูญเสียความชื้นและความแข็งของขนมปังน้อยกว่า รวมทั้งพบว่ามีปริมาณเชื้อราและจุลินทรีย์อื่นๆ ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังที่ไม่ได้เคลือบ ขนมปังที่เคลือบหรือเติมไคโตซานสามารถคงคุณภาพและเก็บได้นานขึ้น เป็นผลมาจากคุณสมบัติของไคโตซานในการป้องกันการสูญเสียความชื้นและความสามารถในการชะลอการเสื่อมสภาพและยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นของไคโตซานที่ใช้ในขนมปังมีผลต่อการยืดอายุในการเก็บรักษา จากการศึกษาของ Lee *et al.* (2002) พบว่า ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (30 และ 120 kDa) จะช่วยยืดเวลาการเก็บรักษาได้นานกว่าชนิดที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า (1 และ 5 kDa) และการเพิ่มความเข้มข้นทำให้ยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้ดีขึ้นด้วย

การปรับปรุงคุณภาพของขนมปัง

ขนมปังจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทั้งภายในและภายนอกเมื่อทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดลักษณะที่ไม่ต้องการขึ้นนี้ จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเรียกว่า การเสื่อมคุณภาพ (Staling) ทำให้ผู้บริโภคไม่เป็นที่ยอมรับ ซึ่งมีหลายงานวิจัยที่ศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพทางกายภาพ ทางโภชนาการและทางจุลินทรีย์ของผลิตภัณฑ์ จากงานวิจัยของ Noomhorm *et al.* (1994) ที่ศึกษาถึงผลของการใช้แป้งข้าวเจ้าพันธุ์ต่างๆ ของไทยทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมปัง ซึ่งใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 พบว่า ปริมาณการทดแทนแป้งสาลีและชนิดของสายพันธุ์ข้าวมีผลกระทบต่อน้ำหนัก ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) และคะแนนความชอบรวมของขนมปัง เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการและคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 5 จะให้ผลดีที่สุด และขนมปังที่ผู้บริโภคให้การยอมรับคือ ขนมปังที่ใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีร้อยละ 15 นอกจากนี้ พรวิณัส และคณะ (2544) ได้ทำการพัฒนาขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ พบว่า เมื่อปริมาณแป้งข้าวหอมมะลิเพิ่มขึ้น ขนมปังจะมีปริมาตรจำเพาะลดลงและมีค่าความแข็งของเนื้อในเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิได้ถึง 30% เพื่อทดแทนแป้งสาลี ผู้บริโภคมีความชอบขนมปังจากแป้งผสมในระดับชอบปานกลาง

จากการศึกษาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การใช้แป้งข้าวเจ้าทดแทนแป้งสาลีจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพทางกายภาพของขนมปัง คือทำให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ลดลงและขนมปังจะมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ผู้บริโภคยังคงยอมรับและมีความชอบขนมปังจากแป้งผสม ถึงแม้ว่าขนมปังจากแป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเจ้าและแป้งสาลีอาจจะไม่ได้ช่วยปรับปรุงคุณภาพในด้านเนื้อสัมผัสของขนมปัง แต่ก็มีความมุ่งหมายเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับปลายข้าวหอมมะลิและเป็นการลดปริมาณการใช้แป้งสาลีซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

สำหรับการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังในด้านเนื้อสัมผัสและการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ มีงานวิจัยมากมายที่ศึกษาการใช้แป้งชนิดต่างๆ เพื่อทดแทนแป้งสาลี รวมไปถึงการเสริมสารอาหารเพื่อปรับปรุงคุณภาพขนมปัง และส่งเสริมให้เป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อสุขภาพ จากงานวิจัยของ Purna *et al.* (2011) ที่ศึกษาถึงคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของขนมปังที่ใช้แป้ง Waxy wheat ทดแทนแป้ง

สาลี (*Triticum aestivum* L.) ในอัตราส่วน 15, 30 และ 45 % พบว่าขนมปังที่ใช้แป้ง Waxy wheat ทดแทนแป้งสาลีจะมีความนุ่มและมีปริมาตรเพิ่มมากขึ้นภายหลังการอบ อย่างไรก็ตาม ขนมปังที่ใช้แป้ง Waxy wheat ทดแทนแป้งสาลีมากกว่า 30 % มีผลทำให้เนื้อขนมปังหดตัวและเกิดรูปทรงแบบ Keyhole โครงสร้างระดับจุลภาคชี้ให้เห็นว่า เกิดการสูญเสียความสมบูรณ์ของเม็ดแป้งและเกิดการหลอมรวมตัวกัน เซลล์ในเนื้อขนมปังไม่เกิดการกระจายตัวของก๊าซ เป็นผลให้เกิดการหดตัวในระหว่างการเย็นตัวของขนมปัง ขนมปังที่มี Waxy wheat 30-45 % องค์ประกอบของส่วนที่ละลายได้ คือ Amylopectin จึงทำให้ขนมปังนุ่มหลังจากการอบ แต่ไม่ได้ช่วยชะลอการเกิด Staling ในระหว่างการเก็บรักษา

Charoenthaikij *et al.* (2009) ใช้แป้งข้าวกล้องงอกจากข้าวกล้องข้าวเหนียวและข้าวเจ้า (40%) ในการปรับปรุงคุณภาพทำให้ขนมปังนุ่ม และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ Hung *et al.* (2007) ได้ศึกษาถึงคุณภาพของโดและขนมปังที่มีการใช้แป้ง Whole waxy wheat (WWF) ทดแทนแป้งสาลี พบว่าขนมปังที่มีแป้ง WWF จะมีคุณภาพที่ดีขึ้นและยังช่วยชะลอการเกิด Staling และ มีปริมาณโปรตีนที่สูงกว่า มีเส้นใยอาหารมาก และมีปริมาณไขมันต่ำ จึงเหมาะที่จะนำมาทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อสุขภาพ และ Hu *et al.*, (2009) ศึกษาการเสริมเฮมิเซลลูโลส (RBHB) และกากใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (RBDF) พบว่ามีศักยภาพในการใช้ประโยชน์ในอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพัฒนาอาหารเพื่อสุขภาพ (Functional food) ซึ่งรวมถึงผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพื่อสุขภาพ (Functional bakery) อีกด้วย นอกจากนี้ Kerch *et al.* (2010) ได้ศึกษาถึงผลของ ไคโตซานและไคโตซานโอลิโกแซ็กคาไรด์ต่อการเกิด Staling ในขนมปัง พบว่า อัตราการเกิดความแน่นเนื้อ (Firmness) ในเนื้อขนมปังจะแปรผันตามระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยอาจมีกลไกที่เกิดขึ้นคือ การยับยั้งสารประกอบเชิงซ้อนระหว่าง Amylose-lipid, การเร่งการจัดน้ำของ Starch และ Gluten, การดูดซับ Chitosan ที่ผิวของ Starch

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. วัตถุดิบ

วัตถุดิบแบ่ง ได้แก่ แป้งสาลีตราหงส์ขาว (บริษัท UFM จำกัด) และแป้งข้าวเหนียว (ชนิดโม่ไม่ดีพิเศษ) ตราช้างสามเศียร (บริษัท โรงเส้นหมี่ขอเอง จำกัด) เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการวิเคราะห์ โคโตซาน น้ำหนักโมเลกุล 500,000 DE 87% บรรจุในภาชนะปิดสนิทเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง วัตถุดิบในการผลิตขนมปังอื่นๆ ได้แก่ ยีสต์ผง ตรา Fermipan Red เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4-5 °C เนยขาว เกลือ และน้ำตาลทรายเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 °C)

2. สารเคมี

สารเคมีทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองแบ่งตามวิธีการทดลอง ดังนี้

2.1 ปริมาณโปรตีน

- 0.1 M Hydrochloric acid
- Sulfuric acid
- Selenium mixture
- 32% Sodium hydroxide
- Mixing indicator
- 2% Boric acid

2.2 ปริมาณแอมิโลส

- 90% Dimethyl Sulfoxide (DMSO)
- สารละลายไอโอดีน
- Amylopectin จากข้าวโพด (Sigma-Aldrich, S-9679, St. Louis Mo, USA)
- Amylose จากมันฝรั่ง (Sigma-Aldrich, A-0512, St. Louis Mo, USA)

2.3 การเตรียมสารละลายโคโตซาน

- 2% Lactic acid
- Chitosan ขนาดน้ำหนักโมเลกุล 500,000 DE = 87%

2.4 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของขนมปัง

- อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA (Plate count agar)
- อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA (Potato dextrose agar)
- 0.8% NaCl
- 10% Tartaric acid

3. อุปกรณ์และเครื่องมือ

- ตู้อบลมร้อน (Universal Oven with Blower) (MEMMERT, ULM 700, Germany)
- เครื่องชั่งวิเคราะห์ความละเอียด 4 ตำแหน่ง (Precisa, Precisa Instruments Ltd., Switzerland)
- เครื่อง Brabender Farinograph Resistograph (OHG DUISDURG, Kulturstrasse, Germany)
- เครื่อง Texture analyzer (LLYOD, LF500, Intro Enterprise Co. Ltd., UK)
- เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว Rapid Visco Analyzer (Newport, Super 3, Newport Scientific Pty,Ltd., Australia)
- เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) (Vortex–Genie 2, G560E, Scientific Industries, Inc., USA)
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า (GFL 1083, Germany)
- เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Milton Roy, Spectronic 21, Milton Roy Co., USA)
- เครื่องทำขนมปัง (SEVERIN, SEV-3983, Italy)
- เครื่องหั่นขนมปัง (SEVERIN, SEV-3965, Italy)
- ตู้อบขนมปัง (Union progress, Swiftech, UNION PROGRESS LTD., PART)
- ตู้บ่ม (บริษัท สยามอินคูเบเตอร์ ซีส์เต็ม จำกัด)
- เครื่องวิเคราะห์โปรตีน พร้อมอุปกรณ์ (Buchi, B-324, K-424, B-414, 252, Switzerland)
- เครื่อง Syphon (Soxhlet Extraction Apparatus) (Buchi, B-810, Switzerland)
- เครื่องวัดสี CIE Lab (BYK-Gardner, Color-guide gloss GmbH ,Germany)
- เครื่อง Stomacher (IUL Instruments, Masicator, Barcelona, Spain)
- ตู้บ่ม สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ยีสต์และรา (MEMMERT, BM500, Germany)
- ตู้บ่ม สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (MEMMERT, BM400, Germany)
- เครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter) (Decagon, p_{aw} kit, Inc Pullman., USA)
- เครื่อง Hotplate stirrer (Harmony, HTS-1003, Tokyo, Japan)
- อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์

4. วิธีการทดลอง

4.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำวัตถุดิบแป้ง และวัตถุดิบอื่นๆ มาเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 °C) ก่อนนำไปทำการวิเคราะห์

4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของวัตถุดิบแป้ง

ทำการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบทางเคมีกายภาพ ได้แก่

4.2.1 คุณภาพทางเคมี

4.2.1.1 ปริมาณความชื้น ด้วยวิธีการอบ ตามวิธีของ AOAC (2000)

4.2.1.2 ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl ตามวิธีของ AOAC (2000)

4.2.1.3 ปริมาณไขมันด้วยวิธี Soxhlet ตามวิธีของ AOAC (2000)

4.2.1.4 ปริมาณแอมิโลสตามวิธีของ Hoover and Ratnayake (2005)

4.2.2 คุณภาพทางกายภาพ

4.2.2.1 ค่าสี L^* , a^* , b^* ระบบ CIE Lab ด้วยเครื่องวัดสีและคำนวณดัชนีความขาว

จากสูตร

$$WI = 100 - ([100 - L]^2 + a^2 + b^2)^{1/2} \quad \dots\dots\dots(1)$$

4.2.2.2 พฤติกรรมความหนืดด้วยเครื่อง วิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว Rapid Visco Analyzer (RVA) บันทึกค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature, °C) ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU) ความหนืดต่ำสุด (Trough, RVU) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown, RVU) การคืนตัวของแป้ง (Setback from peak, RVU) และความคงตัวของแป้ง (Setback from trough)

4.3 การพัฒนาสูตรขนมปังจากแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งข้าวเหนียว

4.3.1 การเตรียมวัตถุดิบแป้งผสม

ทำการผสมแป้งข้าวเหนียวลงในแป้งสาลี (Wheat substituted with glutinous rice flour, WSG) ร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/w) แล้ววิเคราะห์คุณภาพดังนี้

4.3.1 ปริมาณความชื้น ด้วยวิธีการอบ ตามวิธีของ AOAC (2000)

4.3.2 ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl ตามวิธีของ AOAC (2000)

4.3.3 ค่าสี L^* , a^* , b^* ระบบ CIE Lab ด้วยเครื่องวัดสี และคำนวณดัชนีความ

ขาวจากสูตร (1)

4.3.2 การพัฒนาสูตรขนมปัง

ผลิตขนมปังตามสูตรมาตรฐานดัดแปลงจาก AACC (2000) Method 10-10B (ตารางที่ 2) โดยใช้แป้งผสมตามอัตราส่วนในข้อ 4.3.1 โดยมีกระบวนการผลิตดังนี้ ละลายน้ำตาลและเกลือกับน้ำให้เข้ากันดี หลังจากนั้นร่อนส่วนแป้งและยีสต์เข้าด้วยกัน นำน้ำละลายน้ำตาลและเกลือใส่ลงในเครื่องทำขนมปัง ค่อยๆ ใส่ส่วนผสมที่ผ่านการร่อนตามลงไป นวดแป้งด้วยเครื่องทำขนมปังอัตโนมัติ ใช้เวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำโดที่ได้มานวดด้วยมือ แล้วพักไว้ 15 นาที นำมานวดต่อโดยใช้ไม้นวดและม้วนด้วยมือ ใส่ลงพิมพ์ บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80% เป็นเวลา 60 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของขนมปังที่ทำการพัฒนา

ส่วนผสม	Control	สูตรที่ 1 (WSG 10)	สูตรที่ 2 (WSG 20)	สูตรที่ 3 (WSG 30)
แป้งสาลี	100	90	80	70
แป้งข้าวเหนียว	0	10	20	30
ยีสต์แห้งผง	1.5	1.5	1.5	1.5
เกลือ	1.5	1.5	1.5	1.5
น้ำตาล	6	6	6	6
เนยขาว	3	3	3	3

ที่มา: ดัดแปลงสูตรจาก AACC (2000) Method 10-10B

หมายเหตุ: WSG 0, WSG 10, WSG 20 และ WSG 30 หมายถึง แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลี (Wheat substituted with glutinous rice flour, WSG) ร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/w) ตามลำดับ

4.3.3 การศึกษาคุณภาพของโดและขนมปังจากแป้งผสม

4.3.3.1 คุณภาพของโดขนมปัง

ทำการตรวจสอบคุณภาพของโดด้วยเครื่องฟาริโนกราฟ (Farinograph) ตามวิธีของ AACC (2000) Method 54-21 บันทึกค่าการดูดซึมน้ำของแป้งที่เหมาะสม ซึ่งทำให้โดมีความชื้นที่เหมาะสมและเกิดความสูงของเส้นกราฟที่เส้น 500 B.U. เป็นมาตรฐานสากล ทำการวัดค่าดังนี้

1. เวลาที่เกิดจุดสูงสุดของเส้นโค้ง (Dough development time) วัดจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสูงสุดของเส้นโค้งที่สัมผัสกับเส้น 500 B.U. วัดเป็นนาที
2. ความคงทนต่อการผสม (Mixing stability) วัดได้จากผลต่างของเวลาของจุดสุดท้ายก่อนพ้นเส้น 500 B.U. กับเวลาเริ่มต้น วัดเป็นนาที
3. ดัชนีความคงทนต่อการผสม (Mixing tolerance index ; MTI) วัดจากผลต่างของความชื้นหนืดที่จุดสูงสุดของเส้นโค้งไปยังจุดบนเส้นโค้งที่ 5 นาทีหลังจากจุดสูงสุดนั้น วัดเป็น B.U.

4. ความอ่อนตัวของโด (Degree of softening) เป็นความแตกต่างของค่าความชื้นหนืด วัดจากเส้น 500 B.U. กับจุดกลางของเส้นโค้งที่ 12 นาที หลังจากจุดสูงสุดหรืออาจวัดที่ 20 นาที หลังจากจุดเริ่มต้น วัดเป็น B.U.

4.3.3.2 คุณภาพขนมปังจากแป้งผสมโดยการวิเคราะห์ค่าดังนี้

- ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) โดยวิธีการแทนที่ก้อนขนมปังด้วยน้ำ

- เนื้อสัมผัส (Texture) วัดค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียว (Adhesiveness) ของขนมปัง ด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยดัดแปลงจากวิธี AACC 74-09 (AACC, 2000) ใช้ Compression probe ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร ระยะทางในการกด 1 เซนติเมตร (Samples compressed by 40%) ความเร็วหัวเข็ม (Test speed) 50 มิลลิเมตร/นาที วัดค่าทั้งหมด 6 ซ้ำ

- ค่าสี L^* , a^* , b^* ระบบ CIE Lab ด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab และคำนวณดัชนีความขาวตามสูตร (1)

- ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter)

- ทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินโดยผู้ทดสอบทั้งฝึกฝนจำนวน 30 คน ทั้งเพศชายและหญิง ในพื้นที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ให้คะแนนความชอบขนมปังโดยวิธี 9 – point hedonic scale (1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด) ผู้ทดสอบแต่ละคนจะทำการทดสอบตัวอย่างขนมปัง 4 ตัวอย่าง ได้แก่ ขนมปังจาก WSG10 WSG20 WSG30 และ control บรรจุในถุง Polypropylene (PP) ที่มีรหัสเลขสุ่ม 3 หลัก ทำการเสิร์ฟทีละตัวอย่าง โดยให้ผู้ทดสอบประเมินลักษณะปรากฏโดยรวม (สี และโพรงอากาศ) เนื้อสัมผัส กลิ่นรสแป้ง และความชอบโดยรวม

4.4 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โคโตซานในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา

4.4.1 การเตรียมสารละลายโคโตซาน

เตรียมสารละลายโคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.7 และ 1.4 โดยทำการละลายในสารละลาย 1% Lactic acid เป็นเวลา 2 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้อิ่มตัวที่อุณหภูมิ 4-5 °C เป็นเวลา 1 วัน เพื่อใช้ในการเตรียมขนมปังเสริมโคโตซานต่อไป

4.4.2 การเตรียมขนมปังเสริมโคโตซาน

เตรียมขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวต่อแป้งสาลีในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการทดลอง 4.4 โดยเสริมโคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.7 และ 1.4 แล้วบรรจุในถุง Polypropylene (PP) และเก็บรักษา 0, 3 และ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 °C)

4.4.3 การศึกษาคุณภาพขนมปังเสริมโคโตซาน

ทำการศึกษาคุณภาพของขนมปังเสริมโคโตซานดังนี้คือ

4.4.3.1 คุณภาพทางกายภาพ

- ค่าเนื้อสัมผัส (Texture) วัดค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียว (Adhesiveness) ของขนมปัง ด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยดัดแปลงจากวิธี AACC 74-09 (AACC, 2000) ด้วย Compression probe ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร กดที่ระดับ 40% deformation ความเร็วหัวเข็ม (Test speed) 50 มิลลิเมตร/นาที วัดค่า 6 ซ้ำ ขนาดชิ้นตัวอย่างกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 4 x 4 x 2.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- ค่าสี L^* , a^* , b^* ระบบ CIE Lab ด้วยเครื่องวัดสี

4.4.3.2 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ทำการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และยีสต์และรา ตามวิธีการของ AOAC (2000)



บทที่ 4 ผลและวิจารณ์

1. การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของวัตถุดิบแป้ง

1.1 คุณภาพทางเคมี

จากการศึกษาคุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวเหนียว แป้งสาลี และแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งข้าวเหนียว (Wheat substituted with glutinous rice flour, WSG) ร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/w) พบว่า แป้งสาลีมีความชื้นร้อยละ 13.12 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของแป้งสาลีที่กำหนดไว้ว่าต้องมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 (มอก, 2524) เนื่องจากถ้าแป้งสาลีมีความชื้นสูงกว่าร้อยละ 14 จะเกิดกลิ่นจากเชื้อราและสีของแป้งเปลี่ยนแปลงได้ง่าย (อรอนงค์, 2532) แป้งข้าวเหนียวมีความชื้นร้อยละ 11.35 และแป้ง WSG 10, 20 และ 30 มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 12.69-12.72 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 3

เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีนซึ่งหาได้จากวิธี Kjeldahl Method พบว่า แป้งสาลีมีปริมาณโปรตีนโดยน้ำหนักแห้งร้อยละ 17.77 ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงที่ระบุปริมาณโปรตีนของแป้งสาลีร้อยละ 15.3 (คิดที่ความชื้น 13.5%) (อรอนงค์, 2532) ส่วนแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณโปรตีน (โดยน้ำหนักแห้ง) ร้อยละ 7.48 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงในตารางแสดงคุณค่าอาหารไทยในส่วนที่กินได้ 100 กรัม ที่ระบุว่าแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 7.00 (กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข, 2530) จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าแป้งสาลีมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งข้าวเหนียว เมื่อเพิ่มระดับของแป้ง WSG ที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 พบว่าปริมาณโปรตีนของแป้ง WSG มีค่าลดลง โดยมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 15.26-16.76 และจากการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสพบว่า แป้งสาลีมีปริมาณแอมิโลส (22.39) สูงกว่าแป้งข้าวเหนียว (0) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลีที่ระดับต่างๆ

ตัวอย่าง	ความชื้น(ร้อยละ)	โปรตีน(ร้อยละ)	แอมิโลส(ร้อยละ)
แป้งสาลี (Control)	11.35 ± 0.06 ^c	17.77 ± 0.07 ^a	22.39 ± 0.48
แป้งข้าวเหนียว	13.12 ± 0.12 ^a	7.48 ± 0.32 ^d	0 ± 0.42
WSG 10	12.69 ± 0.03 ^b	16.76 ± 0.49 ^b	N/A*
WSG 20	12.76 ± 0.10 ^b	15.61 ± 0.33 ^c	N/A*
WSG 30	12.72 ± 0.06 ^b	15.26 ± 0.13 ^c	N/A*

หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวัดค่า 3 ซ้ำ ค่าร้อยละแสดงโดยน้ำหนักแห้ง

^{a-c} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์นี้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

*N/A = Not Analysis

1.2 คุณภาพทางกายภาพ

1.2.1 คุณภาพทางด้านสี

จากการศึกษาคุณภาพทางกายภาพทางด้านค่าสี (L^* , a^* , b^*) และคำนวณดัชนีความขาว (WI) พบว่า แป้งข้าวเหนียวมีค่าความสว่าง (98.22) มากกว่าแป้งสาลี (Control) (94.42) โดยที่ WSG ร้อยละ 10 (94.79) ไม่ทำให้ความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับ Control ในขณะที่เมื่อเพิ่มระดับ WSG ที่ร้อยละ 20 และ 30 พบว่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น WSG ร้อยละ 20 (95.49) และ WSG ร้อยละ 30 (95.68) สำหรับค่าดัชนีความขาว (WI) ผลการศึกษาพบว่าแป้งข้าวเหนียวมีค่าดัชนีความขาว (96.95) มากกว่าแป้งสาลี (91.78) และแป้งสาลีจะมีความขาวเพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวที่สูงขึ้น (ตารางที่ 4) ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณกลูเตนที่ส่งผลต่อสีของแป้ง (จิตรนา และอรอนงค์, 2541) โดยแป้งที่มีกลูเตนในปริมาณมากจะมีสีค่อนข้างน้ำตาล และแป้งที่มีกลูเตนในปริมาณน้อยจะมีสีที่ค่อนข้างขาว

ตารางที่ 4 ค่าสี และดัชนีความขาว (WI) ของแป้งข้าวเหนียว แป้งสาลี และแป้งผสมที่ระดับการทดแทนต่างๆ

ตัวอย่าง	L^*	a^*	b^*	WI
แป้งสาลี (Control)	94.42 ± 0.20^c	-0.05 ± 0.03^c	6.04 ± 0.37^a	91.78 ± 0.24^d
แป้งข้าวเหนียว	98.22 ± 0.03^a	-0.56 ± 0.17^d	2.41 ± 0.31^e	96.95 ± 0.24^a
WSG 10	94.79 ± 0.31^c	0.66 ± 0.12^a	5.19 ± 0.29^b	92.61 ± 0.39^d
WSG 20	95.49 ± 0.10^b	0.33 ± 0.11^b	4.64 ± 0.11^c	93.53 ± 0.15^c
WSG 30	95.68 ± 0.39^b	0.31 ± 0.11^b	4.07 ± 0.33^d	94.04 ± 0.19^b

หมายเหตุ: WI (Whiteness index) คำนวณจากสูตร $WI = 100 - ([100 - L]^2 + a^2 + b^2)^{1/2}$

ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวัดค่า 6 ซ้ำ

^{a-e} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

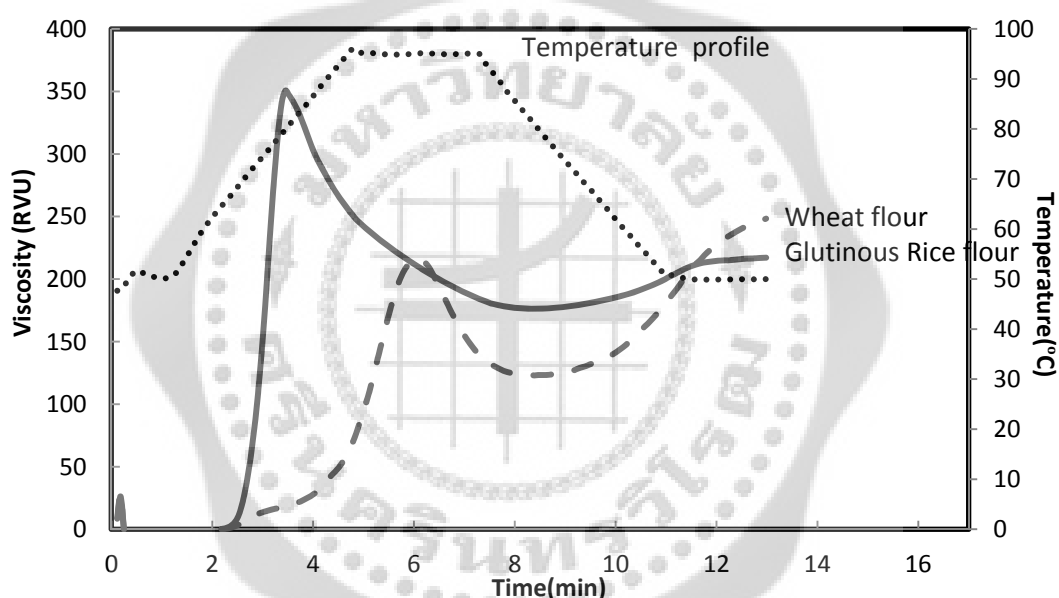
WSG 0, WSG 10, WSG 20 และ WSG 30 หมายถึง แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลี (Wheat substituted with glutinous rice flour, WSG) ร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/w) ตามลำดับ

1.2.2 พฤติกรรมความหนืด

จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลีด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่า แป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลีมีพฤติกรรมความหนืดดังแสดงในตารางที่ 5 และภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าแป้งข้าวเหนียวมี Pasting temperature 66.23 RVU ค่า Peak viscosity เท่ากับ 350.63 RVU จะเห็นได้ว่าแป้งข้าวเหนียวมีค่า Peak viscosity (350.63 RVU) สูงกว่าแป้งสาลี (216.21 RVU) นั่นคือแป้งข้าวเหนียวจะมีความหนืดสูงสุดในช่วงการให้ความร้อน ซึ่งเป็นจุดที่เกิดเจลลาติไนเซชันสมบูรณ์มากกว่าแป้งสาลี เนื่องจากเม็ดแป้งสาลีมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณแอมิโลสและไขมัน (กล้าณรงค์, 2546) เมื่อพิจารณาค่า Breakdown เท่ากับ 174.46 RVU ซึ่งมากกว่าแป้งสาลี (93.21 RVU) ทำให้แป้งข้าวเหนียวมีความคงทนต่ออุณหภูมิมากกว่าแป้งสาลี แต่มีค่า Final viscosity (217.09 RVU) น้อยกว่า

แป้งสาลี (248.33 RVU) ซึ่งค่าความหนืดสุดท้ายของการทดลอง ใช้บ่งชี้ลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายหรือเจลที่เกิดขึ้น กล่าวคือหาก Final viscosity สูงเจลที่ได้ก็จะมี ความแข็งแรงมาก

สำหรับค่า setback เป็นค่าที่บอกลถึงการคืนตัว (Retrogradation) ของแป้งหลังจากให้ความเย็นกับเจลแป้ง จากการศึกษาพบว่า แป้งข้าวเหนียวมีค่า Setback (40.92 RVU) น้อยกว่าแป้งสาลี (125.34 RVU) นั่นคือ แป้งข้าวเหนียวเกิดการคืนตัวน้อยกว่าแป้งสาลี ซึ่งการคืนตัวของแป้งจะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของอาหาร โดยแป้งที่มีการคืนตัวน้อยกว่าจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะนุ่มกว่า แต่แป้งที่มีการคืนตัวมากกว่าโดยเฉพาะในระหว่างการเก็บรักษาจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแห้งและร่วนกว่า (ภัทรภณ และคณะ, 2552) ดังนั้นหากทำเป็นแป้งผสมจึงน่าจะมีส่วนช่วยทำให้การคืนตัวหลังการอบและช่วงแรกของการเก็บรักษา



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลี เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

ตารางที่ 5 คุณภาพทางด้านความหนืดของแป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลีจากการตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

คุณภาพ	แป้งข้าวเหนียว	แป้งสาลี
Pasting Temperature (°C)	66.23 ± 0.04 ^b	68.98 ± 0.53 ^a
Peak viscosity (RVU)	350.63 ± 3.36 ^a	216.21 ± 2.30 ^b
Trough (RVU)	176.17 ± 0.59 ^a	123.00 ± 3.42 ^b
Breakdown (RVU)	174.46 ± 3.95 ^a	93.21 ± 1.12 ^b
Final viscosity (RVU)	217.09 ± 0.59 ^b	248.33 ± 3.89 ^a
Setback from trough (RVU)	40.92 ± 0.00 ^b	125.34 ± 0.47 ^a

หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวัดค่า 2 ซ้ำ

^{a-b} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Pasting temperature คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด หรือเป็นอุณหภูมิที่แป้งเริ่มสุก (°C)

Peak viscosity คือ ความหนืดสูงสุดในช่วงให้ความร้อน, Trough คือ ความหนืดต่ำสุดในช่วงให้ความร้อน, Breakdown คือ ความแตกต่างของความหนืดต่ำสุดและสูงสุด, Final viscosity คือ ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง, Setback from trough คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด โดยมีหน่วยเป็น RVU

2. การพัฒนาสูตรขนมปังจากแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งข้าวเหนียว

2.1 คุณภาพของโดจากแป้งผสม

จากการศึกษาคุณภาพของโดจากแป้งสาลี (Control) แป้ง WSG ที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/w) โดยใช้เครื่องฟาริโนกราฟ พบว่า เมื่อเพิ่มระดับ WSG ที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 ปริมาณการดูดซึมน้ำของแป้งจะเพิ่มขึ้น (68.05, 69.70 และ 71.63 ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับ Control (65.10) (ตารางที่ 6) ซึ่งปริมาณการดูดซึมน้ำของแป้ง WSG ที่เพิ่มขึ้นนี้แสดงให้เห็นว่า แป้งข้าวเหนียวสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่าแป้งสาลี ส่งผลให้ขนมปังที่ผลิตจากแป้ง WSG ต้องใช้น้ำมากกว่าการทำขนมปังจากแป้งสาลีล้วนและปริมาณการดูดซึมน้ำของแป้งที่วัดได้นี้จะเป็นแนวทางในการกำหนดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตขนมปัง ดังนั้นขนมปังที่มีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวในระดับที่สูงขึ้น ปริมาณน้ำที่ใช้ก็จะสูงขึ้นตามลำดับดังนี้ WSG 30 (66.29%), WSG 20 (64.24%) และ WSG 30 (62.72%)

ตารางที่ 6 ปริมาณการดูดซึมน้ำและปริมาณน้ำที่ใช้ในสูตรขนมปังของแป้งสาลีและแป้งผสมที่ระดับต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณการดูดซึมน้ำ(ร้อยละ)	ปริมาณน้ำที่ใช้*(ร้อยละ)
แป้งสาลี (Control)	65.10 ^d	60.00
WSG 10	68.05 ^c	62.72
WSG 20	69.70 ^b	64.24
WSG 30	71.63 ^a	66.29

หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวัดค่า 3 ซ้ำ

^{a-d} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

*ปริมาณน้ำที่ใช้ = $\frac{\text{ปริมาณน้ำในสูตรขนมปัง} \times \text{ปริมาณการดูดซึมน้ำของแป้งผสม}}{\text{ปริมาณการดูดซึมน้ำของแป้งสาลี}}$

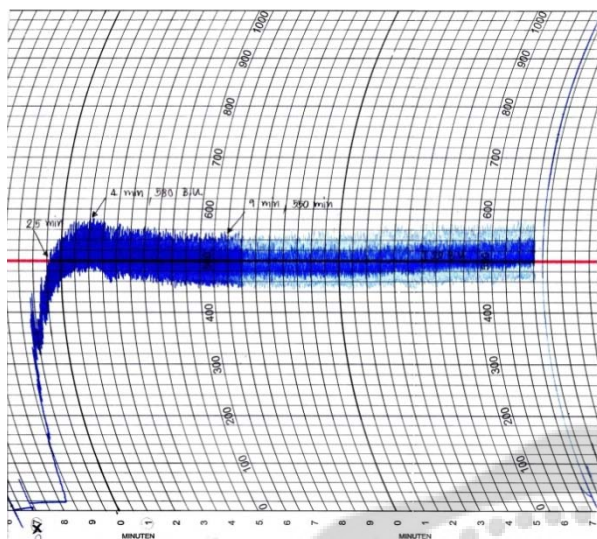
คุณลักษณะของโดเป็นคุณลักษณะที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของขนมปังโดยตรง ดังนั้นการศึกษาพฤติกรรมความหนืดของโดจึงช่วยในการบอกถึงคุณภาพของแป้ง ความคงตัว และการพัฒนาของโด (สว รัช, 2551) จากผลการศึกษาคุณสมบัติของโดจากแป้ง WSG ร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/w) เปรียบเทียบกับแป้งสาลี (Control) พบว่า แป้ง WSG ร้อยละ 10, 20 และ 30 มีคุณภาพของโดแตกต่างจาก Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดย WSG30 มีเวลาที่ใช้ในการผสมเป็นโด (DDT = 2.75 นาที) และความคงทนต่อการผสม (MS = 1.85 นาที) น้อยกว่า WSG20 (DDT = 3.00 นาที, MS = 2.88 นาที), WSG10 (DDT = 2.90 นาที, MS > 20 นาที) และ Control (DDT = 4.77 นาที, MS > 20 นาที) ตามลำดับ (ตารางที่ 7) นอกจากนี้ยังพบว่า แป้ง WSG ร้อยละ 30 มีค่าดัชนีความคงทนต่อการผสม (Mixing tolerance index ; MTI) ความอ่อนตัวของโด (Degree of softening) มากกว่าขนมปังสูตรอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งค่าดัชนีความคงทนต่อการผสม (Mixing tolerance index ; MTI) ของแป้ง WSG ร้อยละ 30 มีค่ามากแสดงว่ามีความคงตัวต่อการผสมน้อยกว่าตัวอย่างอื่น ๆ (ตารางที่ 7 และภาพที่ 3) โดยชนิดของแป้งจะมีพฤติกรรมความคงตัวของโดที่ต่างกัน และคุณภาพของกลูเตน โดยแป้งชนิดอ่อน จะให้ค่าเวลาที่ใช้ในการผสมเป็นโด และความคงทนต่อการผสมน้อยกว่า แป้งชนิดปานกลางและแข็ง ส่วนค่าดัชนีความคงทนต่อการผสมและความอ่อนตัวของโดจะมีค่ามาก ซึ่งแสดงว่าโครงสร้างของโดหรือกลูเตน มีความอ่อนตัว ไม่คงทนต่อการผสม (อรอนงค์, 2532)

นอกจากนี้การดูดซึมน้ำมีความสัมพันธ์กับชนิดของแป้ง การทดแทนแป้งข้าวเหนียวลงในแป้งสาลีในระดับที่สูงขึ้น จะทำให้ปริมาณกลูเตนลดน้อยลงตามลำดับ ส่งผลให้ความคงตัวของโดลดลง (ภาพที่ 5) จากผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่า แป้ง WSG ร้อยละ 30 ส่งผลให้โดมีความคงตัวน้อยที่สุด และแป้ง WSG ร้อยละ 10 จะให้คุณลักษณะของโดใกล้เคียงกับโดของแป้งสาลี (Control)

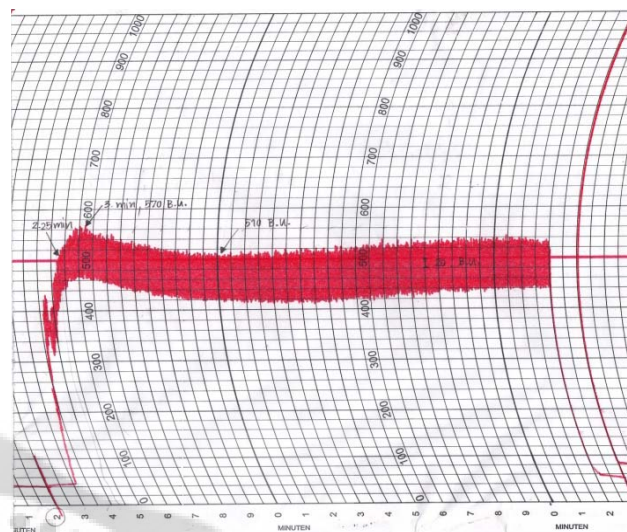
ตารางที่ 7 คุณภาพของโดจากแป้งสาลี และแป้งผสมที่ระดับต่างๆ วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง
Brabender Farinograph

ตัวอย่าง	dough development time (min)	mixing stability (min)	mixing tolerance index (MTI) (B.U.)	degree of softening (B.U.)
แป้งสาลี (Control)	4.77 ^a	>20 ^a	20.00 ^d	10.00 ± 10.00 ^c
WSG 10	2.90 ^b	>20 ^a	55.00 ^c	15.00 ^c
WSG 20	3.00 ^b	2.88 ^b	80.00 ^b	45.00 ^b
WSG 30	2.75 ^b	1.85 ^c	128.33 ^a	96.67 ^a

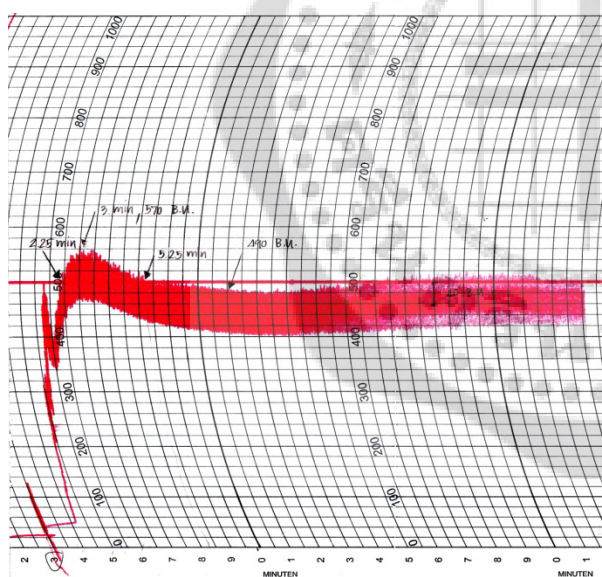
หมายเหตุ: ^{a-d} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เวลาที่เกิดจุดสูงสุดของเส้นโค้ง (dough development time) วัดจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสูงสุด ของเส้นโค้งที่สัมผัสกับเส้น 500 B.U.วัดเป็นนาที, ความคงทนต่อการผสม (mixing stability) วัดได้จากผลต่างของเวลาของจุดสุดท้ายก่อนพ้นเส้น 500 B.U. กับเวลาเริ่มต้น วัดเป็นนาที, ดัชนีความคงทนต่อการผสม (mixing tolerance index ; MTI) วัดจากผลต่างของความชันที่จุดสูงสุดของเส้นโค้งไปยังจุดบนเส้นโค้งที่ 5 นาทีหลังจากจุดสูงสุดนั้น วัดเป็น B.U.,ความอ่อนตัวของโด (degree of softening) เป็นความแตกต่างของค่าความชัน วัดจากเส้น 500 B.U. กับจุดกลางของเส้นโค้งที่ 12 นาที หลังจากจุดสูงสุดหรืออาจวัดที่ 20 นาที หลังจาก จุดเริ่มต้น วัดเป็น B.U.



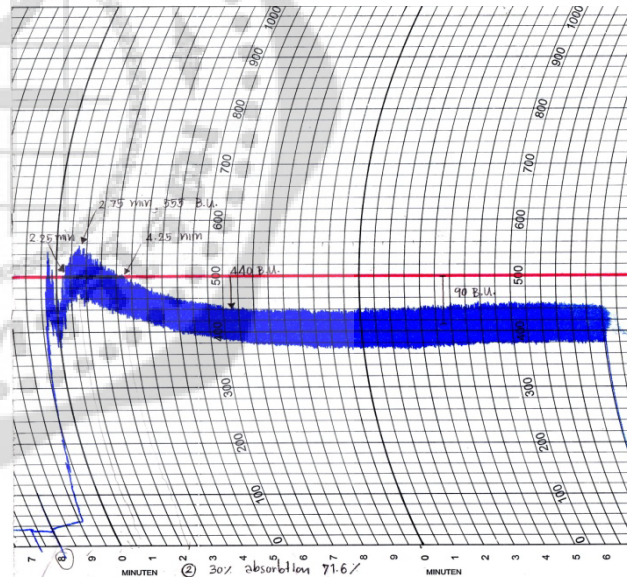
(a) แป้งสาลี (control)



(b) WSG 10



(c) WSG 20



(d) WSG 30

ภาพที่ 5 ลักษณะพฤติกรรมของโดจากเครื่อง ฟาริโนกราฟ ของแป้งสาลี (a), WSG 10(b), WSG 20(c) และ WSG 30 (d)

2.2 คุณภาพของขนมปังจากแป้งผสม

2.2.1 คุณภาพทางกายภาพ

เมื่อวิเคราะห์คุณภาพของขนมปังจากแป้งสาลี (Control) และขนมปังจากแป้งผสมที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเหนียวที่ระดับการทดแทนต่างๆ พบว่า ขนมปัง Control และขนมปังจากแป้งผสมที่ระดับการทดแทนต่างมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ในช่วง 0.88 – 0.91 (ตารางที่ 8) จากการทดลองชี้ให้เห็นว่าขนมปังที่มีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวในระดับที่สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ในขนมปังมีแนวโน้มที่จะลดลง ซึ่ง a_w เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณภาพและการเน่าเสียของอาหาร โดยจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาทางเคมีหรือปฏิกิริยาที่เร่งด้วยเอนไซม์อย่างช้าๆ และมีการเจริญของจุลินทรีย์เกิดขึ้น (นิธิยา, 2551) เมื่อเปรียบเทียบกับ Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ปริมาตรของขนมปังจะลดลงเมื่อมีระดับการทดแทนแป้งสาลีเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 9) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Hung *et al.* (2009) ที่ทำการศึกษาถึงคุณภาพของขนมปังที่ใช้ Whole wheat flour (WWF) ในระดับ 10%, 30% และ 50% พบว่า ขนมปังที่ใช้ WWF จะมี Specific volume ลดลงมากกว่าขนมปังที่ใช้แป้ง Commercial white flour (CMF) ซึ่งเป็นผลมาจากใน WWF จะมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงจึงไปเจือจางปริมาณกลูเตนและרבกวน Gluten matrix ในระหว่างกระบวนการหมัก จึงส่งผลให้ขนมปังที่ได้มีปริมาตรลดลงเมื่อเทียบกับขนมปังที่ใช้ CMF

ตารางที่ 8 ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของขนมปังจากแป้งสาลีและแป้งผสมที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวที่ระดับต่างๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)
Control	0.92 ± 0.01^a
B-WSG 10	0.88 ± 0.01^c
B-WSG 20	0.90 ± 0.01^b
B-WSG 30	0.91 ± 0.01^a

หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวัดซ้ำ 6 ครั้ง

^{a-b} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) Control คือ ขนมปังจากแป้งสาลี 100%

B-WSG 10, 20 และ 30 คือ ขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 10, 20 และ 30

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าขนมปังทุกสูตรหลังการอบ 24 ชั่วโมง จะมีปริมาตรลดลง โดยขนมปังที่มีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวในระดับ 30 % จะมีการหดตัวของปริมาตรอย่างมาก เช่นเดียวกับการศึกษาของ Purna *et al.* (2011) ที่พบว่าการเกิด Key-hole effect ในขนมปังที่มีการทดแทน WWF ในระดับ 30% ซึ่งเกิดจาก WWF จะมีอุณหภูมิ Pasting temperature ต่ำกว่าแป้งสาลีจึงพองตัวอย่างรวดเร็วและทำให้เม็ดแป้งเสียรูปร่างที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากการศึกษาสันนิษฐานว่าโดที่มีปริมาณ WWF เป็นส่วนประกอบเม็ดแป้งจะหลอมรวมกันและทำให้อากาศผ่านไปได้ เมื่อปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ถูกผลิตมากขึ้นในระหว่างการอบ ผงเซลลูล์จะขยายตัวออกไปมากที่สุดแต่จะไม่แตกออก แต่ในระหว่างการทำให้เย็น ผงเซลลูล์จะหดตัวเนื่องจากความดันภายในเป็นผลให้เกิด Key-hole effect เมื่อพิจารณาค่า Hardness พบว่า ผลิตภัณฑ์ขนมปังจาก WSG 10,20 และ 30 ทำให้ค่า

Hardness ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ Control (ตารางที่ 9) ซึ่งมักส่งผลให้ขนมปังที่มีปริมาตรต่ำกว่ามีความแข็งมากกว่าขนมปังที่มีปริมาตรสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามแม้ปริมาตรขนมปังจะลดลงแต่ไม่ส่งผลต่อความนุ่มของขนมปัง ค่า Hardness ลดลงอาจเนื่องมาจากการมีปริมาณ Amylose ที่ลดลงในสูตรของขนมปังที่มี waxy เป็นส่วนประกอบ ซึ่ง Amylose เมื่อเกิดการจัดเรียงตัวกันอีกครั้ง ทำให้เกิดความแน่นเนื้อ (Purna *et al.*, 2011) (ตารางที่ 9)

2.3.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังจากแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งข้าวเหนียว เพื่อคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม โดยทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน เพื่อประเมินคุณลักษณะขนมปังทางด้าน เนื้อสัมผัส กลิ่นรส แป้ง รสชาติ ลักษณะปรากฏโดยรวม และการยอมรับโดยรวม ร่วมกับการให้คะแนนความชอบ 9-point hedonic scale กำหนดให้ 9 = ชอบมากที่สุด, 1 = ไม่ชอบมากที่สุด พบว่า ขนมปังจากแป้งผสมมีความแตกต่างจาก Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 10) โดยขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 10, 20, และ 30 มีลักษณะปรากฏโดยรวมในด้าน สี และโพรงอากาศไม่แตกต่างไปจากขนมปังจากแป้งสาลี (Control) (ภาพที่ 6) สำหรับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสชี้ให้เห็นว่า ขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 10(6.28), 20(6.00) และ 30(6.16) ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยซึ่งมากกว่า Control (5.19) คะแนนความชอบลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 10(6.50), 20(5.84) และ 30(5.81) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลางมากกว่า Control(4.94) จะเห็นได้ว่า คะแนนการยอมรับของผู้บริโภคทางด้านเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมแตกต่างจาก Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับคะแนนความชอบกลิ่นรสแป้งของขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 10(6.00), 20(5.94) และ 30(5.78) อยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย ซึ่งกลิ่นรสแป้งของ WSG ที่ระดับต่างๆ ไม่แตกต่างจากขนมปัง Control ($P \geq 0.05$) และคะแนนความชอบลักษณะปรากฏโดยรวม (สี และโพรงอากาศ) ของขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 10(6.47), 20(6.31) และ 30(5.56) อยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อย ซึ่งขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 10 และ 20 ไม่แตกต่างจาก Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าลักษณะสีภายในของขนมปังขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งที่นำมาใช้ รวมถึงการหมักและการนวดที่ถูกต้อง (จิตธนาและอรอนงค์, 2532)

ตารางที่ 9 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) และ คุณภาพทางเนื้อสัมผัสของขนมปังจากแป้งสาลีและแป้งผสมที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวที่ระดับต่างๆ

ตัวอย่าง	Specific volume(mL/g)	Hardness (N)	Springiness Index	Adhesiveness(Nm)	Chewiness (Nm)	Cohesiveness
Control	^a 3.7 ± 0.3	^a 4.20 ± 0.5	^a 0.89 ± 0.0	^a 0.000 ± 0.000	^a 0.016 ± 0.003	^a 0.449 ± 0.006
B-WSG 10	^{ab} 3.4 ± 0.2	^b 3.02 ± 0.3	^a 0.88 ± 0.1	^b 0.003 ± 0.003	^b 0.011 ± 0.001	^a 0.418 ± 0.064
B-WSG 20	^b 2.7 ± 0.3	^b 2.81 ± 0.4	^a 0.91 ± 0.1	^b 0.001 ± 0.001	^b 0.011 ± 0.002	^a 0.435 ± 0.024
B-WSG 30	^b 2.6 ± 0.0 ^b	^b 3.03 ± 0.1 ^b	^a 0.89 ± 0.0 ^a	^b 0.022 ± 0.016 ^b	^b 0.012 ± 0.000 ^b	^a 4.295 ± 0.006 ^a

หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวัดค่า 6 ซ้ำ

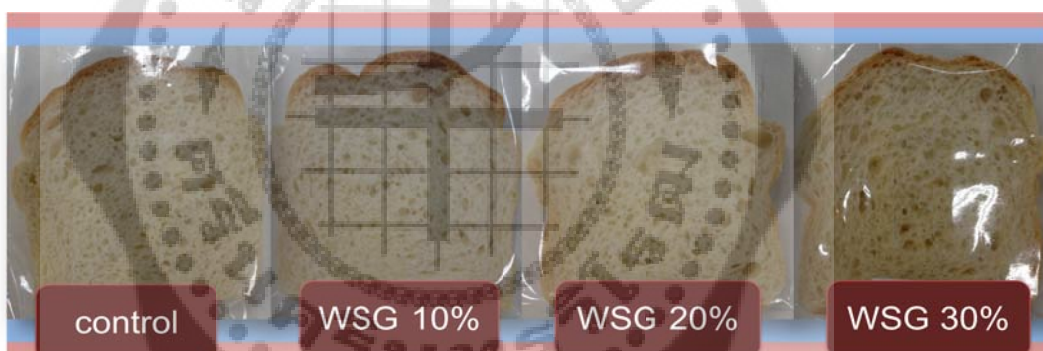
^{a-c} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05)

Control คือ ขนมปังจากแป้งสาลี 100%

B-WSG 10, 20 และ 30 คือ ขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 10, 20 และ 30

สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้สเกลพอดี (Just about right : JAR) พบว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่ให้คะแนนความพอดีสำหรับลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 10 (64.52%), 20 (51.61%) และ 30 (41.64%) ตามลำดับ ส่วนขนมปังควบคุมผู้ทดสอบมีความรู้สึกว่ายาวอย่างแข็งเกินไป (58.06%) นอกจากนี้ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ให้คะแนนความพอดีสำหรับลักษณะกลิ่นรสแป้งของขนมปังจาก WSG ร้อยละ 10 (51.61%), 20 (61.29%) และ 30 (51.61%) ตามลำดับ (ตารางที่ 10) แสดงให้เห็นว่าผู้ทดสอบมีความรู้สึกพอดีต่อขนมปังจากแป้ง WSG ที่ระดับต่างๆ ในคุณลักษณะทางด้านของเนื้อสัมผัสและกลิ่นรสแป้ง

จากการวิเคราะห์คุณภาพของโดและขนมปังจากแป้งผสม พบว่า เมื่อเพิ่มระดับ WSG จะส่งผลต่อคุณภาพของโด ทำให้โดมีความอ่อนตัวลง ไม่คงทนต่อการผสม และส่งผลให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลง แต่อย่างไรก็ตาม การใช้แป้งข้าวเหนียวทดแทนแป้งสาลีจะช่วยปรับปรุงคุณภาพขนมปังในด้านเนื้อสัมผัส คือ ช่วยให้ขนมปังมีความนุ่มมากขึ้น ดังนั้น จึงเลือกขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 20 ที่มีศักยภาพในการผลิตและผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับ ชอบเล็กน้อย ซึ่งมากกว่า Control ($P < 0.05$) มาทำการเสริมโคโคซานเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ ในการยืดอายุการเก็บรักษาต่อไป



ภาพที่ 6 ภาพตัดขวางขนมปังจากแป้งสาลี และ WSG ร้อยละต่างๆ

ตารางที่ 10 การทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมปังจากแป้งสาลี และแป้งผสมที่ทดแทนด้วย แป้งข้าวเหนียวที่ระดับต่างๆ (n = 30)

ตัวอย่าง	ลักษณะปรากฏโดยรวม (สี และโพรงอากาศ)	กลิ่นรสแป้ง	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
Control	6.16 ± 1.06 ^a	5.56 ± 1.67 ^a	4.94 ± 1.47 ^b	5.19 ± 1.51 ^b
B-WSG 10	6.47 ± 0.96 ^a	6.00 ± 1.20 ^a	6.50 ± 1.14 ^a	6.28 ± 1.26 ^a
B-WSG 20	6.31 ± 1.26 ^a	5.94 ± 1.38 ^a	5.84 ± 1.49 ^a	6.00 ± 1.27 ^a
B-WSG 30	5.56 ± 1.26 ^b	5.78 ± 1.40 ^a	5.81 ± 1.29 ^a	6.16 ± 1.28 ^a

หมายเหตุ : การประเมินใช้ 9-point Hedonic scale กำหนดให้ 9 = ชอบมากที่สุด , 1 = ไม่ชอบมากที่สุด โดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน (n = 30) ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

^{a-b} หมายถึง ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05)

3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โคโตซานในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในข้อ 2 ดังนั้นจึงเลือกนี้จึงเลือกขนมปังจากแป้ง WSG 20 เนื่องจากมีคุณภาพที่เป็นที่ยอมรับ รวมทั้งการผสม และขึ้นรูปทำได้ดี มาเสริมโคโตซานที่ระดับร้อยละ 0.7 (B-WSG 20/CS 0.7) และ 1.4 (B-WSG 20/CS 1.4) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยใช้โคโตซาน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการยืดอายุการเก็บรักษา โดยทำการเก็บขนมปังในถุงพลาสติกชนิด PolyPropylene (PP) เป็นเวลา 0, 3 และ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 °C) เพื่อศึกษาคุณภาพ พบว่า

3.1 คุณภาพทางด้านค่าสี

จากการศึกษาพบว่า คุณภาพทางด้านค่าสี (L^* , a^* , b^*) ของเนื้อขนมปัง วันที่ 0 ของการเก็บรักษา ขนมปังเสริมโคโตซาน 0.7% (89.59) และขนมปังเสริมโคโตซาน 1.4 % ($L^* = 90.14$) ไม่ทำให้ความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับขนมปัง Control ($L^* = 88.97$) ในขณะที่ขนมปังเสริมโคโตซาน 1.4 % มีค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ($b^* = 4.22$) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับขนมปัง Control ($b^* = 7.01$) และขนมปังเสริมโคโตซาน 0.7% ($b^* = 7.01$) (ตารางที่ 11) จากการทดลองสังเกตเห็นได้ว่า แม้ว่าค่า L^* จะไม่แตกต่าง แต่เมื่อสังเกตด้วยสายตาพบว่า ขนมปังที่เสริมโคโตซานจะมีสีที่ค่อนข้างเข้มกว่าขนมปัง Control โดยจะมีสีค่อนข้างน้ำตาล ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากขนมปังที่มีโคโตซานเป็นส่วนประกอบจะส่งผลให้เกิดความเข้มจากปฏิกิริยา Maillard ในระหว่างกระบวนการอบ (Kerch *et al.*, 2010) ทำให้มีสีเข้มกว่าขนมปัง Control ส่วนวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ขนมปังเสริมโคโตซาน 1.4 % มีค่าความสว่าง (L^*) (83.98) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับขนมปัง Control ($L^* = 86.12$) และขนมปังเสริมโคโตซาน 0.7% ($L^* = 88.47$) เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ขนมปังเสริมโคโตซาน 1.4 % จะมีค่าความเป็นสีแดง ($a^* = -1.80$) และค่าความเป็นสี

เหลือง ($b^* = 8.21$) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) (ตารางที่ 12) นั่นคือขนมปังที่มีอายุการเก็บเพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพในด้านค่าสี โดยขนมปังจะมีค่าความสว่างลดลงและจะมีสีค่อนข้างดำมากขึ้นเมื่อเทียบกับวันที่เริ่มผลิต โดยการเกิดปฏิกิริยา Maillard ของขนมปังจะขึ้นอยู่กับระยะเวลา, อุณหภูมิ และปริมาณความชื้น (Kerch *et al.*, 2010) โดยขนมปังที่มีไคโตซานจะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนมปังมีสีเข้ม

3.2 คุณภาพทางเนื้อสัมผัส

ในวันที่ 0 ของอายุการเก็บพบว่า ขนมปังเสริมไคโตซาน 1.4% จะมีค่า Hardness (6.13) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับขนมปัง Control (4.01) และ B-WSG 20/CS 0.7 (4.18) สำหรับค่า Springiness Index B-WSG 20/CS 0.7 และ B-WSG 20/CS 1.4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับขนมปัง Control ส่วนวันที่ 3 ของอายุการเก็บพบว่า ขนมปังเสริมไคโตซาน 0.7% (7.76 N) และ 1.4% (7.92 N) จะมีค่า Hardness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับขนมปัง Control (7.10 N) (ตารางที่ 11) เมื่อพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness พบว่า ขนมปังเสริมไคโตซาน 1.4% จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness น้อยที่สุด (29 %) เมื่อเทียบกับขนมปัง Control (77%) และ B-WSG 20/CS 0.7 (86 %) (ภาพที่ 7 และตารางที่ 13) จากการศึกษาของ Kerch *et al.*, (2010) สันนิษฐานว่า ไคโตซานจะช่วยชะลอการเกิด Redistribution ของน้ำระหว่างองค์ประกอบต่างๆที่มีในขนมปัง และการเกิด Staling ในขนมปังเกี่ยวข้องกับ 2 กระบวนการคือ เกิด Staling ในระหว่าง 2 วันแรกของการเก็บรักษา มีผลมาจากการการจัดเรียงตัวของสายโซ่ Polymer ของ Starch หลังจากนั้นการเกิด Staling จะเกิดจากการสูญเสียน้ำของกลูเตน มีผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ Recrystallisation ของ Amylopectin ส่งผลให้เนื้อขนมปังแห้งและแข็งซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ไคโตซานมีผลต่อการเกิด Staling 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรก ไคโตซานจะไปจับกับไขมันและป้องกันการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน amylose-lipid เพื่อยับยั้งการเกิด Staling และในขั้นที่ 2 ไคโตซานจะไปยึดจับกับน้ำ ทำให้กลูเตนเกิด Dehydration และการเกิด Staling ก็จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเก็บที่แตกต่างกัน ดังนั้นขนมปังที่มีการเสริมไคโตซานในระดับที่เหมาะสมอาจจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมปังโดยช่วยชะลอการเกิด Staling ได้

ตารางที่ 11 ค่าสี (L*, a*, b*) ของขนมปังเสริมโคโตซานที่ระดับ 0.7% และ 1.4% ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	วันที่ 0			วันที่ 3		
	L *	a *	b *	L *	a *	b *
Control	88.97±2.00 ^a	-1.47 ± 0.30 ^{ab}	7.01 ± 0.57 ^a	86.12 ± 2.17 ^a	-2.26 ± 0.31 ^{ab}	4.35 ± 1.08 ^b
B-WSG 20/CS 0.7	89.59 ± 1.83 ^a	-2.28 ± 1.51 ^b	7.34 ± 1.82 ^a	88.47 ± 3.32 ^a	-2.38 ± 0.59 ^b	5.51 ± 0.47 ^b
B-WSG 20/CS 1.4	90.14 ± 1.07 ^a	-0.53± 1.63 ^a	4.22 ± 2.50 ^b	83.98 ± 2.88 ^b	-1.80 ± 0.33 ^a	8.21 ± 1.71 ^a

หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวัดค่า 6 ซ้ำ

^{a-b} หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05)

Control คือ ขนมปังจาก WSG ร้อยละ 20

B-WSG 20/CS 0.7 และ B-WSG 20/CS 1.4 คือ ขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 20 เสริมโคโตซานร้อยละ 0.7 และ 1.4

วันที่ 5 ไม่สามารถวัดค่าได้เนื่องจาก ขนมปังเกิดเชื้อรา

ตารางที่ 12 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังเสริมโคโตซานที่มีการเสริมโคโตซานที่ระดับต่าง ๆ ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	วันที่ 0			วันที่ 3		
	Hardness (N)	Springiness Index	Cohesiveness	Hardness (N)	Springiness Index	Cohesiveness
Control	4.01 ± 0.42 ^b	0.88 ± 0.03 ^a	0.43 ± 0.02 ^b	7.10 ± 0.43 ^b	0.89 ± 0.08 ^b	0.41 ± 0.03 ^a
B-WSG 20/CS0.7	4.18 ± 0.29 ^b	0.87 ± 0.02 ^a	0.38 ± 0.04 ^a	7.76 ± 0.51 ^a	0.85 ± 0.07 ^b	0.32 ± 0.08 ^b
B-WSG 20/ CS1.4	6.13 ± 0.30 ^a	0.88 ± 0.03 ^a	0.40 ± 0.03 ^b	7.92 ± 0.11 ^a	0.87 ± 0.06 ^a	0.36 ± 0.02 ^{ab}

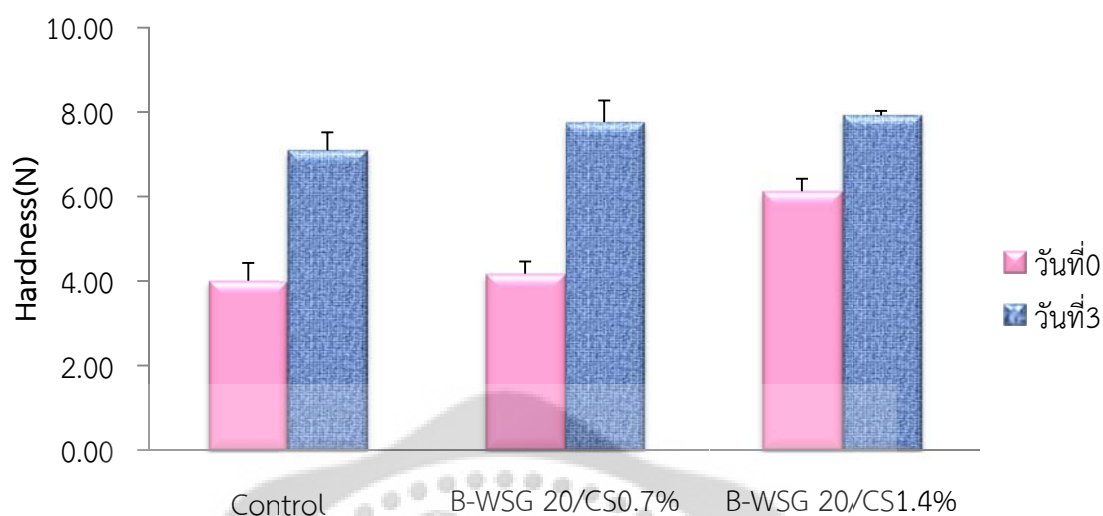
หมายเหตุ: ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการวัดค่า 6 ซ้ำ

^{a-b} หมายถึง ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P < 0.05)

Control คือ ขนมปังจาก WSG ร้อยละ 20

B-WSG 20/CS0.7 และ B-WSG 20/CS1.4 คือ ขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 20 เสริมโคโตซานร้อยละ 0.7 และ 1.4

วันที่ 5 ไม่สามารถทำการวัดค่าได้เนื่องจากขนมปังขึ้นรา



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านความแข็ง ขนมปัง B-WSG 20/CS0.7 และ B-WSG 20/CS1.4 เปรียบเทียบกับ Control ในวันที่ 0 และวันที่ 3 ของอายุการเก็บ

ตารางที่ 13 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness ในขนมปังจากแป้งผสม WSG20 ที่มีการเสริมไคโตซานที่ระดับต่าง ๆ

ตัวอย่าง	อัตราการเพิ่มขึ้นของ Hardness (ร้อยละ)
Control	77
B-WSG 20/CS 0.7	86
B-WSG 20/CS 1.4	29

หมายเหตุ : Control คือ ขนมปังจาก WSG ร้อยละ 20 WSG20)

B-WSG 20/CS0.7และ B-WSG 20/CS1.4 คือ ขนมปังจากแป้ง WSG20 เสริมไคโตซานร้อยละ 0.7 และ 1.4

อัตราการเพิ่มขึ้นของHardness =[ค่าHardness (วันที่ 3) – ค่าHardness (วันที่ 0)]/ค่า Hardness (วันที่ 0) × 100

3.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมปัง Control และ B-WSG 20/CS 0.7 และ 1.4% ในวันที่ 0, 3 และ 5 ของการเก็บรักษา พบว่าวันที่ 0 และ 3 ไม่พบเชื้อราและยีสต์ ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษาพบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) ในขนมปัง Control และ B-WSG 20/CS 0.7 และ 1.4 อยู่ในช่วง $3.3 \times 10^{-2} - 3.5 \times 10^{-2}$ โดยวันที่ 3 ของการเก็บรักษาไม่พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ใน B-WSG 20/CS 1.4 และ B-WSG 20/CS 0.7 มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าขนมปัง Control จากการสังเกตด้วยสายตาในวันที่ 4 ของการเก็บรักษาขนมปัง Control เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณเปลือกขนมปัง คือมีจุดสีดำและสีเขียว นั่นคือขนมปัง Control เริ่มมีการเสื่อมเสียจากจุลินทรีย์ ส่วนในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาขนมปังที่เสริมโคโตซานที่ระดับต่าง ๆ เริ่มมี เชื้อราขึ้นเป็นจุด ๆ และจากการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณเชื้อราและยีสต์ มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อระดับการเสริมโคโตซาน (ตารางที่ 14)

จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า โคโตซานที่เสริมขนมปังอาจจะยังไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์หรือสามารถยืดอายุการเก็บได้นานขึ้น ดังนั้นอาจจะต้องทำการศึกษาถึงปริมาณของการเสริมโคโตซานรวมถึงและวิธีที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งมีการศึกษาวิจัยของ Ahn *et al.*, (2003) พบว่า การใช้โคโตซานเคลือบที่ผิวของขนมปังจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของขนมปังและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้โดยไม่พบการเจริญของเชื้อราในวันที่ 8 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 14 การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ในขนมปังจากแป้งผสม WSG 20 และขนมปังเสริมที่มีการเสริมโคโตซานที่ระดับต่าง ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วัน ในระหว่างการเก็บรักษา

ตัวอย่าง	วันที่ 3		วันที่ 5	
	TPA CFU/g)	Y&M(CFU/g)	TPA (CFU/g)	Y&M (CFU/g)
B-WSG 20 (Control)	N/A	-	2.7×10^5	3.3×10^4
B-WSG 20/CS0.7	N/A	-	2.5×10^5	5.0×10^3
B-WSG 20/CS1.4	N/A	-	1.2×10^5	3.0×10^3

หมายเหตุ: B-WSG 20 คือ ขนมปังจาก WSG ร้อยละ 20 B-WSG 20/CS0.7 และ B-WSG 20/CS1.4 คือ ขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 20 เสริมโคโตซานร้อยละ 0.7 และ 1.4

(-) คือ ตรวจไม่พบเชื้อยีสต์และรา N/A คือ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์

TPA คือ จุลินทรีย์ทั้งหมดในอาหาร Y&M คือ ยีสต์และราในอาหาร

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้คือ

1. การเสริมขนมปังด้วยแป้งข้าวเหนียวที่ระดับร้อยละ 10 20 และ 30 พบว่า การเพิ่มระดับ WSG ส่งผลต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพของแป้งผสม โด และขนมปัง โดยแป้งผสมมีสีขาวมากขึ้น โครงร่างของโดจะมีความอ่อนตัวลง ไม่คงทนต่อการผสม ขนมปังจะมีปริมาตรจำเพาะลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม อย่างไรก็ตามขนมปังจากแป้งผสมมีความนุ่มกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยขนมปังจาก WSG ร้อยละ 20 มีศักยภาพในการผลิตและผู้บริโภคให้คะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

2. เมื่อทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ไคโตซานในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา พบว่า เมื่อเติมไคโตซานลงในขนมปังจากแป้งผสม ทำให้ขนมปังมีสีเข้มขึ้น และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็ง (Hardness) น้อยกว่าขนมปังจากแป้งผสมที่ไม่มีการเสริมไคโตซาน (Control) เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 3 วัน แต่ยังไม่พบความสามารถในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ของไคโตซานในระหว่างการเก็บรักษาขนมปังเป็นเวลา 5 วัน ดังนั้นจึงอาจต้องมีการศึกษาปริมาณไคโตซาน และวิธีการที่เหมาะสมในการเสริมไคโตซาน เช่น การเคลือบ (Coating) ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2553). **การใช้ประโยชน์ของโคโคซานในการยืดอายุของอาหารและเครื่องดื่ม**. กรุงเทพฯ:
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2546). **เทคโนโลยีของแป้ง**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กองโภชนาการ กระทรวงสาธารณสุข. (2530). **ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย**. กรุงเทพฯ
- จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. (2541). **เบเกอร์เทคโนโลยีเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิธิยา รัตนานนท์. (2551). **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- พรวิมล ปันหย้า. (2544). **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภัทรภณ ภูเพ็ชร, สุนทรี สุวรรณสิขณน์ และ บุศราภา ลิมานนท์. 2552. **สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวสาลีและคุณภาพของโดขนมปังที่ใช้แป้งข้าวสาลีทดแทนแป้งข้าวสาลีบางส่วน**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- สวรัช จันทระเทพธิมากุล. (2551). **คุณสมบัติทางรีโอโลยีของโดและผลิตภัณฑ์อาหารเข้าสำเร็จรูป**. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมอาหาร). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2532). **ข้าวสาลี: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- AACC. (2000). **Approved methods of American Association of Cereal Chemists**. 10th ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St Paul.
- Ahn, D.H., Choi, J.S., Lee, H.Y., Kim, J.Y., Youn, S.K. and Park, S.M. (2003). Effects on preservation and quality of bread with coating high molecular weight chitosan. **Korean J. Food Nutri**, 16(4), 430–6.
- AOAC. (2000). **The Official methods of analysis of AOAC International**. 17th ed. USA. AOAC International, Maryland.
- Charoenthaikij, P., Jangchud, K. Jangchud, A. Prinyawiwatkul, W. & Tungtrakul, P. (2009). Germination conditions affect selected quality of composite wheat-germinated brown rice flour and bread formulations. **J. Food Sci.** 75: 312-318.

- Charoenthaikij, P., Jangchud, K., Jangchud A., Prinyawiwatkul, W. & Tungtrakul, P. (2010). Germination Conditions Affect Selected Quality of Composite Wheat-Germinated Brown Rice Flour and Bread Formulations. **J. Food Sci.** 75 (6): S312-S318.
- Dobraszczyk, B.J. (2001). Wheat and flour, pp. 100-139. In D.D.V. Dendy and B.J. Dobraszczyk, eds. **Cereals and Cereal Products: Chemistry and Technology**. Aspen Publishers, Inc., Maryland.
- Gimenez A, Varela P, Salvador A, Ares G, Fiszman S, Garitta L. (2007). Shelf life estimation of brown pan bread: A consumer approach. **Food Quality and Pref.** 18:196–204.
- Hallen, E., Ibanoglu, S. and Ainsworth, P. (2004). Effect of fermented/germinated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. **J. Food Eng.** 63, 177-84.
- Hoover, R., Ratnayake, W.S. 2005. Determination of total amylose content of starch. pp. 689–691. In R.E. Wrolstad, T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D. Smith and P. Sporns (eds.). **Handbook of food analytical chemistry – Water, protein, enzymes, lipids, and carbohydrates**, Wiley-Interscience, Hoboken.
- Hu, G., Huang, S., Chen, H. & Wang, F. (2009). Effect of enrichment with hemicelluloses from rice bran on chemical and functional properties of bread. **Food Chem.** 115: 839-842.
- Hung, P.V., T. Maeda & N. Morita. (2007). Dough and bread qualities of flours with whole waxy wheat flour substitution. **Food Research Int.** 40: 273-279.
- Ji, Y., Zhu, K., Qian, H. & Zhou H. (2007). Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour. **Food Chem.** 104:53-58.
- Juliano, B.O. (1985). **Rice Chemistry and Technology** (2nd edition). The American Association of Cereal Chemists, Inc., St Paul, Minnesota, 774 p.
- Kerch, G., Zicans J., & Meri, R.M. (2010). The effect of chitosan oligosaccharides on bread staling. **J. Cereal Sci.** 52, 491-495.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Bele, N. & Biliaderis, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. **J. Food Eng.** 79, 1033-1047.

- Lee, H. Y., Kim, S. M., Kim, J. Y. Youn, S. K., Choi, J. S., Park, S. M. & Ahn, D.H. (2002). Effect of addition of chitosan on improvement for shelf-life of bread. **J Korean Soc Food Sci Nutr.** 31(3): 445–50.
- Leuschner, R.G.K., O’Callaghan, M.J.A. & Arendt E.K. (1999). Moisture distribution and microbial quality of part baked breads as related to storage and rebaking conditions. **J. Food Sci.** 64(3): 543–6.
- Lodi, A. & Vodovotz, Y. (2008). Physical properties and water state changes during storage in soy bread with and without almond. **Food Chem.** 110:554–61.
- Mua, J. P. & Jackson, D. S. (1998). Retrogradation and gel texture attributes of corn starch amylose and amylopectin fractions. **J. Cereal Sci.** 27:157-166.
- No, H. K., Meyers, S. P., Prinyawiwutkul, W. & Xu, Z. (2007). Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods. **J. Food Sci.** 72(5): 88-100
- Noomhorm, A., Bandola, D. C. & Kongseree, N. (1994). Effect of variety, rice flour concentration and enzyme levels on composite bread quality. **J. Sci. Food Agric.** 64: 433-440.
- Park, I.K., Lee, Y.K., Kim, M.J. & Kim, S.D. (2002). Effect of surface treatment with chitosan on shelf-life of baguette. **J. Chitin Chitosan.** 7(4),208–13.
- Purna, S.K.G., Miller, R.A., Seib, P. A., Graybosh, R.A. & Shi, Y. (2011). Volume, texture, and molecular mechanism behind the collapse of bread made with different levels of hard waxy wheat flours. **J. Cereal Sci.** 54: 37-43.
- Rasper, V.F. (1991). Quality evaluation of cereals and cereal products, pp. 595-638. In K.J. Lorenz and K. Kulp, eds. **Handbook of Cereal Science and Technology.** Marcel Dekker, Inc., New York.
- Sinha, V. R., Singla A. K., Wadhawan, S., Kaushik, R. Kumria R. & Bansal, K. (2004). Chitosan microspheres as a potential carrier for drugs. **Int J. of Pharm.** 274: 1-33.
- Southgate, D.A.T. (1991). **Determination of food carbohydrates.** 2nd edition. Baking, UK, Elsevier Applied Science.
- Yeh, A-I. 2004. Preparation and applications of rice flour. In E.T. Champagne, ed. **Rice: Chemistry and Technology.** 3rd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. Minnesota.



แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปัง

ชื่อผู้ทดสอบ

คำชี้แจง

รหัสตัวอย่าง.....

- ท่านจะได้รับตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง กรุณาใส่รหัสตัวอย่างที่ระบุบนถ้วย ลงบน ในช่องรหัสตัวอย่าง
- กรุณาตักน้ำเปล่า ก่อนการทดสอบ และระหว่างตัวอย่าง
- กรุณาอ่านคำชี้แจงก่อนจะเริ่มตอบคำถามในแต่ละข้อ
- โปรดทำเครื่องหมายกากบาท (x) ลงในช่อง ☐ สำหรับคำถามในแต่ละข้อ เพื่อให้คะแนนความชอบตามความรู้สึกของท่านต่อตัวอย่างขนมปัง

1. เมื่อ รับประทาน ตัวอย่าง และพิจารณา โดยรวมท่านมีความชอบ ตัวอย่างนี้มากน้อยเพียงใด

ชอบมากที่สุด	ชอบมาก	ชอบปานกลาง	ชอบเล็กน้อย	เฉย ๆ	ไม่ชอบเล็กน้อย	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบมากที่สุด
--------------	--------	------------	-------------	-------	----------------	---------------	-----------	-----------------

2. เมื่อ รับประทาน ตัวอย่าง แล้วท่านมีความชอบ เนื้อสัมผัส ของขนมปังมากน้อยเพียงใด

ชอบมากที่สุด	ชอบมาก	ชอบปานกลาง	ชอบเล็กน้อย	เฉย ๆ	ไม่ชอบเล็กน้อย	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบมากที่สุด
--------------	--------	------------	-------------	-------	----------------	---------------	-----------	-----------------

3. ท่าน มีความรู้สึก อย่างไรต่อ เนื้อสัมผัส ของขนมปัง

นิ่มมากเกินไป	นิ่มไปเล็กน้อย	พอดี	แข็งไปเล็กน้อย	แข็งมากเกินไป
---------------	----------------	------	----------------	---------------

4. เมื่อ ดู ตัวอย่าง แล้วท่านมีความชอบ ลักษณะปรากฏโดยรวม (สี และโพรงอากาศ) ของเนื้อขนมปัง มากน้อยเพียงใด

ชอบมากที่สุด	ชอบมาก	ชอบปานกลาง	ชอบเล็กน้อย	เฉย ๆ	ไม่ชอบเล็กน้อย	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบมากที่สุด
--------------	--------	------------	-------------	-------	----------------	---------------	-----------	-----------------

5. เมื่อ รับประทาน ตัวอย่าง แล้วท่านมีความชอบ กลิ่นรสแป้ง ของขนมปังมากน้อยเพียงใด

ชอบมากที่สุด	ชอบมาก	ชอบปานกลาง	ชอบเล็กน้อย	เฉย ๆ	ไม่ชอบเล็กน้อย	ไม่ชอบปานกลาง	ไม่ชอบมาก	ไม่ชอบมากที่สุด
--------------	--------	------------	-------------	-------	----------------	---------------	-----------	-----------------

6. ท่าน มีความชอบ กลิ่นรสแป้งของขนมปังมากน้อยเพียงใด

กลิ่นรสแป้งน้อยเกินไป	กลิ่นรสแป้งน้อยไปเล็กน้อย	พอดี	กลิ่นรสแป้งมากเกินไปเล็กน้อย	กลิ่นรสแป้งมากเกินไป
-----------------------	---------------------------	------	------------------------------	----------------------

ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นางสาว พรรณทิพา เจริญไทยกิจ
(ภาษาอังกฤษ) Ms. Phantipha CHAROENTHAIKIJ

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110
โทรศัพท์ 02-649-5000 ต่อ 8304 โทรสาร 02-260-2144
E-mail: phantipha@swu.ac.th

ตำแหน่ง

อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร

ประวัติการศึกษา

ระดับ	วุฒิการศึกษา	ปีจบ	สถาบัน
ปริญญาเอก	ปร.ด. พัฒนาลิขิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร (4.00)	2553	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปริญญาโท	วท.ม. พัฒนาลิขิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร (3.92)	2546	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปริญญาตรี	วท.บ. จุลชีววิทยา (3.34)	2541	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วิทยานิพนธ์

ระดับ	หัวข้อ/อาจารย์ที่ปรึกษา
ปริญญาเอก	Development of bread from composite wheat-germinated brown rice flour/ รศ.ดร. กมลวรรณ แจ่มชัด
ปริญญาโท	การใช้ประโยชน์สารสกัดจากหัวกุ้งกุลาดำ (Penaeus monodon) เพื่อใช้เป็นวัตถุกันหืน ธรรมชาติในผลิตภัณฑ์น้ำมันถั่วเหลือง และมายองเนส / รศ.ดร. ธงชัย สุวรรณสิขณน์
ปริญญาตรี	การประเมินคุณภาพและความปลอดภัยของส้มตำเผงลอย/ รศ.ดร. ประเวศ ดุษฎีเมศวร์

ทุนวิจัยที่ได้รับ

ระดับ	ทุน/ปี พ.ศ.
ปริญญาเอก	โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.) (พ.ศ. 2549 – พ.ศ. 2551) และ 2009 Fulbright-Thailand Research Fund Junior Research Scholarship Program (พ.ศ. 2552)
ปริญญาโท	โครงการสมองไหลกลับ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พ.ศ. 2545 - 2546)

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ

Product development, Consumer evaluation, Multivariate analysis

ประสบการณ์การทำงาน

เดือน/ปี	บริษัท/ตำแหน่ง
มิถุนายน – สิงหาคม 2546	Frito-Lay (Thailand) Co., Ltd./Technical support assistant
กุมภาพันธ์ 2547 – ตุลาคม 2548	Thai Quest Fragrances, Flavours, Food Ingredients Ltd./Research & Development and application technologist
กรกฎาคม 2553 – มกราคม 2554	Pepsi-Cola (Thai) Trading Co., Ltd./Sensory scientist

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

- 1) โครงการการพัฒนาขนมปังจากแป้งผสมระหว่างแป้งสาลี และแป้งข้าวเหนียว ทุนอุดหนุนการวิจัยเงินบรายได้คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร มศว ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 (หัวหน้าโครงการวิจัย)
- 2) โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวถุงเพื่อสุขภาพ ทุนอุดหนุนการวิจัยเงินบรายได้คณะนวัตกรรมสื่อสารสังคม มศว ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 (ผู้ร่วมวิจัย)
- 3) โครงการการเพิ่มมูลค่าข้าวจังหวัดสระแก้ว ทุนอุดหนุนการวิจัยเงินงบประมาณเงินแผ่นดิน มศว ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 (ผู้ร่วมวิจัย)

ผลงานตีพิมพ์

- 1 พรรณทิพา เจริญไทยกิจ สุเมธ วิสุทธิวรรณ และอรวรรณ ธรรมานุธรรม. 2555. สมบัติทางด้านเคมีกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของหุ้สุกจากข้าว 3 ชนิด (ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวกล้องหอมมะลิ 105 และข้าวขาวกข 31). ในเรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 6 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วันที่ 29 – 30 พฤษภาคม 2555. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากรายได้ปีงบประมาณ 2554 คณะนวัตกรรมสื่อสารสังคม มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- 2 Phantipha Charoenthaikij, Kamolwan Jangchud, Anuvat Jangchud, Kuakoon

- Piyachomkwan, Patcharee Tungtrakul, and Witoon Prinyawiwatkul. 2009. Germination Conditions Affect Physicochemical Properties of Germinated Brown Rice Flour. **Journal of Food Science**. 74 (9) C658-C665. Under Golden Jubilee Ph.D. Program Scholarship (ทุน โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก)
- 3 **Phantipha Charoenthaikij**, Kamolwan Jangchud, Anuvat Jangchud, Witoon Prinyawiwatkul, Hong Kyoon No, and Joan M. King. 2010. Physicochemical Properties and Consumer Acceptance of Wheat-Germinated Brown Rice Bread during Storage time. **Journal of Food Science**. 75 (6): S333-S339. Under Golden Jubilee Ph.D. Program Scholarship (ทุน โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก)
 - 4 **Phantipha Charoenthaikij**, Kamolwan Jangchud, Anuvat Jangchud, Witoon Prinyawiwatkul and Patcharee Tungtrakul. 2010. Germination Conditions Affect Selected Quality of Composite Wheat-Germinated Brown Rice Flour and Bread Formulations. **Journal of Food Science**. 75 (6): S312-S318. Under Golden Jubilee Ph.D. Program Scholarship (ทุน โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก)
 - 5 **Phantipha Charoenthaikij**, Kamolwan Jangchud, Anuvat Jangchud, Witoon Prinyawiwatkul and Hong Kyoon No. 2012. Composite Wheat-Germinated Brown Rice Flours: Selected Physicochemical Properties and Bread Application. **International Journal of Food Science and Technology**. 47 (1): 75-82. Under Golden Jubilee Ph.D. Program Scholarship (ทุน โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก)

การนำเสนอผลงาน

3. **Phantipha Charoenthaikij**, Kamolwan Jangchud, Anuvat Jangchud and Patcharee Tungtrakul. 2007. Effects of Germination Conditions on Physicochemical Properties of Germinated Brown Rice Flour. In the proceeding of Starch Update 2007: The 4th International Conference on Starch Technology. November 6 – 7, 2007. Queen Sirikit National Convention Centre, Bangkok, Thailand (Poster presentation). Under Golden Jubilee Ph.D. Program Scholarship (ทุน โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก)
4. **Phantipha Charoenthaikij**, Kamolwan Jangchud, Anuvat Jangchud and Witoon Prinyawiwatkul. 2009. Germination conditons affect quality of wheat bread formulations partially substituted with germinated brown rice flour. IFT Annual meeting & Food Expo®. June 6 - 9, 2009. Anaheim, California, USA. (Poster presentation). Under Golden Jubilee Ph.D. Program Scholarship (ทุน โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก)
5. **Phantipha Charoenthaikij**, Kamolwan Jangchud, Anuvat Jangchud and Witoon Prinyawiwatkul. 2010. Optimizing germination conditions of brown rice for use in wheat-germinated brown rice bread making. IFT Annual meeting & Food Expo®.

July 17-20, 2010. Chicago, Illinois, USA. (Finalist poster competition). Under Golden Jubilee Ph.D. Program Scholarship (ทุน โครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก)

6. **Phantipha Charoenthaikij**, Piyanuch Laungprasarn, Anirut Sungkhamongkolkit, Tanat Uan-On. 2012. Quality of bread formulation partially substituted with glutinous rice flour. In the proceeding of the 14th Food Innovation Asia Conference 2012 June 14 - 15, 2012. Bangkok International Trade and Exhibition Centre (BITEC), Bangkok, Thailand (Oral presentation). Under the financial support from Agricultural Product Innovation and Technology, Srinakharinwirot University (ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากรายได้ปีงบประมาณ 2555 คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร)

ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายณัฏ อ้วนอ่อน
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Tanat Uan-On

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
โทรศัพท์ 0-2562-5074 E-mail: fagitnu@ku.ac.th

ตำแหน่ง อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร

ประวัติการศึกษา

ระดับ	วุฒิการศึกษา	ปีที่จบ	สถาบัน
ปริญญาเอก	Doctor of Engineer	2552	Technical University Berlin, Berlin, German
ปริญญาโท	วท.ม. พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เกษตร	2546	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปริญญาตรี	วท.บ. ผลิตภัณฑ์ประมง	2542	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ระดับ	หัวข้อ/อาจารย์ที่ปรึกษา
ปริญญาเอก	Material science examination of pineapple fruit puree and raw material/ Prof. Dr. Sc. Techn. Bernhard Senge
ปริญญาโท	การปรับปรุงคุณภาพ และกระบวนการผลิตกล้วยตาก/รศ.ดร. สมบัติ ขอทวีวัฒนา
ปริญญาตรี	การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อแบคทีเรียแลคติกในปลาหมึกหมัก (ปลาหมึกกล้วย และ ปลาหมึกจ๋อม)/รศ.ดร. มัทนา แสงจินดาวงศ์

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ

- Rheological properties of semi-solid food, Application of hydrocolloid in plant and plant material, Application of plant in food product eg. pectin or protein
- Fishery product development

ประสบการณ์การทำงาน

เดือน/ปี	กิจกรรม/งาน
2551-2552	Head of rheological properties of milk product project at Rheology Institute of TU Berlin, Germany
2552	Head of rheological properties of fruit product project at Rheology Institute of TU Berlin, Germany

ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

- โครงการ “การพัฒนาชีวนาโนพาทิเคิลในการเคลือบผักผลไม้เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา” ทุนอุดหนุนการวิจัยเงินงบประมาณแผ่นดิน ม.เกษตรศาสตร์ ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 (หัวหน้าโครงการวิจัย)

การนำเสนอผลงาน

1. Uan-On, T. and B. Senge. 2009. Effect of mixed polysaccharide gums on rheological behavior of pineapple puree (poster presentation). In Proceeding on The International Symposium on Food Rheology and Structure - ISFRS 2009, 15 – 18 June 2009, Zurich, Switzerland. ทุนสำนักงานการอุดมศึกษา
2. Uan-On, T. and B. Senge. 2009. Rheological behavior of pineapple puree mixed with different types of stabilizers (poster presentation). In Proceeding on The International Symposium on Food Rheology and Structure - ISFRS 2009, 15 – 18 June 2009, Zurich, Switzerland. ทุนสำนักงานการอุดมศึกษา
3. Uan-On, T. and Senge, B. 2009. I Effect of pectin for stabilize structure of pineapple puree. In Proceeding on DRG Rheologentagung 2009, 19 – 20 March 2009, Berlin, Germany. ทุนสำนักงานการอุดมศึกษา
4. Uan-On, T. and Senge, B. 2008. Rheological behavior of pineapple puree mixed with different types of sterilizer (poster presentation). In Proceeding on Nordic Rheology Conference 2008, 27 – 29 August 2008, Copenhagen, Denmark. ทุนสำนักงานการอุดมศึกษา



บทสรุปผู้บริหาร

ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) การพัฒนาขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวเหนียว

(ภาษาอังกฤษ) Development of bread partially substituted wheat flour with glutinous rice flour

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเหนียวต่อคุณภาพของขนมปัง
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเติมโคโคโตนในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา

ที่มาของการวิจัย

ขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยม และบริโภคกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก รวมทั้งในประเทศไทย ซึ่งมีการบริโภคกันมากขึ้นอันเนื่องมาจากความต้องการความสะดวก ขนมปังมีวัตถุดิบหลักในการผลิต คือ แป้งสาลี เนื่องจากมีกลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนที่ทำให้เกิดโครงสร้างยืดหยุ่นที่ดี อย่างไรก็ตามคุณค่าทางโภชนาการของขนมปัง โดยเฉพาะจากแป้งขัดสียังมีไม่ครบถ้วนนัก ทำให้มีหลายการศึกษาวิจัยนำแป้งชนิดต่างๆ มาใช้เพื่อทดแทนแป้งสาลี และเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของขนมปัง ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวบาร์เลย์ แป้งข้าวโอ๊ต แป้งข้าวกล้องงอก (Charoenthaikij, 2010) เป็นต้น แต่ในระหว่างการเก็บรักษาจะเห็นว่าขนมปังโดยทั่วไปมีปัญหาหลักที่สำคัญอยู่ 2 ประการ คือ ปัญหาทางด้านกายภาพ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสทางด้าน

ความแข็งของเนื้อขนมปัง (Gimenez and others 2007; Lodi and Vodovotz, 2008) และปัญหาทางด้านจุลินทรีย์ที่เห็นได้ชัด คือ การเกิดเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษา (Leuschner *et al.*, 1999; No *et al.*, 2007) ปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผู้ประกอบการที่ขายผลิตภัณฑ์ไม่ได้ ทำให้สูญเสียกำไร

ทั้งนี้จึงมีงานวิจัยอย่างกว้างขวางในการปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของขนมปัง เช่น การเติมสารเสริมคุณภาพต่าง ๆ เช่น หรือการใช้แป้งบางชนิด รวมทั้งแป้งข้าวเหนียว (Charoenthaikij, 2010) ซึ่งมีคุณสมบัติในการลดการคืบตัวของแป้ง หรือลดการระเหยของน้ำออกจากเนื้อขนมปัง เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวเป็นแป้งที่มีปริมาณแอมิโลเพกตินสูงทำให้มีการคืบตัว (Retrogradation) ช้ากว่าแป้งชนิดอื่นที่มีแอมิโลสสูง ทำให้เนื้อสัมผัสของขนมปังนุ่มขึ้น และชะลอการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของอาหารในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ในการผลิตขนมปังในปัจจุบันยังมีการเติมวัตถุเจือปนอาหารสังเคราะห์ในการป้องกันเชื้อจุลินทรีย์เพื่อยืดอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ขนมปัง การศึกษานี้จึงมีแนวคิดที่จะใช้วัตถุเจือปนธรรมชาติที่มีความปลอดภัยมาใช้ ซึ่ง ไคโตซาน เป็นวัตถุเจือปนอาหารจากธรรมชาติที่สกัดได้จากเปลือกปู กุ้ง และหอยต่าง ๆ ที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีในหลายผลิตภัณฑ์ รวมทั้งในผลิตภัณฑ์ขนมปัง ซึ่งมีการนำไคโตซานมาช่วยยืดอายุการเก็บรักษา (Ahn *et al.*, 2003; Kerch *et al.*, 2010) โดยมีรายงานพบว่าไคโตซานที่ระดับร้อยละ 1-2 สามารถลดการสูญเสียน้ำหนัก ลดการเพิ่มความแข็ง และการเกิดการคืบตัวของขนมปัง (Park *et al.*, 2002; Ahn *et al.*, 2003) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของขนมปังทั้งทางด้านกายภาพ และทางจุลินทรีย์ โดยศึกษาอิทธิพลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวเหนียวต่อคุณภาพทางด้านต่าง ๆ ได้แก่

คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี รวมถึงการศึกษาการยอมรับของ ผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ขนมปังที่พัฒนาได้ และการศึกษาความเป็นไปได้ ในการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ขนมปังโดยใช้ไคโตซาน

คุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ทางประสาทสัมผัส และทางด้านจุลินทรีย์ นอกจากนี้งานวิจัยมุ่งหวังในการใช้ประโยชน์แป้งข้าวเหนียว เพื่อเพิ่ม มูลค่าผลิตภัณฑ์เกษตรอย่างข้าว ซึ่งเป็นการลดการนำเข้าแป้งสาลี อีกทั้ง หากการใช้ไคโตซานให้ผลดี จะเป็นการใช้สารสกัดจากธรรมชาติที่มี ฤทธิ์ในการยับยั้งจุลินทรีย์แทนการใช้สารสังเคราะห์ที่ต้องนำเข้าจาก ต่างประเทศอีกทางหนึ่งด้วย

การดำเนินงานและผลงานที่ได้รับจากการวิจัย (โดยสังเขป) พร้อม ภาพประกอบ

1. การดำเนินงานวิจัย

1.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบแป้ง ได้แก่ แป้งสาลีตราหงส์ขาว (บริษัท UFM จำกัด) และแป้งข้าวเหนียว (ชนิดโม่น้ำดีพิเศษ) ตราช้างสามเศียร (บริษัท โรง เส้นหมี่ช่อเฮง จำกัด) เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนทำการวิเคราะห์ ไคโต ซานบรรจุในภาชนะปิดสนิทเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง วัตถุดิบในการผลิต ขนมปังอื่นๆ ได้แก่ ยีสต์ผง เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4-5 °C เนยขาว เกลือ และ น้ำตาลทรายเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (28±2 °C)

1.2 วิธีการทดลอง

1.2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของวัตถุดิบแป้ง

ทำการวิเคราะห์คุณภาพของวัตถุดิบทางเคมีกายภาพ ได้แก่

1.2.1.1 คุณภาพทางเคมี

- ปริมาณความชื้น ด้วยวิธีการอบ ตามวิธีของ AOAC (2000)

- ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณไขมันด้วยวิธี Soxhlet extraction ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณแอมิโลสตามวิธีของ Hoover and Ratnayake (2005)

1.2.1.2 คุณภาพทางกายภาพ

- ค่าสี L^* , a^* , b^* ระบบ CIE Lab ด้วยเครื่องวัดสีและคำนวณดัชนีความขาวจากสูตร

$$WI = 100 - ([100 - L]^2 + a^2 + b^2)^{1/2}$$

.....(1)

- พฤติกรรมความหนืดด้วยเครื่อง วิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว Rapid Visco Analyzer (RVA) บันทึกค่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature, °C) ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU) ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU) ความหนืดต่ำสุด (Trough, RVU) ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown, RVU) การคืนตัวของแป้ง (Setback from peak, RVU) และความคงตัวของแป้ง (Setback from trough)

1.2.2 การพัฒนาสูตรขนมปังจากแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งข้าวเหนียว

1.2.2.1 การเตรียมวัตถุดิบแป้งผสม

ทำการผสมแป้งข้าวเหนียวลงในแป้งสาลี

(Wheat substituted with glutinous rice flour, WSG) ร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/w) แล้ววิเคราะห์คุณภาพดังนี้

- ปริมาณความชื้น ด้วยวิธีการอบ ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl ตามวิธีของ AOAC (2000)
- ค่าสี L^* , a^* , b^* ระบบ CIE Lab ด้วยเครื่องวัดสี (BYK-Gardner, Color-guide gloss GmbH, Germany) และคำนวณดัชนีความขาวจากสูตร (1)

1.2.2.2 การพัฒนาสูตรขนมปัง

ผลิตขนมปังตามสูตรมาตรฐานดัดแปลงจาก AACC (2000) Method 10-10B (ตารางที่ 2) โดยใช้แป้งผสมตามอัตราส่วนในข้อ 12.2.2.1 โดยมีกระบวนการผลิตดังนี้ ละลายน้ำตาลและเกลือกับน้ำให้เข้ากันดี หลังจากนั้นร่อนส่วนแป้งและยีสต์เข้าด้วยกัน นำน้ำตาลละลายและเกลือใส่ลงในเครื่องทำขนมปัง ค่อยๆ ใส่ส่วนผสมที่ผ่านการร่อนตามลงไป นวดแป้งด้วยเครื่องทำขนมปังอัตโนมัติ ใช้เวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำโดที่ได้มานวดด้วยมือ แล้วพักไว้ 15 นาที นำมานวดต่อโดยใช้ไม้นวดและม้วนด้วยมือ ใส่ลงพิมพ์ บ่มที่อุณหภูมิ 37 °C ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80% เป็นเวลา 60 นาที นำไปอบที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 30 นาที

ตารางที่ 2 ส่วนผสมของขนมปังที่ทำการพัฒนา

ส่วนผสม	Control	สูตรที่ 1 (WSG 10)	สูตรที่ 2 (WSG 20)	สูตรที่ 3 (WSG 30)
แป้งสาลี	100	90	80	70

แป้งข้าว เหนียว	0	10	20	30
ยีสต์แห้งผง	1.5	1.5	1.5	1.5
เกลือ	1.5	1.5	1.5	1.5
น้ำตาล	6	6	6	6
เนยขาว	3	3	3	3

ที่มา: ดัดแปลงสูตรจาก AACC (2000) Method 10-10B

หมายเหตุ: WSG 0, WSG 10, WSG 20 และ WSG 30 หมายถึง แป้งผสมระหว่างแป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลี (Wheat substituted with glutinous rice flour, WSG) ร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/w)

1.2.2.3 การศึกษาคุณภาพของโดและขนมปังจากแป้งผสม

คุณภาพของโดขนมปัง

ทำการตรวจสอบคุณภาพของโดด้วยเครื่องฟาริโนกราฟ (Farinograph) ตามวิธีของ AACC (2000) Method 54-21 บันทึกค่าการดูดซึมน้ำของแป้งที่เหมาะสม ซึ่งทำให้โดมีความชื้นเหนียวเหมาะสมและเกิดความสูงของเส้นกราฟที่เส้น 500 B.U. เป็นมาตรฐานสากล ทำการวัดค่าดังนี้ 1.เวลาที่เกิดจุดสูงสุดของเส้นโค้ง (Dough development time) วัดจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสูงสุดของเส้นโค้งที่สัมผัสกับเส้น 500 B.U.วัดเป็นนาที่ 2.ความคงทนต่อการผสม (Mixing stability) วัดได้จากผลต่างของเวลาของจุดสุดท้ายก่อนพ้นเส้น 500 B.U. กับเวลาเริ่มต้น วัดเป็นนาที่ 3.ดัชนีความคงทนต่อการผสม (Mixing tolerance index ; MTI) วัดจากผลต่างของความชื้นเหนียวที่จุดสูงสุดของเส้นโค้งไปยังจุดบนเส้นโค้งที่ 5 นาที่หลังจากจุดสูงสุดนั้น วัดเป็น B.U. 4.ความอ่อนตัวของโด (Degree of softening) เป็นความแตกต่างของค่าความชื้นเหนียว วัดจากเส้น 500 B.U. กับจุดกลางของ

เส้นโค้งที่ 12 นาที หลังจากจุดสูงสุดหรืออาจวัดที่ 20 นาที หลังจากจุดเริ่มต้น วัดเป็น B.U.

คุณภาพขนมปังจาก แป้งผสมโดยการวิเคราะห์ค่าดังนี้ คุณภาพทางกายภาพ

- ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) ดัดแปลงจากวิธีการของ USDA โดยวิธีการแทนที่ก้อนขนมปังด้วยงา (USDA, 2004)
- เนื้อสัมผัส (Texture) วัดค่า Hardness Springiness index และAdhesiveness ของขนมปัง ด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยดัดแปลงจากวิธี AACC 74-09 (AACC, 2000) ใช้ Compression probe ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร ระยะทางในการกดตัวอย่างที่ระดับ 40% deformation ด้วยความเร็ว (Test speed) 50 มิลลิเมตร/นาที วัดค่าทั้งหมด 6 ซ้ำ
- ค่าสี L^* , a^* , b^* ระบบ CIE Lab ด้วยเครื่องวัดสี (BYK-Gardner, Color-guide gloss GmbH, Germany) และคำนวณดัชนีความขาวตามสูตร (1)
- ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (Water activity meter)

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการประเมินโดยผู้ทดสอบทั้งฝึกฝนจำนวน 30 คน ทั้งเพศชายและหญิง ในพื้นที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ให้คะแนนความชอบขนมปังโดยวิธี 9 – point hedonic scale (1 คือ ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 คือ ชอบมากที่สุด) ผู้ทดสอบแต่ละ

คนจะทำการทดสอบตัวอย่างขนมปัง 4 ตัวอย่าง ได้แก่ ขนมปังจาก WSG10 WSG20 WSG30 และ control บรรจุในถุง Polypropylene (PP) ที่มีรหัสเลขสุ่ม 3 หลัก ทำการเสิร์ฟทีละตัวอย่าง โดยให้ผู้ทดสอบประเมิน ลักษณะปรากฏโดยรวม (สี และโพรงอากาศ) เนื้อสัมผัส กลิ่น รสแป้ง และความชอบโดยรวม

1.2.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โคโตซานในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา

1.2.3.1 การเตรียมสารละลายโคโตซาน

เตรียมสารละลายโคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.7 และ 1.4 โดยทำการละลายในสารละลาย 1% Lactic acid เป็นเวลา 2 ชั่วโมงทิ้งไว้ให้อิ่มตัวที่อุณหภูมิ 4-5 °C เป็นเวลา 1 วัน เพื่อใช้ในการเตรียมขนมปังเสริมโคโตซานต่อไป

1.2.3.2 การเตรียมขนมปังเสริมโคโตซาน

เตรียมขนมปังสูตรที่มีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวต่อแป้งสาลีในอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการทดลอง 4.4 โดยเสริมโคโตซานที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.7 และ 1.4 แล้วบรรจุในถุง Polypropylene (PP) และเก็บรักษา 0, 3 และ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 °C)

1.2.3.3 การศึกษาคุณภาพขนมปังเสริมโคโตซาน

ทำการศึกษาคุณภาพของขนมปังเสริมโคโตซาน
ดังนี้คือ

คุณภาพทางกายภาพ

- ค่าเนื้อสัมผัส (Texture) วัดค่าความแข็ง (Hardness) และค่าความเหนียว (Adhesiveness) ของขนมปัง ด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยดัดแปลงจากวิธี AACC 74-09 (AACC, 2000) ด้วย Compression probe ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร กดที่ระดับ 40% deformation ความเร็วหัวเข็ม (Test speed) 50 มิลลิเมตร/นาที วัดค่า 6 ซ้ำ ขนาดชิ้นตัวอย่างกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 4 x 4 x 2.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

- ค่าสี L^* , a^* , b^* ระบบ CIE Lab ด้วยเครื่องวัดสี (BYK-Gardner, Color-guide gloss GmbH, Germany)

คุณภาพทางจุลินทรีย์

ทำการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และ ยีสต์และรา ตามวิธีการของ AOAC (2000)

2. ผลที่ได้รับจากงานวิจัย

2.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีกายภาพของวัตถุดิบแป้ง

2.1.1 คุณภาพทางเคมี

แป้งสาลีมีปริมาณความชื้น โปรตีน และปริมาณแอมิโลส ร้อยละ 13.12 17.7 และ 22.39 ตามลำดับ ส่วนแป้งข้าวเหนียวมีปริมาณความชื้น โปรตีน และปริมาณแอมิโลส ร้อยละ 11.35 7.48 และ 0 ตามลำดับ และแป้งผสม WSG 10, 20 และ 30 มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วง 12.69-12.72 ปริมาณโปรตีนของแป้ง WSG มีค่าลดลงโดยมีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 15.26-16.76

2.1.2 คุณภาพทางกายภาพ

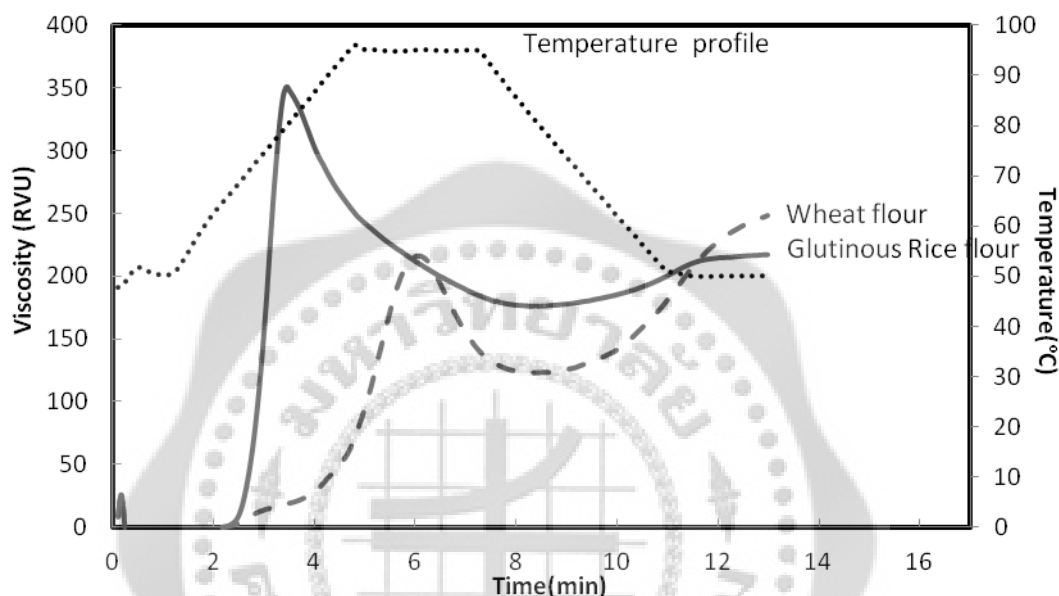
2.1.2.1 คุณภาพทางด้านสี

แป้งข้าวเหนียวมีค่าความสว่าง (98.22) มากกว่าแป้งสาลี (Control) (94.42) โดยที่ WSG ร้อยละ 10 (94.79) ไม่ทำให้ความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับ Control ในขณะที่เมื่อเพิ่มระดับ WSG ที่ร้อยละ 20 และ 30 พบว่าความสว่างเพิ่มมากขึ้น WSG ร้อยละ 20 (95.49) และ WSG ร้อยละ 30 (95.68) สำหรับค่าดัชนีความขาว (WI) ผลการศึกษาพบว่าแป้งข้าวเหนียวมีค่าดัชนีความขาว (96.95) มากกว่าแป้งสาลี (91.78) และแป้งสาลีจะมีความขาวเพิ่มขึ้นตามระดับการทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวที่สูงขึ้น

2.1.2.2 พฤติกรรมความหนืด

แป้งข้าวเหนียวมีค่า Peak viscosity (350.63 RVU) สูงกว่าแป้งสาลี (216.21 RVU) นั่นคือแป้งข้าวเหนียวจะมีความหนืดสูงสุดในช่วงการให้ความร้อน ซึ่งเป็นจุดที่เกิดเจลลิตในเซชันสมบูรณ์มากกว่าแป้งสาลี เนื่องจากเม็ดแป้งสาลีมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณแอมิโลสและไขมัน (กลีเซอรอล, 2546) ส่วนค่า Breakdown เท่ากับ 174.46 RVU ซึ่งมากกว่าแป้งสาลี (93.21 RVU) ทำให้แป้งข้าวเหนียวมีความคงทนต่ออุณหภูมิมากกว่าแป้งสาลี แต่มีค่า Final viscosity (217.09 RVU) น้อยกว่าแป้งสาลี (248.33 RVU) ซึ่งค่าความหนืดสุดท้ายของการทดลอง ใช้บ่งชี้ลักษณะของผลิตภัณฑ์สุดท้ายหรือเจลที่เกิดขึ้น กล่าวคือหาก Final viscosity สูงเจลที่ได้ก็จะมีความแข็งแรงมาก สำหรับค่า setback เป็นค่าที่บอถึงการคืนตัว (Retrogradation) ของแป้งหลังจากให้ความเย็นกับเจลแป้งจากการศึกษาพบว่า แป้งข้าวเหนียวมีค่า Setback (40.92 RVU) น้อย

กว่าแป้งสาลี (125.34 RVU) นั่นคือ แป้งข้าวเหนียวเกิดการคืนตัวน้อยกว่าแป้งสาลี ซึ่งการคืนตัวของแป้งจะมีผลโดยตรงต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของอาหาร ดังนั้นหากทำเป็นแป้งผสมจึงน่าจะมีส่วนช่วยทำให้การคืนตัวหลังการอบ และช่วงแรกของการเก็บรักษา



ภาพที่ 1 การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมความหนืดของแป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลี เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

2.2 การพัฒนาสูตรขนมปังจากแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งข้าวเหนียว

2.2.1 คุณภาพของโดจากแป้งผสม

จากการศึกษาคุณภาพของโดจากแป้งสาลี (Control) แป้ง WSG ที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/w) โดยใช้เครื่องฟาริโนกราฟ พบว่า เมื่อเพิ่มระดับ WSG ที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 ปริมาณการดูดซึม

น้ำของแป้งจะเพิ่มขึ้น (68.05, 69.70 และ 71.63 ตามลำดับ) เมื่อเทียบกับ Control (65.10) ปริมาณการดูดซึมน้ำของแป้งที่วัดได้นี้จะเป็นแนวทางในการกำหนดปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตขนมปัง ดังนั้นขนมปังที่มีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวในระดับที่สูงขึ้น ปริมาณน้ำที่ใช้ก็จะสูงขึ้นตามลำดับดังนี้ WSG 30 (66.29%), WSG 20 (64.24%) และ WSG 10 (62.72%)

จากผลการศึกษาคุณสมบัติของโดจากแป้ง WSG ร้อยละ 10, 20 และ 30 (w/w) เปรียบเทียบกับแป้งสาลี (Control) พบว่า แป้ง WSG ร้อยละ 10, 20 และ 30 มีคุณภาพของโดแตกต่างจาก Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แป้งผสมมีความคงทนต่อการผสมลดลง โดยเฉพาะแป้ง WSG 30 ชนิดของแป้งจะมีพฤติกรรมความคงตัวของโดที่แตกต่างกัน และคุณภาพของกลูเตน โดยแป้งชนิดอ่อน จะให้ค่าเวลาที่ใช้ในการผสมเป็นโด และความคงทนต่อการผสมน้อยกว่าแป้งชนิดปานกลางและแข็ง ส่วนค่าดัชนีความคงทนต่อการผสมและความอ่อนตัวของโดจะมีค่ามาก ซึ่งแสดงว่าโครงสร้างของโดหรือกลูเตน มีความอ่อนตัว ไม่คงทนต่อการผสม

2.2 คุณภาพของขนมปังจากแป้งผสม

2.2.1 คุณภาพทางกายภาพ

ขนมปังจากแป้งผสมที่ระดับการทดแทนต่างมีค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ในช่วง 0.88 – 0.91 ปริมาตรของขนมปังจะลดลงเมื่อมีระดับการทดแทนแป้งสาลีเพิ่มขึ้น ผลผลิตก้อนขนมปังจาก WSG 10, 20 และ 30 มีค่า Hardness ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับ Control ซึ่งมักส่งผลให้ขนมปังที่มีปริมาตรต่ำกว่ามีความแข็งมากกว่าขนมปังที่มีปริมาตรสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตามไม่ส่งผลต่อความนุ่มของขนมปัง

2.2.2 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทำการคัดเลือกสูตรที่เหมาะสม โดยทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่ไม่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 30 คน ด้วยวิธี 9-point hedonic scale พบว่าขนมปังจากแป้ง WSG 10, 20, และ 30 มีลักษณะปรากฏโดยรวมในด้าน สี และโพรงอากาศไม่แตกต่างไปจากขนมปังจากแป้งสาลี (Control) โดยได้รับคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย คะแนนความชอบลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังจากแป้ง WSG ร้อยละ 10(6.50), 20(5.84) และ 30(5.81) อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลางมากกว่า Control(4.94) สำหรับคะแนนความชอบกลิ่นรสแป้งของ WSG ที่ระดับต่างๆ ไม่แตกต่างจากขนมปัง Control ($P \geq 0.05$) และคะแนนความชอบลักษณะปรากฏโดยรวมของขนมปังจากแป้ง WSG 10 (6.47), 20(6.31) และ 30(5.56) อยู่ในระดับเฉยๆ ถึงชอบเล็กน้อยไม่แตกต่างจาก Control อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

จากการวิเคราะห์คุณภาพของโดและขนมปังจากแป้งผสม พบว่า เมื่อเพิ่มระดับ WSG จะส่งผลต่อคุณภาพของโด ทำให้โดมีความอ่อนตัวลง ไม่คงทนต่อการผสม และส่งผลให้ขนมปังมีปริมาตรจำเพาะลดลง แต่อย่างไรก็ตาม การใช้แป้งข้าวเหนียวทดแทนแป้งสาลีจะช่วยปรับปรุงคุณภาพขนมปังในด้านเนื้อสัมผัส คือ ช่วยให้ขนมปังมีความนุ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงเลือกแป้ง WSG ร้อยละ 20 ที่มีศักยภาพในการผลิตและผู้บริโภคให้คะแนนความชอบมากกว่า Control ($P < 0.05$) มาทำการเสริมโคโคซานเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการยืดอายุการเก็บรักษาต่อไป

2.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โคโตซานในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา

จากการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในข้อ 2.2 ดังนั้นจึงเลือกนี้จึงเลือกขนมปังจากแป้ง WSG 20 เนื่องจากมีคุณภาพที่เป็นที่ยอมรับ รวมทั้งการผสม และขึ้นรูปทำได้ดี มาเสริมโคโตซานที่ระดับ 0.7% (B-WSG 20/CS 0.7%) และ 1.4% (B-WSG 20/CS 1.4%) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพโดยใช้โคโตซานระหว่างการเก็บรักษา โดยทำการเก็บขนมปังในถุงพลาสติก ชนิด Polypropylene (PP) เป็นเวลา 0, 3 และ 5 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 °C) พบว่า

2.3.1 คุณภาพทางด้านค่าสี

ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา ขนมปังเสริมโคโตซาน 0.7% (89.59) และขนมปังเสริมโคโตซาน 1.4 % ($L^* = 90.14$) มีความสว่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับขนมปัง Control ($L^* = 88.97$) แม้ว่าค่า L^* จะไม่แตกต่าง แต่เมื่อสังเกตด้วยสายตาพบว่าขนมปังที่เสริมโคโตซานจะมีสีที่ค่อนข้างเข้มกว่าขนมปัง Control โดยจะมีสีค่อนข้างน้ำตาล สำหรับวันที่ 3 ของการเก็บรักษา ขนมปังเสริมโคโตซาน 1.4 % มีค่าความสว่าง (L^*) (83.98) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับขนมปัง Control ($L^* = 86.12$) และขนมปังเสริมโคโตซาน 0.7% ($L^* = 88.47$) และขนมปังเสริมโคโตซาน 1.4 % จะมีค่าความเป็นสีแดง ($a^* = -1.80$) และค่าความเป็นสีเหลือง ($b^* = 8.21$) เพิ่มขึ้น และในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาไม่สามารถวัดค่าได้เนื่องจากมีเชื้อราเกิดขึ้นในเนื้อขนมปัง

2.3.2 คุณภาพทางเนื้อสัมผัส

ในวันที่ 0 ของอายุการเก็บพบว่า ขนมปังเสริมโคโคโตซาน 1.4% จะมีค่า Hardness (6.13) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับขนมปัง Control (4.01) และ B-WSG 20/CS 0.7% (4.18) สำหรับค่า Springiness Index B-WSG 20/CS 0.7% และ B-WSG 20/CS 1.4% ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$) กับขนมปัง Control ส่วนวันที่ 3 ของอายุการเก็บพบว่า ขนมปังเสริมโคโคโตซาน 0.7% (7.76 N) และ 1.4% (7.92 N) จะมีค่า Hardness เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับขนมปัง Control (7.10 N) เมื่อพิจารณาอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness พบว่า ขนมปังเสริมโคโคโตซาน 1.4% จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า Hardness น้อยที่สุด (29 %) เมื่อเทียบกับขนมปัง Control (77%) และ B-WSG 20/CS 0.7% (86 %)

2.3.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

เมื่อพิจารณาคุณภาพทางจุลินทรีย์ของขนมปัง Control และ B-WSG 20/CS 0.7 และ 1.4% ในวันที่ 0, 3 และ 5 ของการเก็บรักษา พบว่าวันที่ 0 และ 3 ไม่พบเชื้อราและยีสต์ ในวันที่ 0 ของการเก็บรักษา พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในขนมปังทุกตัวอย่างอยู่ในช่วง $3.3 - 3.5 \times 10^2$ cfu/g ในวันที่ 3 ของการเก็บรักษาใน B-WSG 20/CS 1.4% และ B-WSG 20/CS 0.7% มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าขนมปัง Control สำหรับในวันที่ 5 ของการเก็บรักษาขนมปังที่เสริมโคโคโตซานที่ระดับต่าง ๆ เริ่มมีเชื้อราขึ้นเป็นจุด ๆ และจากการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณเชื้อราและยีสต์ มีแนวโน้มที่จะลดลงเมื่อระดับเพิ่มระดับการเสริมโคโคโตซาน จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ขนมปังที่เสริมโคโคโตซานอาจจะยังไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์หรือสามารถยืดอายุการเก็บได้นานขึ้น ดังนั้นอาจจะต้อง

ทำการศึกษาถึงปริมาณของการเสริมโคโคซานรวมไปถึงและวิธีที่เหมาะสมต่อไป

การนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้

งานวิจัยมุ่งหวังในการใช้ประโยชน์แป้งข้าวเหนียว เพื่อเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์อย่างข้าว ซึ่งอาจใช้เป็นข้อมูลในการส่งเสริมการปลูกข้าวเหนียว หรือปรับปรุงพันธุ์ข้าวเหนียวต่อไปได้ นอกจากนี้ข้อมูลคุณสมบัติของแป้งผสมระหว่างแป้งสาลี และแป้งข้าวเหนียว สามารถเป็นข้อมูลพื้นฐานในการต่อยอดเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากแป้งผสมได้อีกทั้งสูตรในการผลิตขนมปังที่ได้นี้สามารถต่อยอดองค์ความรู้ในการเสริมคุณค่าทางโภชนาการ หรือยืดอายุการเก็บให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและคุณประโยชน์มากยิ่งขึ้น เพื่อให้มีศักยภาพในการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ในตลาดผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพได้อีกทางหนึ่งด้วย

ผลงานวิจัย/ผลผลิต สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม หรืออื่น ๆ ที่ได้จากการทำวิจัย

และมี Impact ต่อสังคม, ประเทศชาติได้รับประโยชน์อะไร

ผลงานจากงานวิจัยจะได้สูตรผลิตภัณฑ์ขนมปังเสริมแป้งข้าวเหนียวที่ไม่ต้องใช้วัตถุเจือปนสังเคราะห์ เป็นการใช้ประโยชน์แป้งข้าวเหนียว เพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่ข้าว และเป็นการลดการนำเข้าแป้งสาลี อีกทั้งหากการใช้โคโคซานให้ผลดี จะเป็นการใช้สารสกัดจากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของขนมปังจากแป้งผสมทดแทนการใช้สารสังเคราะห์ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศอีกทางหนึ่งด้วย

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย

-

ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ขนมปังจากแป้งผสมระหว่างแป้งสาลีและแป้งข้าวเหนียวยังมีคุณภาพด้อยในบางด้าน เช่น ปริมาตรที่ลดลง ดังนั้นหากมีการเสริมวัตถุเจือปนเช่น อิมัลซิไฟเออร์ ทางการค้า ตัวอย่างเช่น diacetyl tartaric

acid ester of monoglycerides (DATEM) และ sodium stearyl lactylate (SSL) เป็นต้น

งานวิจัยที่คาดว่าจะดำเนินการต่อไป

อาจต้องมีการศึกษาปริมาณโคโคซาน และวิธีการที่เหมาะสมในการเสริมโคโคซาน เช่น การเคลือบ (Coating) หรือใช้ร่วมกับวัตถุเจือปนอาหารชนิดอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของขนมปังจากแป้งผสมต่อไป



คณะผู้วิจัย

1. หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาว พรรณทิพา เจริญไทยกิจ

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Phantipha

Charoenthaikij

หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 2503 00237 858

ตำแหน่งปัจจุบัน : อาจารย์ประจำ

หน่วยงาน คณะเทคโนโลยีและนวัตกรรมผลิตภัณฑ์การเกษตร
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

แขวงคลองเตยเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110

โทรศัพท์ 02-649-5000 ต่อ 5812 โทรสาร 02-649-

5000 ต่อ 5812

E-mail: phantipha@swu.ac.th

2. ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายธนต์ อ้วนอ่อน

ชื่อ-นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Tanat Uan-On

เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1014 02354 537

ตำแหน่งปัจจุบัน : อาจารย์ประจำ

หน่วยงาน คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร

กรุงเทพมหานคร 10900

เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ 0-2562-5074

e-mail:

fagitnu@ku.ac.th

ทุนสนับสนุน

ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณ รายได้คณะเทคโนโลยีและ
นวัตกรรมผลิตภัณท์การเกษตร

ประจำปีงบประมาณ 2555

เริ่มงานวิจัย ปี 2555

สิ้นสุดงานวิจัย ปี 2555

