



การทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวเจ้าตัดแปรร  
และการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในขนมสาลีแช่เยือกแข็ง



มิ่งขวัญ ทองกลาง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

การทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป  
และการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในขนมสาลีแช่เยือกแข็ง

มิ่งขวัญ ทองกลาง

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

.....  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณิกา อรรถนิตย์)  
วันที่ 21 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

.....  
รศ.ดร.กรรณิกา อรรถนิตย์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา แดงปรก)  
วันที่ 21 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

.....  
- Juthanya -  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธยา พิมพ์พิไล)  
วันที่ 21 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

ประธานอาจารย์ประจำหลักสูตร

.....  
รศ.ดร.กรรณิกา อรรถนิตย์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา แดงปรก)  
วันที่ 21 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)  
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
วันที่ 21 เดือน ก.ค. พ.ศ. 2560

ชื่อเรื่อง	การทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป และการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในขนมสาลีแช่เยือกแข็ง
ชื่อผู้เขียน	นางสาวมิ่งขวัญ ทองกลาง
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรณิกา อรรคนิตย์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการที่เหมาะสมในผลิตแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูป โดยศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของฟอสเฟต และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและทางหน้าที่ของแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ตัดแปรรูปด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้สาร 2 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (STMP) ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 0.1 0.5 และ 1% ของน้ำหนักแป้ง โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟส (STPP) ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 1 2 และ 4% ของน้ำหนักแป้ง และส่วนผสมของ STMP และ STPP ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 11 และระยะเวลาในการเชื่อมข้าม 3 ระดับ คือ 1 3 และ 5 ชั่วโมง เมื่อนำแป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการตัดแปรรูปมาส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า แป้งข้าวเจ้าที่ผ่านการตัดแปรรูปมีรูปร่างของเม็ดแป้งไม่แตกต่างจากแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูป เมื่อทดสอบคุณสมบัติทางหน้าที่ พบว่า แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูปทั้ง 2 ชนิด มีค่าความหนาแน่นจำเพาะเพิ่มขึ้น แต่ค่าดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและความสามารถในการพองตัวลดลง ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำในแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรรูปมีค่าลดลง แต่แป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปรรูปมีค่าสูงขึ้น และการศึกษาความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer พบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของ STMP และ STPP เพิ่มขึ้น แป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูปทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มค่า peak viscosity เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูป แต่มีค่า setback ต่ำกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อทดสอบความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรรูปโดยใช้ STMP ที่ 0.1% นาน 3 ชั่วโมง และแป้งข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรรูปด้วย STMP ที่ 0.5% ร่วมกับ STPP ที่ 4% นาน 5 ชั่วโมง มีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งดีที่สุด และมีคุณสมบัติทางหน้าที่ใกล้เคียงกับแป้งข้าวสาลีชนิดแป้งเค้ก เมื่อนำแป้งข้าวเจ้าตัดแปรรูปไปใช้ทดแทนแป้งข้าวสาลีในขนมสาลีที่ระดับการทดแทน 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30% ร่วมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด คือ ไฮดรอกซีเมทิลเซลลูโลส (HPMC) และแอลจีเนต (alginate; AE) ที่

ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 0.25 0.5 และ 0.75% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด แล้วนำไปแช่เยือกแข็งในเครื่องให้ความเย็น 2 ชนิด คือ ช่องแช่เยือกแข็งของตู้เย็น และตู้แช่เยือกแข็ง พบว่า ขนมสาลีแช่เยือกแข็งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรที่ 20% ร่วมกับการเติม HPMC 0.75% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด และขนมสาลีแช่เยือกแข็งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปรที่ 20% ร่วมกับการเติม AE 0.5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด จะช่วยลดการเกิด % syneresis และมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งชนิดของเครื่องให้ความเย็นไม่มีผลต่อการเกิด % syneresis ของขนมสาลี เมื่อศึกษาชนิดบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ ถุงโพลีเอทิลีน (PE) และถุงโพลีโพรพิลีน (PP) และรูปแบบการบรรจุ 2 สภาวะ ได้แก่ สภาวะที่มีอากาศและสุญญากาศในตู้แช่เยือกแข็ง พบว่า ขนมสาลีแช่เยือกแข็งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเจ้าตัดแปรทั้ง 2 ชนิดที่บรรจุในถุง PP ภายใต้อากาศสุญญากาศมีแนวโน้มค่า hardness, springiness, gumminess และ chewiness เพิ่มขึ้น และการบรรจุแบบสุญญากาศช่วยลดการเกิด % syneresis

Title	Substitution of Wheat Flour with Modified Rice Flour and Use of Hydrocolloid in Frozen KANOHM SA LEE
Author	Miss Mingkwun Tongklang
Degree	Master of Science in Food Science and Technology
Advisor Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Kornpaka Arkanit

### ABSTRACT

This research was aimed to optimize the production of modified rice flour by studying the effect of type and concentration of phosphates and reaction time on the physicochemical and functional properties of Thai jasmine rice flour and Thai jasmine brown rice flour that were chemically modified with sodium trimetaphosphate (STMP) at a concentrations of 0.1, 0.5, or 1% (based on starch dry weight), sodium tripolyphosphate (STPP) at the concentrations of 1, 2, or 4% (based on starch dry weight), or a combination of STMP and STPP at pH 11.0 for 1, 3, or 5 hours. Scanning electron micrographs showed that the shape of modified rice flour granules was similar to naive rice flour granules. Functional properties of both modified rice flours showed an increase in bulk density but a decrease of water solubility index, oil absorption capacity, and swelling capacity. Water absorption capacity was lower in Thai jasmine rice modified flour but higher in Thai jasmine modified brown rice flour. Pasting properties of rice flour using Rapid Visco Analyzer (RVA) revealed that peak viscosity of cross-linked flours was increased with an increasing concentration of STMP and STPP and was higher than native rice flour but setback of cross-linked flours was lower than native rice flour ( $p < 0.05$ ). Thai jasmine rice flour modified with 0.1% STMP for 3 hours and Thai jasmine brown rice flour modified with a combination of 0.5% STMP and 4% STPP for 5 hours had the highest freeze-thaw stability and had functional properties similar to wheat pastry flour. Modified rice flour was then used as a substitute for wheat flour in Kanohm Sa Lee

at 10, 20 or 30% and hydrocolloid, hydroxypropylmethylcellulose (HPMC) or alginate (AE) was added at 0.25, 0.5, or 0.75% (based on total starch) before Kanohm Sa Lee was frozen in refrigerator freezer or horizontal freezer. The results showed that frozen Kanohm Sa Lee substituted with 20% modified Thai jasmine rice flour and 0.75% HPMC as well as substituted with 20% modified Thai jasmine brown rice flour and 0.5% AE decreased %syneresis and resulted in the highest overall acceptance score. The syneresis of Kanohm Sa Lee was not affected by types of freezer. Packaging types, polyethylene bags (PE) or polypropylene (PP), and storage conditions, atmosphere or vacuum of Kanohm Sa Lee were further studied. The results showed that frozen Kanohm Sa Lee vacuum packed in a PP bag had the highest hardness, springiness, gumminess, and chewiness. Vacuum packaging also reduced the incidence of % syneresis.

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรรพกา อรรถนิตย์ ประธานกรรมการ ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆ ในระหว่างการทำวิจัย ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธยา พิมพ์พิไล และรองศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรา แดงปรก กรรมการที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำในการทำวิจัย และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จอมดวง ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ทุกท่าน ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้ และช่วยผลักดันให้การทำวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในสาขาวิชา ทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย และขอขอบคุณ พี่ เพื่อน และน้องในสาขาวิชา ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ทุกคนในครอบครัว และบุคคลที่เกี่ยวข้องอีกหลายท่านซึ่งกล่าวได้ไม่หมดที่ให้การสนับสนุนการศึกษาและให้กำลังใจที่ดีเสมอมา

มิ่งขวัญ ทองกลาง

กรกฎาคม 2560

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
ABSTRACT	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(13)
สารบัญตารางผนวก	(15)
สารบัญภาพผนวก	(16)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
ขนมสาส์	3
ข้าว	3
แป้ง	11
สมบัติของแป้ง	16
แป้งดัดแปร	18
ไฮโดรคอลลอยด์	23
การแช่เยือกแข็ง	26
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	32
อุปกรณ์	32
วิธีการทดลอง	35



	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	40
กระบวนการผลิตแป้งข้าวหอมมะลิและข้าวกล้องหอมมะลิตดแปรที่เหมาะสม	40
ผลของแป้งข้าวตัดแปร สารไฮโดรคอลลอยด์ และเครื่องมือให้ความเย็น	
ต่อสมบัติของขนมสาลี	72
ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ รูปแบบของการบรรจุต่อสมบัติของขนมสาลีที่ผ่าน	
การแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งซ้ำ จำนวน 5 รอบ	93
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	97
สรุป	97
ข้อเสนอแนะ	97
บรรณานุกรม	98
ภาคผนวก	103
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ	104
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี	108
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา	114
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์สมบัติทางหน้าที่	116
ภาคผนวก จ แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส	121
ภาคผนวก ฉ ภาพประกอบการวิจัย	123
ภาคผนวก ช ตารางภาคผนวก	125
ภาคผนวก ซ ประวัติผู้วิจัย	127

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	คุณภาพข้าวหุงสุกแบ่งตามปริมาณแอมิโลส	7
2	คุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องและข้าวขาว ในข้าวปริมาณ 100 กรัม	10
3	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำข้าว และแกลบ	11
4	สูตรขนมสาลี	38
5	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว	40
6	สมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	42
7	สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วยด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	44
8	สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	45
9	สมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	47
10	สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วยด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	48
11	สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	50
12	สมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	52
13	สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	53
14	สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	55
15	สมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	57
16	สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วยด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	58

ตารางที่		หน้า
17	สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	60
18	สมบัติทางเคมี ภายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	62
19	สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	63
20	สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	65
21	สมบัติทางเคมี ภายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	67
22	สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	68
23	สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	71
24	สมบัติทางเคมี ภายภาพและหน้าที่ของขนมสาลีที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วย แป้งข้าวหอมมะลิตดแปรที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ	74
25	ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมสาลีที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวหอมมะลิตดแปร ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ	78
26	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมสาลีที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วย แป้งข้าวหอมมะลิตดแปรที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ	82
27	สมบัติทางเคมี ภายภาพและหน้าที่ของขนมสาลีที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วย แป้งข้าวกล้องหอมมะลิตดแปรที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ	84
28	ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมสาลีที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวกล้อง หอมมะลิตดแปรที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ	88
29	คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมสาลีที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วย แป้งข้าวกล้องหอมมะลิตดแปรที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ	92
30	สมบัติทางเคมีภายภาพและหน้าที่ของขนมสาลีที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง ซ้ำจำนวน 5 รอบ โดยบรรจุในถุง PE หรือ PP แบบสภาวะมีอากาศและสุญญากาศ	94
31	ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมสาลีที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำจำนวน 5 รอบ โดยบรรจุในถุง PE หรือ PP แบบสภาวะมีอากาศและสุญญากาศ	95

ตารางที่

หน้า

- 32 คະแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมสาสีที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-  
ละลายน้ำแข็งซ้ำจำนวน 5 รอบ โดยบรรจุในถุง PE หรือ PP แบบสภาวะ  
มีอากาศและสุญญากาศ

96



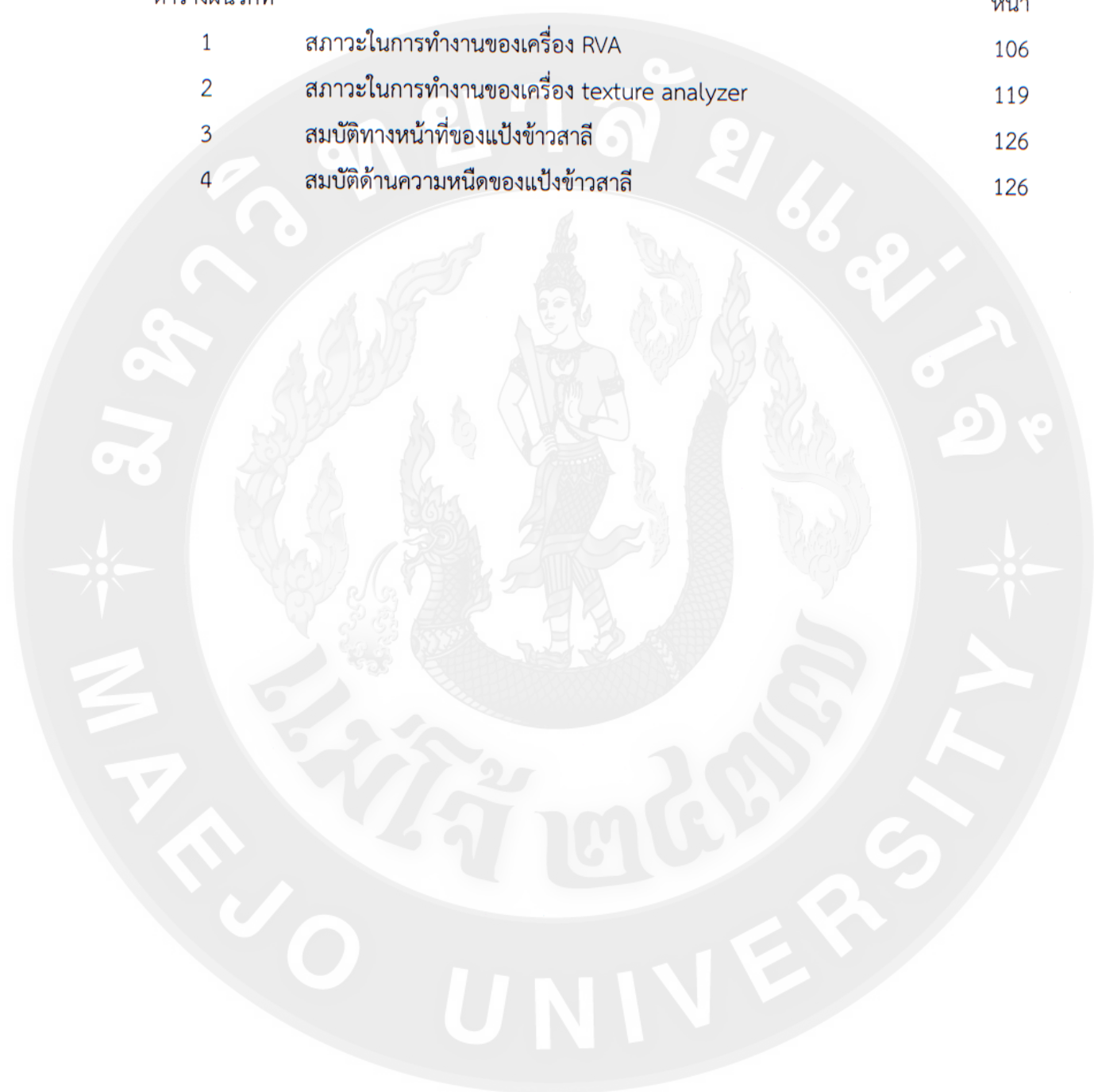
## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1	ลักษณะของต้นข้าว	4
2	เมล็ดสตาร์ชของข้าวโปรตีนสูง ส่องจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	6
3	สูตรทางเคมีของ 2 - แอซีทิล - 1 - ไพรโรลีน	9
4	ปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต ได้ออร์โทฟอสเฟตสตาร์ชโมโนเมอร์	19
5	ปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับไตรโพลีฟอสเฟต ได้สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเมอร์	20
6	ปฏิกิริยาการเกิดสตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์	20
7	การทำปฏิกิริยาของแป้งกับสารโครอสติงค์	22
8	โครงสร้างของอัลจิเนต (Alginate) ชนิดต่างๆ	24
9	โครงสร้างของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส	25
10	ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	41
11	ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของ แป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	44
12	ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	46
13	ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของ แป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	49
14	ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	51
15	ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของ แป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	53
16	ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	56

ภาพที่		หน้า
17	ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆ	59
18	ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	61
19	ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆ	63
20	ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	66
21	ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ	69

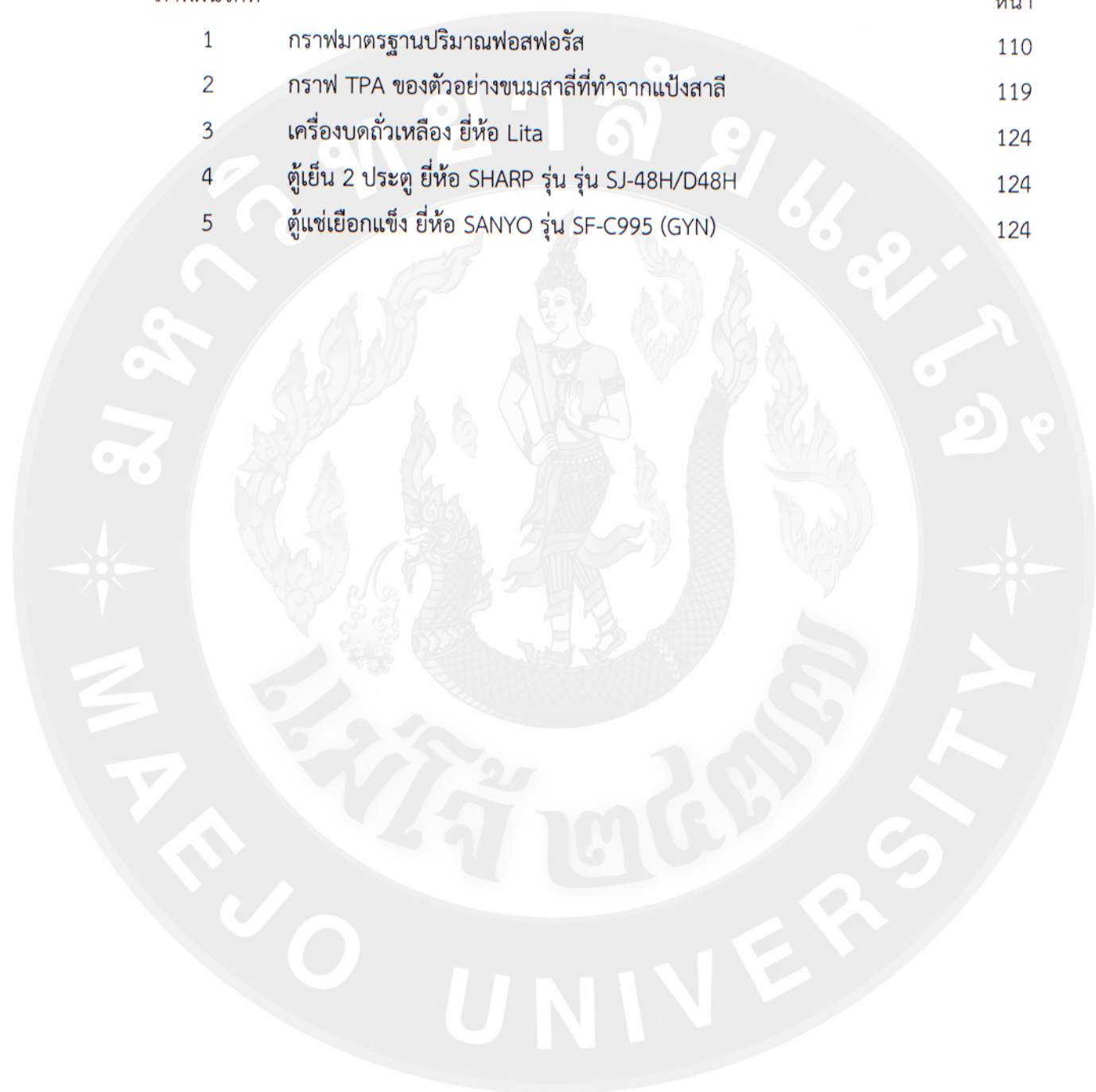
## สารบัญตารางผนวก

ตารางผนวกที่		หน้า
1	สภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA	106
2	สภาวะในการทำงานของเครื่อง texture analyzer	119
3	สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวสาลี	126
4	สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวสาลี	126



## สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวกที่		หน้า
1	กราฟมาตรฐานปริมาณฟอสฟอรัส	110
2	กราฟ TPA ของตัวอย่างนมสาลีที่ทำจากแป้งสาลี	119
3	เครื่องบดถั่วเหลือง ยี่ห้อ Lita	124
4	ตู้เย็น 2 ประตู ยี่ห้อ SHARP รุ่น รุ่น SJ-48H/D48H	124
5	ตู้แช่เยือกแข็ง ยี่ห้อ SANYO รุ่น SF-C995 (GYN)	124





## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความสำคัญของปัญหา

ในสภาวะการณปัจจุบันอาหารแช่เยือกแข็งมีโอกาสดการตลาดมากขึ้น เพื่อให้ผู้บริโภคสามารถเข้าถึงได้ง่ายขึ้นทั้งในรูปของวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป และผลิตภัณฑ์พร้อมรับประทาน ขนมไทยหลายชนิดได้เริ่มผลิตเป็นขนมแช่แข็งพร้อมรับประทานเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค เช่น กล้วยไข่บัวชี่ ทับทิมแก้ว ข้าวเหนียวทุเรียน บัวลอยเผือก บัวลอยเผือกมะพร้าวอ่อน สาकुถั่วดำ ข้าวต้มมัด เป็นต้น ขนมสาหลีเป็นขนมไทยที่ได้รับความนิยมมานาน ซึ่งสามารถหาซื้อได้เฉพาะท้องถิ่น หรือในรูปของฝากซึ่งมีอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นการผลิตขนมสาหลีแช่เยือกแข็งจึงเป็นอีกทางเลือกให้แก่ผู้บริโภค

ขนมสาหลีเป็นขนมไทยที่ใช้แป้งข้าวสาหลีเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต แต่เนื่องด้วยแป้งข้าวสาหลีไม่สามารถผลิตได้ในประเทศไทย จึงมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ จากสถิติของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีการรายงานว่ในปี 2557-2559 มีการนำเข้าแป้งข้าวสาหลีมูลค่ารวมสูงถึง 88,400 ล้านบาท หากมีการใช้แป้งที่ผลิตได้ในประเทศไทยจะสามารถลดต้นทุนและเป็นอีกทางเลือกให้แก่ผู้ประกอบการ ซึ่งประเทศไทยเป็นแหล่งผลิต และส่งออกข้าวโดยเฉพาะข้าวหอมมะลิที่เป็นข้าวชั้นเยี่ยมที่มีกลิ่นหอมเฉพาะตัวซึ่งอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นดีขึ้น อีกทั้งข้าวกล้องหอมมะลิเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางอาหาร โยอาหารสูง จึงเป็นอีกทางเลือกให้ผู้บริโภคที่รักสุขภาพ

เนื่องด้วยแป้งข้าวมีสมบัติที่จำกัดทำให้ยากต่อการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จึงมีการดัดแปรแป้งข้าวเพื่อปรับปรุงสมบัติของแป้งให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ ช่วยให้แป้งมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีขึ้น ทนต่อแรงเฉือน มีความหนืดคงตัว ทนต่อการแช่เยือกแข็ง (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2550) และสามารถนำแป้งไปใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ถือเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่แป้ง ด้วยเหตุนี้หากมีการนำวัตถุดิบที่หาได้ในประเทศ เช่น ข้าว มาผลิตให้เป็นแป้งข้าวดัดแปรเพื่อใช้ในการทดแทนแป้งข้าวสาหลีในขนมสาหลีแช่เยือกแข็ง จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการพัฒนาคุณภาพของขนมไทย โดยช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของขนมสาหลี ช่วยลดการใช้และการนำเข้าข้าวสาหลีจากต่างประเทศ และเป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจโดยการผลิตสินค้าจากวัตถุดิบในประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแป้ง (ฟลาว) ข้าวตัดแปร
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตขนมสาเล่แซ่เยือกแข็งที่ทดแทนแป้งข้าวสาเล่ด้วยแป้ง (ฟลาว) ข้าวเจ้าตัดแปร
3. เพื่อศึกษาการแซ่เยือกแข็งต่อคุณสมบัติของขนมสาเล่ที่ทดแทนแป้งข้าวสาเล่ด้วยแป้งข้าว (ฟลาว) เจ้าตัดแปร

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แป้งข้าว (ฟลาว) เจ้าตัดแปรที่มีประสิทธิภาพในการใช้ที่ทดแทนแป้งข้าวสาเล่ในขนมสาเล่แซ่เยือกแข็ง
2. ช่วยเพิ่มมูลค่าของข้าว และสามารถนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารได้

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### ขนมสาลี

ขนมสาลีเป็นขนมที่สันนิษฐานว่าเกิดขึ้นจากการนำแป้งข้าวสาลีมาทำขนมไทย โดยส่วนผสมหลักประกอบด้วย แป้งข้าวสาลี ไข่ และน้ำตาล ซึ่งจากส่วนผสมนี้จะจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับขนมฝรั่งกุฎีจีน ขนมไข่ และขนมฝิง ซึ่งขนมเหล่านี้แพร่หลายเข้ามาในประเทศไทยสมัยสมเด็จพระนารายณ์มหาราช ขนมสาลีได้แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ขนมสาลีอ่อน ซึ่งใช้วิธีการทำให้สุกด้วยวิธีการนึ่ง วัตถุดิบที่ใช้คือ ไข่ไก่ แป้งข้าวสาลี น้ำตาลทราย สีส้มอาหาร และสารแต่งกลิ่นรส ตีให้ขึ้นฟูแล้วนำไปนึ่ง หรืออาจใช้สารช่วยให้ขึ้นฟู แต่งหน้าด้วยลูกเกด ฝอยทอง หรือมะเขือเขียวแดง และขนมสาลีกรอบ (ขนมสาลีทิพย์) จะใช้วิธีการทำให้สุกด้วยการนำไปอบ วัตถุดิบที่ใช้คือ ไข่เป็ด แป้งข้าวสาลี น้ำตาลทราย เนื้อมะพร้าวขูด ตีผสมให้เข้ากันนำไปอบจนหอมเหลือง บางตำรับใช้น้ำกะทิแทนเนื้อมะพร้าว จะเห็นได้ว่าขนมสาลีทั้งสองชนิดต่างกันตรงวิธีการทำให้สุกและวัตถุดิบที่ใช้

แม้ว่าส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตขนมสาลีทั้งสองชนิดจะแตกต่างกัน แต่ส่วนผสมหลักๆ คือ แป้งข้าวสาลี น้ำตาลทราย และไข่ บางตำรับจะใช้แป้งหมี่หรือแป้งข้าวสาลีอเนกประสงค์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ทำให้ขนมฟูนุ่ม มีเนื้อขนมเบา (ยิ่งศักดิ์, 2543)

ขนมสาลีอ่อนที่ดีควรมีเนื้อนุ่มเบา ฟู เนื้อละเอียดเนียน ขึ้นฟูเต็มที่ โพรงอากาศสม่ำเสมอ กลิ่นหอม ไม่มีกลิ่นคาวไข่ หน้าไม่แตก ไม่มีหยดน้ำ ส่วนขนมสาลีกรอบ (ขนมสาลีทิพย์) ควรมีเนื้อเบา นุ่ม มีกลิ่นหอมรสหวาน หอมเนื้อมะพร้าว ไม่คาวไข่ หน้าขนมมีสีน้ำตาลสวย กรอบนอกนุ่มใน (ยิ่งศักดิ์, 2543; อบเชย, 2553)

ขนมสาลีอ่อนถือเป็นของฝากขึ้นชื่อประจำจังหวัดสุพรรณบุรี ซึ่งหาซื้อได้ยากตามท้องตลาดทั่วไป อีกทั้งยังมีอายุการเก็บรักษาสั้น ดังนั้นหากสามารถหาวิธีช่วยยืดอายุการเก็บรักษาจะสามารถเพิ่มโอกาสทางการตลาดในการเข้าถึงสินค้าของผู้บริโภค

#### ข้าว

ข้าวเป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูลหญ้า (Family Graminea) มีลักษณะภายนอกบางอย่างคล้ายต้นหญ้า เช่น ใบ กาบใบ ลำต้น และราก ข้าวมีลำต้น (culm) เป็นไม้เนื้ออ่อน (herbaceous or non-woody plant) ลำต้นมีลักษณะเป็นโพรงตรงกลางและแบ่งเป็นปล้องๆ (internode) มีข้อกัน



### 1.1 เปลือกนอก (hull หรือ husk)

เปลือกนอก เรียกว่าแกลบ ประกอบด้วย เปลือกใหญ่ (lemma) ซึ่งเป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านท้อง และเปลือกเล็กเป็นเปลือกหุ้มเนื้อผลด้านหลังมีขนาดเล็กกว่าเปลือกใหญ่ มีขนาดประมาณ 1/3 ของเปลือกทั้งหมด

### 1.2 เปลือกเมล็ด (caryopsis)

เป็นส่วนที่ห่อหุ้มแบ่งแต่อยู่ภายในแกลบ เมื่อแกะเปลือกนอกของเมล็ดออก จะได้เมล็ดข้าวที่เรียกว่า ข้าวกล้อง ซึ่งมีสีต่างๆ กัน ตั้งแต่ขาว น้ำตาลอ่อนจนถึงสีแดงเปลือกเมล็ดประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ส่วนคือ

1.2.1 เพอริคาร์พ (pericarp) หรือเยื่อหุ้มผล เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกที่ห่อหุ้มผลภายใน มีรงควัตถุปนอยู่ทำให้ข้าวกล้องมีสีต่างๆ องค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ โปรตีน เฮมิเซลลูโลส และเซลลูโลส

1.2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผล ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชั้น รูปร่างยาว เรียงตามขวาง ซึ่งภายในเซลล์มีไขมันและสารสีจึงทำให้ข้าวกล้องมีสี

1.2.3 นิวเซลลัส (nucellus) เป็นชั้นที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด แต่ผนังเซลล์กับเยื่อหุ้มเมล็ดไม่ติดแน่นจึงแยกออกจากกันได้ง่าย

### 1.3 แป้ง (endosperm) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

1.3.1 ชั้นแอลิวโรน (aleurone layer) เป็นเนื้อเยื่อชั้นนอกสุดของส่วนที่เป็นแป้งโดยอยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ด สามารถแบ่งลักษณะของเซลล์แอลิวโรนเป็น 2 ลักษณะ คือ ส่วนที่ห่อหุ้มรอบเนื้อเมล็ด และส่วนเซลล์แอลิวโรนที่ห่อหุ้มคัพภะ

1.3.2 ส่วนที่เป็นเนื้อแป้ง (starchy endosperm) เป็นส่วนแป้งที่บริโภคเป็นอาหาร ประกอบด้วยเซลล์เม็ดแป้งและโปรตีน มีกลุ่มโปรตีนลักษณะกลมใหญ่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช (starch granule) อัดแน่นรวมเป็นกลุ่มเม็ดสตาร์ช (compound starch) โปรตีนในเมล็ดข้าวจะอยู่รอบนอกใกล้ๆ กับชั้นแอลิวโรน เซลล์เม็ดแป้งจะอยู่ถัดเข้าไปข้างใน ในการสีข้าวจะขัดชั้นแอลิวโรนออก จึงทำให้สีน้ำตาลแดงของข้าวกล้องถูกขัดออกหมด แร่ธาตุและโปรตีนจะถูกขัดออกไปด้วย ตามปกติข้าวกล้องมีโปรตีนประมาณ 8 % หากขัดจนขาวเป็นข้าวสารจะเหลือโปรตีนเพียง 6-7 % ทำให้คุณค่าทางอาหารลดลง

### 1.4 คัพภะ (embryo)

คัพภะ หรือ จมูกข้าว อยู่ที่โคนเมล็ดด้านเปลือกใหญ่ส่วนท้องของเมล็ด คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน ที่อุดมไปด้วยโปรตีนและไขมัน โดยส่วนประกอบของคัพภะทั้งหมดจะอยู่ในชั้นของแอลิวคัพภะ (embryo) เรียกว่าจมูกข้าว ซึ่งอยู่ที่โคนของเมล็ดด้าน

เปลือกใหญ่ส่วนท้องเมล็ด คัพภะเป็นแหล่งสะสมอาหารสำหรับการเจริญเติบโตของต้นอ่อน อุดมด้วยโปรตีนและไขมันโดยส่วนประกอบของคัพภะทั้งหมดจะอยู่ในชั้นแอลิวโรน

## 2. องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบหลักสำคัญที่พบในเมล็ดข้าว คือ พอลิแซ็กคาไรด์ โปรตีน และไขมัน คาร์โบไฮเดรตของข้าวมีสตาร์ชเป็นหลัก ซึ่งประกอบด้วยแอมิโลสและแอมิโลเพกตินในสัดส่วนต่างๆ กันขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว จึงทำให้ข้าวแต่ละชนิดแต่ละพันธุ์มีลักษณะการหุงต้มและข้าวสุกที่ต่างกัน (อรอนงค์, 2547)

### 2.1 คาร์โบไฮเดรต แบ่งออกเป็น (อรอนงค์, 2547)

2.1.1 สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ อยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) แหล่งกำเนิดของสตาร์ชอยู่ในเม็ดสตาร์ช มีลักษณะเป็นเม็ดหลายเหลี่ยม ขนาด 3-9 ไมโครเมตร ระหว่างเม็ดสตาร์ชจะมีกลุ่มโปรตีนแทรกเห็นเป็นร่องบนเม็ดสตาร์ช ภาพของเม็ดสตาร์ช ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เม็ดสตาร์ชของข้าวโปรตีนสูง ส่องจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ที่มา: Juliano et al. (1981)

สตาร์ชจากข้าวประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส 2 ลักษณะ คือ แอมิโลเพกติน ซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบกิ่งก้าน และแอมิโลสซึ่งมีโครงสร้างเป็นแบบเชิงเส้น สัดส่วนของปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกตินที่แตกต่างกันทำให้คุณลักษณะด้านต่างๆ ของข้าวแตกต่างกันไปด้วย ส่งผลถึงการจัดแบ่งลักษณะของข้าวเมื่อนำไปขัดสีเป็นข้าวสารและนำไปหุงให้สุกด้วยโดยมีผลต่อความนุ่ม ร่วน และการพองตัวของเมล็ดข้าว ดังแสดงในตารางที่ 1

## ตารางที่ 1 คุณภาพข้าวหุงสุกแบ่งตามปริมาณแอมิโลส

ปริมาณแอมิโลส (% น้ำหนักแห้ง)	ชนิดข้าว	ข้าวสุก
0 – 5	ข้าวเหนียว	เหนียวมาก
5.1 – 12.0	ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำมาก	เหนียว
12.1 – 20.0	ข้าวเจ้าแอมิโลสต่ำ	นุ่ม – เหนียว/หุงแฉะง่าย
20.1 – 25.0	ข้าวเจ้าแอมิโลสปานกลาง	ค่อนข้างนุ่ม – ร่วน
> 25	ข้าวเจ้าแอมิโลสสูง	ร่วนแข็ง/หุงขึ้นหม้อ

ที่มา: ดัดแปลงจาก อรอนงค์ (2547)

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ข้าวเหนียวจะมีแอมิโลเพกตินในส่วนประกอบของโมเลกุลสตาร์ซทั้งหมดหรือเกือบทั้งหมด เมื่อหุงเป็นข้าวสุกจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสเหนียวมาก ติดมือ เมื่อปริมาณแอมิโลสเพิ่มขึ้นในสตาร์ซข้าวเจ้า จะทำให้ข้าวเจ้าที่หุงสุกนุ่มเหนียวลงตามลำดับ จนถึงปริมาณแอมิโลสมากกว่า 25 % จะจัดเป็นข้าวเจ้าชนิดแข็ง ซึ่งมีลักษณะร่วน แข็ง หุงขึ้นหม้อ (เป็นการขึ้นฟูของข้าว)

2.1.2 พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ซ พบมากในเปลือกหุ้มผลและเปลือกหุ้มเมล็ด มากกว่าในเนื้อและคัพภะของเมล็ด อยู่ในรูปของเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ประกอบไปด้วย อีมี-เซลลูโลส เซลลูโลส เพกติน ลิกนิน และโปรตีนที่ติดอยู่ สามารถแยกพอลิแซ็กคาไรด์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายในน้ำและกลุ่มที่ไม่ละลายน้ำ

2.1.3 น้ำตาลอิสระ น้ำตาลอิสระ ที่พบมากในส่วนคัพภะและเนื้อเมล็ดข้าว คือ ซูโครส นอกจากนั้นเป็น แรฟฟิโนส กลูโคส และฟรักโทส โดยน้ำตาลทั้งหมดในคัพภะมีประมาณ 8–25 % ในรำมีประมาณ 6.5 % และในข้าวสารมีประมาณ 0.52 % (อรอนงค์, 2547)

### 2.2 โปรตีน

เป็นสารอาหารที่มีในข้าวมากเป็นอันดับ 2 รองจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีนในข้าวมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยทั่วไปข้าวจะมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าธัญพืชชนิดอื่น โดยโปรตีนที่มีในข้าวเกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของเมล็ด มีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ดด้านนอกจะมีโปรตีนมากกว่าใจกลางเมล็ด โปรตีนที่มีอยู่ในเนื้อเมล็ดจะแทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ซ และโปรตีนที่เชื่อมโยงกับเม็ดสตาร์ซอาจมีผลต่อการเกิดเจลลาตินซ์ของเม็ดสตาร์ซ โดยทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ซ

ไม่เสีรูปร่างได้ง่าย และทำให้โมเลกุลของแอมิโลสไม่ซึมผ่านออกไป มีผลต่อลักษณะความอ่อน หรือ แข็งของเจลเมื่อเย็นลงส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวสุกที่มีลักษณะนุ่ม เหนียว หรือร่วน (อรอนงค์, 2547)

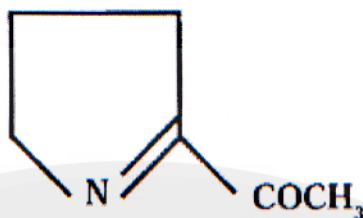
### 2.3 ไขมัน

ข้าวมีปริมาณไขมันประมาณ 3 % ซึ่งไขมันที่พบในเมล็ดข้าวจะอยู่ในลักษณะเป็นทรงกลม (lipid droplets) อยู่ในส่วนด้านนอกของเมล็ดมากกว่าใจกลางเมล็ด ดังนั้นการขัดสีข้าวให้ขาวจึงทำให้ข้าวสารเจ้ามีไขมันอยู่เพียง 0.3–0.5 % สำหรับในส่วนเนื้อเมล็ดไขมันจะอยู่ร่วมกับกลุ่มโปรตีน และในเมล็ดสตาร์ชก็จะมีไขมันชนิดที่มีโครงสร้างร่วมกับสารอื่น โดยไขมันมีความสัมพันธ์กับเม็ดสตาร์ช 3 ลักษณะ คือ ไขมันอยู่ติดกันกับโปรตีน อยู่ที่ผิวของเม็ดสตาร์ชภายนอก หรืออาจอยู่ร่วมกับ โครงสร้างของแอมิโลเพกตินสายนอก เช่น สาย A หรือ B1 ส่วนผิวของเม็ดสตาร์ชลักษณะที่สอง ไขมันอยู่ภายในเม็ดสตาร์ชโดยเกาะเกี่ยวกับสตาร์ช และลักษณะที่สามอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช แต่ไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ช ประเภทของไขมันในข้าวส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) รองลงมาคือ ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ไกลโคลิพิด (glycolipids) และเทอร์พีนอยด์ (terpenoids) ทั้งไขมันภายนอกและภายในเม็ดสตาร์ชเป็นไขมันประเภทสารประกอบมอโนแอซิล (monoacyl) ซึ่งกลุ่มของมอโนแอซิลจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเป็นกรดไขมัน อิ่มตัวมากกว่า (อรอนงค์, 2547)

### 3. ข้าวหอมมะลิ

ข้าวหอมมะลิไทย (Thai hom mali rice) หมายถึง ข้าวกล้องและข้าวขาวที่แปรรูปมาจาก ข้าวเปลือกเจ้าพันธุ์ข้าวหอม ซึ่งข้าวหอมพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวเจ้าคุณภาพดีที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคทั้งคนไทยและคนเอเชีย เมื่อนำมาหุงให้สุกลักษณะเมล็ดข้าวสุกจะมีสีขาว เรียว นุ่ม เนื้อข้าวบาน รสชาติอร่อยและมีกลิ่นหอม โดยกลิ่นหอมของข้าวหอมมะลิมาจากสาร 2-แอซีทิล-1-ไพร์โรลีน (2-acetyl-1-pyrroline) ซึ่งเป็นสารหลักของกลิ่นหอมจากข้าว เป็นสาร หอมชนิดเดียวกันกับสารที่พบในใบเตย สูตรทางเคมีของ 2-แอซีทิล-1-ไพร์โรลีน ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งข้าวหอมที่อยู่ในรูปข้าวกล้องหอมมะลิจะมีสารนี้ประมาณ 0.1–0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ขณะที่ข้าวหอมมะลิมีเพียง 0.04–0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ด้วยความที่มีกลิ่นหอม และรสชาติอร่อยของข้าวหอมมะลิทำให้ขายได้ราคาดีกว่าข้าวพันธุ์อื่น (อรอนงค์, 2547)





ภาพที่ 3 สูตรทางเคมีของ 2-แอซิติล-1-ไพร์รอลีน

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

#### 4. ข้าวกล้อง

ข้าวกล้องเป็นผลผลิตที่ได้จากการกะเทาะเปลือกออก ทำให้เปลือกข้าวที่หุ้มเมล็ดข้าวอยู่หลุดออกไป ซึ่งจะเหลือเป็นเนื้อเมล็ดข้าวในส่วนของจมูกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดยังคงอยู่ ผิวเมล็ดไม่เรียบ และมีสีน้ำตาล เกิดจากสารสีที่อยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดประเภทแอนโทไซยานิน (anthocyanin) ถูกสร้างขึ้นและควบคุมด้วยยีนทำให้เกิดสีต่างกันตามลักษณะประจำพันธุ์ ประเทศไทยแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ขาว แดง น้ำตาล และดำ (ม่วงดำ) ซึ่งข้าวกล้องสีเข้ม (น้ำตาล-ดำ) มีคุณค่าสารอาหารมากกว่าข้าวกล้องสีอ่อน (ขาว-แดง) เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณค่าสารอาหารตามธรรมชาติกับข้าวขาว พบว่าข้าวกล้องมีปริมาณสารอาหารมากกว่าข้าวขาวดังแสดงในตารางที่ 2 เนื่องจากการขัดสีข้าวทำให้เนื้อเยื่อชั้นต่างๆ และจมูกข้าวหลุดออกไป เมล็ดมีสีขาวขึ้นและปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบทางเคมีข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำข้าว และแกลบ มีองค์ประกอบทางเคมี และพลังงานที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3 (อรอนงค์, 2547)

ตารางที่ 2 คุณค่าทางอาหารของข้าวกล้องและข้าวขาว ในข้าวปริมาณ 100 กรัม

สารอาหาร	หน่วย	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว	ข้าวกล้องมากกว่า ( % )
โปรตีน	กรัม	7.60	6.40	19
ไขมัน	กรัม	1.90	0.30	534
ใยหยาบ	กรัม	0.70	0.30	134
คาร์โบไฮเดรต	กรัม	75.9	78.4	-3
วิตามินบี 1	มิลลิกรัม	0.34	0.07	385
วิตามินบี 2	มิลลิกรัม	0.05	0.03	66
ไนอะซิน	มิลลิกรัม	0.62	0.11	463
กรดแพนโทเทนิค	มิลลิกรัม	1.50	0.22	581
วิตามินบี 6	มิลลิกรัม	0.43	0.06	617
กรดฟอลิค	มิลลิกรัม	20.00	3.60	455
วิตามินอี	มิลลิกรัม	0.78	0.09	767
เหล็ก	มิลลิกรัม	1.60	0.80	100
แคลเซียม	มิลลิกรัม	32.00	24.00	33
แมกนีเซียม	มิลลิกรัม	52.00	14.00	271
แมงกานีส	มิลลิกรัม	1.50	0.90	67
สังกะสี	มิลลิกรัม	1.90	1.50	27
โคบอลต์	ไมโครกรัม	4.20	0.90	367
ทองแดง	ไมโครกรัม	360.00	230.00	57
ซีลีเนียม	ไมโครกรัม	38.30	31.80	22
ไอโอดีน	ไมโครกรัม	2.20	2.00	10

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเปลือก ข้าวกล้อง ข้าวสาร รำข้าว และแกลบ

วิตามินและแร่ธาตุ	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	รำข้าว	แกลบ
โปรตีน (กรัม)	5.8-7.7	7.1-8.3	6.3-7.1	11.3-14.9	2.0-2.8
ไขมัน (กรัม)	1.5-2.3	1.6-2.8	0.3-0.5	15.0-19.7	0.3-0.8
เส้นใย (กรัม)	7.2-10.4	0.6-1.0	0.2-0.5	7.0-11.4	34.5-45.9
เถ้า (กรัม)	2.9-5.6	1.0-1.5	0.3-0.8	6.6-9.9	13.2-21.0
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	64-73	73-87	77-89	34-62	22-34
ใยอาหาร (กรัม)	16.4-19.2	2.9-3.9	0.7-2.3	24-29	66-74
พลังงาน (กิโลจูล)	1580	1520-1610	1460-1560	670-1990	1110-1390
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	378	363-385	349-373	399-476	265-332

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

### แป้ง

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ และมีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ เป็นต้น ในปริมาณที่น้อยมาก พบในคลอโรพลาสต์ (ใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ด และหัว เป็นต้น

แป้ง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แป้งฟลาวร์ และแป้งสตาร์ช ซึ่งแป้งทั้ง 2 ประเภทมีส่วนประกอบทางเคมีต่างกัน ส่งผลให้คุณสมบัติแตกต่างกัน (อรอนงค์, 2547)

1. แป้งฟลาวร์ (Flour) หมายถึงผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันสำปะหลัง มันฝรั่งและมันเทศ เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบมาไม่บดหรือตีจนละเอียดมาก ดังนั้นส่วนประกอบของแป้งฟลาวร์จึงประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบดั้งเดิมทั้งหมด คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น

2. แป้งสตาร์ช (Starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตแป้งฟลาวร์แต่ผ่านกรรมวิธีการแยกเอาส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรต โดยมีสารอาหารอื่นปะปนน้อยที่สุด ดังนั้น แป้งสตาร์ช จึงประกอบด้วยสารอาหารที่เป็นคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามคนไทยนิยมเรียก แป้งฟลาวร์ และเรียก แป้งสตาร์ช รวมกันว่า “แป้ง” หรือ “ผลิตภัณฑ์แป้ง”

แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ และมีสมบัติเฉพาะตัวจึงถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงสมบัติของอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวก ซอส ซุปและน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและ คืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง (freeze-thaw) สภาวะกรด การพาสเจอร์ไรส์เซชัน (pasteurization) เป็นต้น นอกจากนี้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว ยังมีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร อื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกาว และ อุตสาหกรรมแป้งตัดแปร เป็นต้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)

## 1. แป้งข้าว

แป้งข้าวได้จากการบดหรือโม่ข้าว มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว ไม่จับกันเป็นก้อน ความชื้นไม่ควรเกิน 13 % เมื่อนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงจะพบเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กประมาณ 2-9 ไมโครเมตร มีรูปทรงเป็นเหลี่ยมกระจายตัวอยู่และบางส่วนจับกันเป็นกลุ่ม เม็ดสตาร์ชจะมีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบด้วยพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสมาเกาะเกี่ยวกันเป็นสายโซ่ยาว เรียกว่าแอมิโลส (amylose) หากน้ำตาลกลูโคสมาเกาะเกี่ยวในรูปที่มีกิ่งก้านที่แตกแขนงไปคล้ายกิ่งไม้จะเรียกพอลิเมอร์นี้ว่าแอมิโลเพกทิน (amylopectin) ทั้งสองพอลิเมอร์นี้ จะเกาะเกี่ยวประสานตัวกันอย่างหนาแน่นด้วยพันธะไฮโดรเจน สัดส่วนของปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินจะแตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง สำหรับแป้งข้าวเหนียวจะมีแอมิโลเพกทินอยู่ปริมาณสูงมากจะมีแอมิโลสเพียงเล็กน้อยประมาณ 1 % แต่ถ้าเป็นแป้งข้าวเจ้าจะมีปริมาณแอมิโลสแตกต่างไปได้หลายระดับขึ้นกับพันธุ์ข้าว ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ พันธุ์ข้าวที่มีอะมิโลสต่ำ ปานกลาง และสูง ปริมาณของแอมิโลสที่ต่างกันนี้จะส่งผลโดยตรงกับสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของแป้งนั้นซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญผู้ใช้แป้งเป็นวัตถุดิบจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมจึงจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีตามต้องการ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)

แป้งข้าวได้จากการโม่เมล็ดข้าวให้ละเอียด มีทั้งชนิดแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตคือ ข้าวหัก หรือปลายข้าว กรรมวิธีการผลิตมี 3 วิธี คือโม่ น้ำ โม่แห้ง และวิธีผสม (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)

### 1.1 วิธีการผลิตแป้งข้าวโดยวิธีโม่ น้ำ

เป็นวิธีการผลิตแป้งข้าวที่แพร่หลายในปัจจุบัน การผลิตเริ่มจากการนำปลายข้าวมาแยกสิ่งสกปรก อาจมีการขัดขาวอีกครั้ง เพื่อขัดผิวนอกของเมล็ดที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ออก จากนั้นจึงนำเมล็ดข้าวมาล้างน้ำ ระหว่างการล้างน้ำจะมีการกวนข้าว เพื่อให้สิ่งเจือปนลอยขึ้นแล้วตักออก การล้างข้าวนี้จะล้างหลายๆ ครั้ง จนน้ำใส หลังจากนั้นจึงทำการแช่ข้าวต่อไปเพื่อให้ข้าวดูดซับน้ำ และนำเมล็ดข้าวเข้าเครื่องโม่พร้อมกวนน้ำโดยการควบคุมอัตราการเติมน้ำในระหว่างการโม่เพื่อให้แป้ง

ละเอียดตามต้องการ น้ำแป้งที่ได้จะถูกนำเข้าสู่ระบบการกรองแยกน้ำออก ในปัจจุบันนี้โรงงานผลิตแป้งนิยมใช้เครื่องกรองระบบ filter plate หลังจากกรองน้ำออก แป้งหมาดจะค้างอยู่ในชั้นของแผ่นกรอง (filter plate) เป็นก้อน (cake) นำแป้งเข้าเครื่องตีเพื่อให้ก้อนแป้งมีขนาดเล็กลงและสะดวกที่ในการอบลดความชื้น ในสมัยก่อนการลดความชื้นมักใช้แสงแดด ซึ่งต้องใช้เวลาานานและแป้งมีกลิ่นเหม็นเปรี้ยวที่เกิดจากปฏิกิริยาการหมัก (fermentation) ในปัจจุบันนี้โรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้อบด้วยลมร้อนอุณหภูมิสูง

### 1.2 การผลิตแป้งข้าวโดยวิธีการโม่แห้ง

เนื่องจากวัตถุดิบเป็นปลายข้าวที่ผลพลอยได้จากการสีข้าว ดังนั้นมักมีสิ่งเจือปนอยู่มาก การแยกสิ่งเจือปน อาจใช้วิธีร้อนเพื่อแยกสิ่งที่มีน้ำหนักเบากว่าข้าวออก แต่เนื่องจากขนาดของปลายข้าวมีขนาดค่อนข้างเล็ก จึงยังคงมีสิ่งเจือปนเหลือค้างอยู่ แป้งข้าวที่ได้จึงมีความสะอาดต่ำ เมล็ดข้าวที่ยังมีความแฉะอยู่มากทำให้ยากลำบากที่จะทำให้แตกละเอียด แป้งข้าวที่ได้จากการโม่แห้งจึงมักเป็นแป้งหยาบ นอกจากนี้ไข่แมลงที่ติดมากับเมล็ดข้าวยังสามารถพัฒนาเป็นหนอน เมื่อเก็บไว้ช่วงระยะเวลาไม่นาน อีกทั้งไขมันที่ยังเหลือในเมล็ดข้าวเกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจน (oxidation reaction) ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนง่าย ในประเทศไทยจึงไม่นิยมใช้แป้งข้าวชนิดโม่แห้ง แต่ในต่างประเทศมีรายงานการใช้แป้งข้าวชนิดนี้ในการทำขนมปัง ขนมเค้ก และขนมอบกรอบ

### 1.3 การผลิตแป้งข้าววิธีผสม

เริ่มกระบวนการโดยการทำมาความสะอาดด้วยการล้างและแช่ข้าวเช่นเดียวกับวิธีการโม่ น้ำ หลังจากนั้น จึงนำข้าวดิบที่ผ่านการแช่มาอบที่ระดับอุณหภูมิสูงเพื่อทำเป็นข้าวสุกและลดความชื้นลงจนมีระดับความชื้นต่ำ (9-10 %) จากนั้นนำข้าวสุกมาตีให้แตกเป็นก้อนเล็กๆ แล้วโม่ให้ละเอียด ร่อนแป้งให้มีความละเอียดตามต้องการ แป้งที่ได้จะมีความละเอียดน้อยกว่าแป้งชนิดโม่ น้ำ เพราะเมล็ดข้าวแห้งมีความแข็งมาก แต่การอบข้าวที่มีความร้อนสูงจะช่วยทำลายเอนไซม์ที่จะย่อยไขมัน (lipase) ให้เป็นกรดไขมันอิสระและเป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนได้ ดังนั้นแป้งที่ได้จึงเป็นแป้งที่มีคุณภาพสูงในปัจจุบันนิยมใช้ในการผลิตแป้งข้าวเหนียวสำหรับทำขนมโก๋

## 2. แป้งข้าวสาลี

แป้งสาลีเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จากการโม่ข้าวสาลี โดยคุณภาพของแป้งข้าวสาลีที่ได้จะขึ้นกับคุณภาพของข้าวสาลี กรรมวิธีการโม่ ระยะเวลาของการสกัด และระดับของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยทั่วไปคุณภาพของแป้งสาลีมี 2 ระดับคือ แป้งพาเทนท์ (patent flour) และแป้งสำหรับการทำขนมอบ (baker's flour) ในแง่ของการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบสามารถแบ่งแป้งสาลีออกได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่ แป้งสาลีชนิดแข็ง (strong flour) ซึ่งมีส่วนผสมของแป้งจากข้าวสาลีที่เก็บเกี่ยวในฤดูใบไม้ผลิเป็นส่วนใหญ่ใช้สำหรับทำขนมปัง แป้งสาลีที่มีความแข็งปานกลาง (medium

flour) เป็นแป้งที่มีส่วนผสมของแป้งจากข้าวสาลีที่เก็บเกี่ยวในฤดูหนาวใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่อาศัยการขึ้นฟูจากสารเคมี แป้งสาลีชนิดอ่อน (soft flour) เป็นแป้งที่มีส่วนผสมของแป้งจากข้าวสาลีพันธุ์อังกฤษ พันธุ์ฝรั่งเศส พันธุ์เยอรมัน และ/หรือ พันธุ์ออสเตรเลียชนิดอ่อนใช้สำหรับทำเค้กปอนด์ แป้งสาลีที่มีการฟอกสีในระดับสูง (spec cake flour) และแป้งสาลีที่มีโปรตีนสูง (high protein flour) (สุธยา, 2555)

ในการผลิตแป้งข้าวสาลี ข้าวสาลีจะผ่านการโม่ (milling) โดยขั้นตอนแรกข้าวสาลีจะถูกกะเทาะเปลือกด้วยลูกกลิ้งหยาบ ทำให้ส่วนที่เป็นแป้งถูกแยกออกจากส่วนของเนื้อเยื่อหุ้มข้าวสาลี (bran) และส่วนของจมูกข้าว (germ) จากนั้นจะผ่านการกะเทาะเปลือกด้วยลูกกลิ้งเรียบหลายๆ ครั้ง เพื่อแยกส่วนที่เป็นจมูกข้าวสาลีที่เหลือรวมถึงส่วนที่เป็นไขมันออก แป้งที่เป็นผลพลอยได้จากขั้นตอนนี้เรียกว่า ซอท (shorts) ซึ่งมักนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์พิเศษรวมถึงอาหารสัตว์ด้วย หลังจากที่กำลังจัดส่วนปนเปื้อนออกแล้ว แป้งที่ได้จะเรียกว่า สเตรทฟลาวัวร์ (straight flour) เมื่อนำสเตรทฟลาวัวร์มาแยกจะได้ แป้งพาเทนท์ (patent flour) ซึ่งเป็นแป้งที่มีคุณภาพสูงที่ได้จากใจกลางของเมล็ดแป้งสาลี และ เคลียร์ฟลาวัวร์ (clear flour) ซึ่งจะมีสีเข้มกว่าแป้งพาเทนท์และสเตรทฟลาวัวร์เนื่องจากเป็นแป้งที่ได้จากเมล็ดข้าวสาลีส่วนที่ติดกับเยื่อหุ้มเมล็ด (Bread Bakers Guild of America, 2012 อ้างใน สุธยา, 2555)

แป้งพาเทนท์ สามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภท ขึ้นอยู่กับคุณภาพและปริมาณของ สเตรทฟลาวัวร์ ดังนี้

1. แป้งพาเทนท์ชนิดแอกตราซอท หรือแฟนซี เป็นแป้งที่ได้จากข้าวสาลีชนิดอ่อน เหมาะสำหรับผลิตแป้งเพื่อทำเค้ก มีส่วนผสมของสเตรทฟลาวัวร์ประมาณ 40-60 %
2. แป้งเฟริสพาเทนท์ มีส่วนผสมของสเตรทฟลาวัวร์ประมาณ 60-70 %
3. แป้งซอทพาเทนท์ เป็นแป้งที่ผลิตจากข้าวสาลีชนิดแข็ง เหมาะสำหรับผลิตแป้งเพื่อทำขนมปังเชิงพาณิชย์ มีส่วนผสมของสเตรทฟลาวัวร์ประมาณ 70-80 %
4. แป้งมิเดียร์พาเทนท์ เหมาะสำหรับการผลิตแป้งเพื่อทำขนมปังที่มีส่วนผสมของสเตรทฟลาวัวร์ประมาณ 80-90 %
5. แป้งลองพาเทนท์ มีส่วนผสมของสเตรทฟลาวัวร์ประมาณ 90-95 %

แป้งข้าวสาลีที่มีจำหน่ายทั่วไปในท้องตลาดสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ชนิด (สุธยา, 2555) คือ

1. แป้งขนมปัง เป็นแป้งที่มีโปรตีนสูง ประมาณ 12-14.5 % เหมาะสำหรับการทำขนมปัง หรือผลิตภัณฑ์ที่หมักด้วยยีสต์ แป้งข้าวสาลีชนิดนี้ไม่มาจากข้าวสาลีชนิดแข็ง ลักษณะของแป้งจะหยาบ มีสีครีม
2. แป้งเค้ก เป็นแป้งที่มีโปรตีนต่ำ ประมาณ 7-8 % เหมาะสำหรับการทำเค้ก และคุกกี้ เนื้อแป้งมีความเนียนละเอียดสูง สีขาวกว่าแป้งขนมปัง ทำให้ขึ้นฟูได้ด้วยสารเคมีเท่านั้น ได้แก่ ผงฟู และโซเดียมไบคาร์บอเนต
3. แป้งอเนกประสงค์ เป็นแป้งที่มีโปรตีนปานกลาง ประมาณ 9-11 % เหมาะสำหรับการทำคุกกี้ เพสตรี ปาท่องโก๋ และบะหมี่ เป็นต้น เป็นแป้งที่ได้จากการนำแป้งข้าวสาลีชนิดแข็งกับชนิดอ่อนมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำให้มีลักษณะร่วมกันระหว่างแป้งขนมปังกับแป้งเค้ก ส่วนประกอบที่ทำให้แป้งชนิดนี้ขึ้นฟู ได้แก่ ยีสต์ และผงฟู

ในประเทศไทยได้มีการนำเข้าเมล็ดข้าวสาลี แล้วนำมาไม่แป้งข้าวสาลีชนิดต่างๆ บรรจุลง ภายใต้ชื่อทางการค้าของบริษัท ตัวอย่างของแป้งที่มีวางขายตามท้องตลาดภายใต้เครื่องหมายการค้า UFM หรือ บริษัทยูไนเต็ดฟลาวมิลล์ จำกัด (บริษัทยูไนเต็ดฟลาวมิลล์ จำกัด, 2521 อ่างใน สุธยา, 2555) ได้แก่

1. แป้งตราหงส์ขาวหรือแป้งตราห่าน เป็นแป้งที่ใช้สำหรับทำขนมปังทุกชนิด เช่น ขนมปัง แชนด์วิช ขนมปังแถว ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังหวาน เดนนิชเพสตรี พัพเพสตรี โดนัทยีสต์ บะหมี่ไข่ และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ต้องทำจากแป้งข้าวสาลี แป้งข้าวสาลีชนิดนี้ไม่มาจากข้าวสาลีชนิดแข็งที่มีคุณภาพดีที่สุดจากประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนสูงมาก มีความเหนียวเป็นพิเศษ มีการดูดซับน้ำสูง และมีความคงทนต่อการหมักสูง
2. แป้งตราวัว เป็นแป้งอเนกประสงค์ที่ไม่มาจากข้าวสาลีชนิดต่างๆ มีความเหนียวและการดูดซับน้ำปานกลาง เหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์พวกบิสกิต คุกกี้ แครกเกอร์ เพสตรี พาย โดนัท เค้ก เค้กผลไม้ วาฟเฟิล แพนเค้ก ทาร์ต ขนมไข่ ขนมเปียะ ปาท่องโก๋ บะหมี่ไข่ ฯลฯ
3. แป้งตราดอกบัวแดง หรือแป้งตราบัวแดง เป็นแป้งที่ไม่มาจากข้าวสาลีที่มีคุณภาพสูงด้วยกรรมวิธีพิเศษ เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำและมีความเหนียวน้อย มักใช้แป้งชนิดนี้ในการทำซาลาเปา สปันจ์เค้ก บิสกิต คุกกี้ ปุยฝ้าย ขนมไข่ เค้กเนย แยมโรล ฯลฯ
4. แป้งตราพัดโบก เป็นแป้งที่ใช้สำหรับทำเค้กที่มีคุณภาพดีโดยเฉพาะในส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำตาลสูง เช่น เค้กเนย หรือในเค้กที่ใช้ไข่ในปริมาณมาก เช่น ชิฟฟอนเค้ก สปันจ์เค้ก ฯลฯ

เป็นแป้งเค้กชนิดพิเศษที่ไม่จากข้าวสาลีที่มีคุณภาพสูงด้วยกรรมวิธีพิเศษ เป็นแป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำและมีความเหนียวน้อย

### สมบัติของแป้ง

#### 1. การดูดซับและการละลายน้ำ (water absorption and solubility)

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเม็ดแป้งจะดูดซับน้ำที่เติมลงไปจนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับน้ำที่เติมและความชื้นในบรรยากาศ ซึ่งปริมาณที่ถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยส่วนใหญ่แป้งเมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้นประมาณ 10 - 17 % ซึ่งแป้งดิบจะไม่สามารถจะละลายได้ในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินไนซ์ เนื่องจากมีพันธะของไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่ออยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว ทำให้เกิดการละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น สมบัติของ birefringence (การบิดระนาบแสงโพลาไรซ์) จะหมดไป ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลาย คือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะร่างแหภายในเม็ดแป้ง สิ่งเจือปนภายในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้งและการตัดแปรแป้งทางเคมี รูปแบบในการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)

#### 2. ความหนืด (viscosity)

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวของแป้ง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง และการตัดแปรแป้งวิธีต่างๆ ขนาดของเม็ดแป้ง ปริมาณแอมิโลส โดยเมื่อเม็ดแป้งมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้กำลังการพองตัวสูงและให้ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) สูง ปริมาณแอมิโลสมีผลต่อการเกิดรีโทรเกรดชัน (retrogradation) หากแป้งมีปริมาณแอมิโลสสูงจะส่งผลให้ค่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) สูง นอกจากนี้ปัจจัยภายนอกยังส่งผลต่อความหนืดของแป้ง เช่น การให้ความร้อนสูงหรือใช้แรงกลมาก จะส่งผลให้เม็ดแป้งแตกและค่าความหนืดลดลง (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)

#### 3. การเกิดเจลาตินไนซ์เซชัน (gelatinization)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมาก ซึ่งยึดเกาะด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห (micelles)



ส่งผลให้เม็ดแป้งละลายน้ำได้ยากโดยขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้น้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง จะทำให้พันธะไฮโดรเจนคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วเกิดการพองตัว น้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและมีความใสขึ้นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งจะเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืด เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดเจลลาคีโนซิส โดยอุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลลาคีโนซิส และเมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืดจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะมีการเกิดเจลลาคีโนซิสต่างกัน (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)

#### 4. การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาคีโนซิสและยังคงให้ความร้อนต่อ เม็ดแป้งจะพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสมดุลที่เม็ดแป้งพองตัวได้เต็มที่และจะแตกออกโมเลกุลของแอมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายทำให้ความหนืดลดลง และเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงโมเลกุลของแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติซึ่งโครงสร้างใหม่สามารถอุ้มน้ำและไม่ดูดน้ำอีก ทำให้มีความหนืดที่คงตัวมากขึ้น และเกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว เมื่ออุณหภูมิลดลงการจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นขึ้นโดยโมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจากเจลเรียกว่า การเกิด syneresis ซึ่งปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะส่งผลให้เจลมีลักษณะที่ขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งสัมพันธ์กับสมบัติความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็ง (freeze-thaw stability) ของแป้ง โดยแป้งที่มีการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีจะมีค่าความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งต่ำทำให้มีค่า syneresis สูง ในขณะที่แป้งที่เกิดรีโทรเกรเดชันต่ำจะมีค่าความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งสูง มีค่า syneresis ต่ำ ดังนั้นการวัดความคงตัวต่อการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็งจึงสามารถใช้ประเมินการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งได้ ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของน้ำแป้ง ค่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น ขนาดและปริมาณของแอมิโลสและแอมิโลเพกติน เป็นต้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)

## แป้งดัดแปร

แป้งดัดแปร (modified starch) เป็นการนำเม็ดแป้งหรือสตาร์ชที่ได้จากการนำแป้งดิบ ซึ่งมีสมบัติเฉพาะตัว ซึ่งบางครั้งไม่เป็นไปตามความต้องการในการใช้งาน จึงมีการนำแป้งมาผ่านกรรมวิธีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เพื่อให้มีสมบัติเปลี่ยนไปตามที่ต้องการ เช่น ทำให้เนื้อสัมผัสดีขึ้น ความหนืดลดลง คงตัวต่อสภาวะในการผลิตได้ดี และมีความคงตัวจากการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง เป็นต้น

### 1. ประเภทของแป้งดัดแปร

กล้ายรงค์ และ เกื้อกุล (2550) ได้แบ่งกลุ่มของแป้งดัดแปรไว้ 3 กลุ่มดังนี้

#### 1.1 การดัดแปรแป้งทางเคมี (chemical modification) แบ่งออกเป็น

##### 1.1.1 การเกิดอนุพันธ์ (derivatization)

1) การแทนที่สารในโมเลกุลเดี่ยวของแป้ง (monostarch substitution) ทั้งปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชัน เช่น แป้งแอซีเทต หรือปฏิกิริยาอีเทอร์ริฟิเคชัน เช่น แป้งไฮดรอกซีเอทิล

2) การแทนที่โมเลกุลที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ เช่น แป้งครอสลิงค์

1.1.2 การลดขนาดโมเลกุลแป้งด้วยกรด (acid thinning) เป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับกรดเกลือหรือกรดกำมะถันเจือจาง โดยกรดจะตัดโมเลกุลของแป้งให้มีขนาดเล็กลง เช่น แป้งย่อยด้วยกรด เป็นต้น

1.1.3 เดกซ์ทรีไนเซชัน (dextrinization) เป็นการลดขนาดหรือเปลี่ยนการจับเกาะโดยใช้ความร้อน หรือความร้อนร่วมกับกรด เช่น เดกซ์ทรีน เป็นต้น

1.1.4 ออกซิเดชัน (oxidation) ทำให้เกิดการฟอกสีและลดขนาดของโมเลกุลโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น แป้งออกซิไดซ์ เป็นต้น

1.1.5 การย่อยสลาย (hydrolysis) โดยใช้น้ำย่อยหรือกรด เพื่อย่อยสลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็ก เช่น มอลโตเดกซ์ทรีน เป็นต้น

#### 1.2 การดัดแปรทางกายภาพ (physical modification)

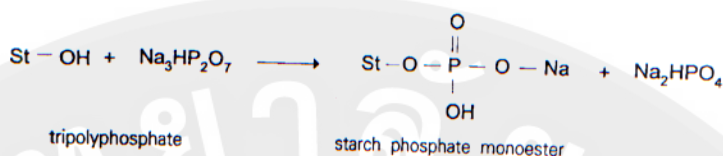
1.2.1 เจลาติไนซ์เซชัน (gelatinization) เป็นการให้ความร้อนแป้งจนผ่านขั้นตอนของเจลาติไนซ์เซชันแล้วทำให้แห้งทันที เช่น แป้งพรีเจล เป็นต้น

1.2.2 แป้งละลายน้ำเย็น (granular-cold-water-soluble-starch) เป็นการแปรรูปจนได้แป้งที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็นโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการเกิดเจลาติไนซ์เซชัน

1.2.3 การลดขนาดเม็ดแป้งโดยทางกล การทำให้เม็ดแป้งแตกโดยทางกล จะได้เม็ดแป้งขนาดเล็กกว่าปกติ



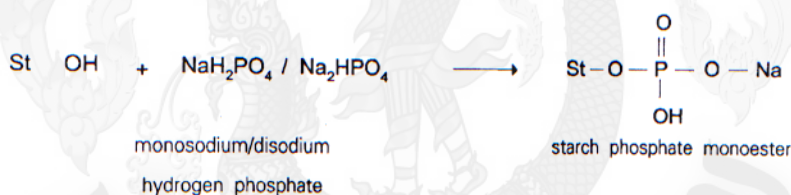
ซึ่งผลพลอยได้จากการสลายตัวของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตสามารถทำปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันกับแป้ง ได้สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับไตรโพลีฟอสเฟต ได้สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเมอร์

ที่มา: Solarek (1986)

นอกจากนี้โมโนโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต และไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟตสามารถทำปฏิกิริยาฟอสฟอริเลชันกับแป้งได้สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์ ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ปฏิกิริยาการเกิดสตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์

ที่มา: Solarek (1986)

สตาร์ชฟอสเฟตโมโนเอสเทอร์มีความเสถียรและคงทนต่อการคินตัวของแป้งได้ดี มีความหนืดสูงขึ้น ไส้มากขึ้น อุณหภูมิในการเกิดเจลลาที่ไนซ์ต่ำลง ทำให้แป้งสามารถละลายในน้ำเย็นได้ มีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็ง (Rutenberg and Solarek, 1986; Solarek, 1986; Waly et al., 1994)

### 3. แป้งครอสลิงค์ (cross-linked starch)

แป้งครอสลิงค์หรือที่เรียกว่า crossbonded starch หรือ inhibit starch เป็นแป้งดัดแปรทางเคมี โดยจะช่วยให้เสริมพันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้งด้วยพันธะเคมี เป็นแป้งที่ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง

แบ่งกับสารเคมีที่มีหมู่ฟังก์ชันมากกว่า 1 หมู่ (multifunction reagent) เรียกสารเคมีนั้นว่า cross linking reagent หรือ inhibiting reagent ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันหรืออีเทอร์ริฟิเคชัน ขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีที่ใช้ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแบ่งได้มากกว่า 1 หมู่ ทำให้เกิดพันธะเชื่อมข้าม (crosslink หรือ bridge) ระหว่างโมเลกุลของแบ่งในสภาพแขวนลอย พันธะโควาเลนต์จะช่วยเสริมให้พันธะไฮโดรเจนที่ยึดโครงสร้างของเม็ดแบ่งให้มีความแข็งแรงมากขึ้น ช่วยลดการพองตัวของเม็ดแบ่ง เพิ่มความแข็งแรงให้แก่เม็ดแบ่งโดยเพิ่มความต้านทานต่อสภาวะ ความเป็นกรด ความร้อน และสภาพที่มีแรงเฉือน เพิ่มความหนืดของแบ่งเปียกขณะร้อนทำให้แบ่งเปียกมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง เพิ่มความเหนียวให้แก่เม็ดแบ่งที่พองตัว ทำให้เม็ดแบ่งมีลักษณะเป็นหนึ่งเดียวกันไม่แตกออก มีสมบัติเป็นสารเพิ่มความข้นที่มีความหนืดสูง ช่วยปรับปรุงสมบัติของแบ่ง

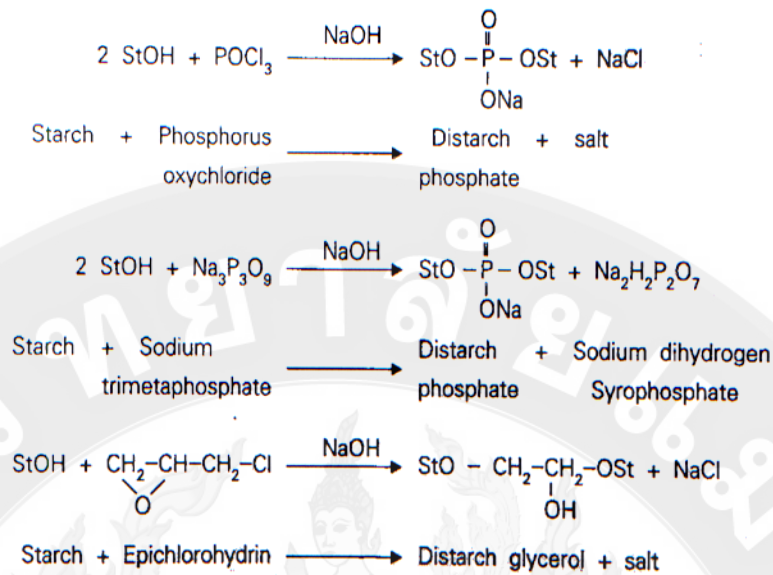
สารที่นิยมใช้ในการดัดแปร ได้แก่ โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (sodium trimetaphosphate; STMP) โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate; STPP) อีพิคลอโรไฮดริน (epichlorohydrin; EPI) และฟอสฟอรัสออกซิคลอไรด์ (phosphorus oxychloride; POCl<sub>3</sub>) ซึ่งสาร POCl<sub>3</sub> มีความเป็นพิษเมื่อสัมผัสกับอากาศชื้น (Woo and seib, 1997)

ในอุตสาหกรรมอาหารมีเกณฑ์กำหนดลักษณะขี้บ่งของแบ่งดัดแปรประเภทไดสตาร์ช ฟอสเฟตคือ ปริมาณฟอสเฟต (คำนวณเป็นฟอสฟอรัส) ไม่เกิน 0.14 % สำหรับแบ่งดัดแปรที่มาจาก แบ่งมันฝรั่งหรือจากแบ่งข้าวสาลี และไม่เกิน 0.04 % สำหรับแบ่งจากพืชชนิดอื่นๆ (สำนักงาน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2535)

### 3.1 การผลิตแบ่งครอสลิงค์

สภาวะที่ใช้ผลิตแบ่งครอสลิงค์จะแตกต่างกันตามสารเคมีที่ใช้ โดยทั่วไปจะทำปฏิกิริยาที่ อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทีไนซ์ คือ ช่วงที่อุณหภูมิห้องจนถึง 50 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะเป็น กลางค่อนข้างเบส แต่ต่ำกว่าระดับที่ทำให้เม็ดแบ่งพองตัว จากนั้นวัดระดับความหนืด หรือทดสอบ rheology เพื่อวัดระดับของการเกิดครอสลิงค์ เมื่อถึงระดับครอสลิงค์ที่ต้องการให้หยุดปฏิกิริยาโดย ปรับ pH ให้เป็นกลางด้วยกรดเจือจาง แล้วกรองเกลือหรือสารเคมีที่ไม่ทำปฏิกิริยาและสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากนั้นล้างและอบแห้ง

แบ่งครอสลิงค์มีหลายชนิด เช่น ไดสตาร์ชอะดิเปต (distarch adipate) ไดสตาร์ชฟอสเฟต (distarch phosphate) ไดสตาร์ชกลีเซอรอล (distarch glycerol) แต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่ กับสารเคมีที่ใช้ในการผลิต อัตราการเกิดปฏิกิริยา และพันธะที่เกิดครอสลิงค์ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)



ภาพที่ 7 การทำปฏิกิริยาของแป้งกับสารโครสลิงค์

ที่มา: Rutenberg and Solarek (1986)

### 3.2 สมบัติและการนำไปใช้ของแป้งครอสลิงค์

ลักษณะโครงสร้างภายนอกของเม็ดแป้งที่ผ่านการครอสลิงค์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในโดยมีพันธะเคมีที่เกิดขึ้น เสริมพันธะไฮโดรเจนทำให้เม็ดแป้งแข็งแรงและเสถียรมากขึ้น ไม่แตกง่าย มีการละลายลดลง มีอุณหภูมิในการเกิดเจลลาตินซ์สูงขึ้น แป้งเปียกมีความต้านทานต่อแรงเฉือนและความเป็นกรดมากขึ้น ลักษณะเนื้อครีมคล้ายขี้ผึ้ง ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดชั้นในอาหาร เหมาะสำหรับใช้ผลิตอาหารที่มีสภาพเป็นกรด ใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน และมีแรงเฉือนจากการกวนของเครื่องมือหรือ ส่งผ่านตามท่อ หรือใช้ปั๊ม รวมทั้งชะลอการเกิดเจลลาตินเซชัน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความข้นหนืดตามที่ต้องการเมื่อเย็นตัวลง ฟิล์มที่ได้จากแป้งครอสลิงค์มีสมบัติที่ดีมีความหนืดคงตัวเหมาะสม สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ในอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมของแป้งครอสลิงค์ที่ไม่สูญเสียความหนืดที่ pH ต่ำ นำมาใช้เป็นสารให้ความข้นสำหรับอาหารที่มีความเป็นกรดสูง เช่น ซอส น้ำสลัด และอุตสาหกรรมแป้งที่อัตราการพองตัว และการเกิดเจลลาตินเซชันลดลงที่ อุณหภูมิสูง นำมาใช้กับอาหารกระป๋องที่ต้องการความร้อนสูง (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2550)

## ไฮโดรคอลลอยด์

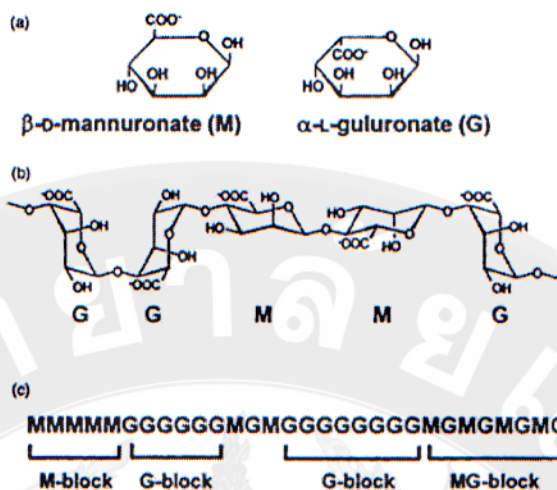
ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) คือ โพลีเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์ รวมถึงโพลีเมอร์ดัดแปรจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ โดยทั่วไปจะเป็นโมเลกุลที่มี น้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซี (-OH) และอาจเป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์อื่นๆ โพลีเมอร์ เหล่านี้จะแสดงหน้าที่สำคัญในอาหาร เช่น เป็นสารให้ความหนืด ทำให้เกิดเจล เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) และเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว เป็นต้น (นิธิยา, 2553)

ไฮโดรคอลลอยด์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามแหล่งที่มา ได้แก่

1. ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มาจากธรรมชาติ ซึ่งได้จากส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ เมล็ด ยาง เช่น โลตัสปิ่นกัม กัมอาราบิก ราก ลำต้น เช่น แป้ง หรือได้จากสาหร่ายทะเล เช่น คาร์ราจีแนน หรือได้จาก สัตว์ เช่น ไคติน หรือจากกระบวนการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แชนแทนกัม
2. ไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ อนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส
3. ไฮโดรคอลลอยด์สังเคราะห์ เช่น โพลีเอธิลีนออกไซด์โพลีเมอร์

### 1. แอลจีเนต (alginate, AE)

แอลจีเนตพบที่บริเวณผนังเซลล์และบริเวณช่องว่างของสาหร่ายสีน้ำตาล (brown algae, phaeophyceae) มีโมเลกุลขนาดใหญ่ สายโซ่ยาว ประกอบด้วย กรด  $\beta$ -D-แมนนูโรนิค (M) และกรด  $\alpha$ -L-กลูโรนิค (G) ซึ่งอยู่ในสายโซ่เดียวกัน แต่อาจอยู่ในรูปแบบของบล็อก 3 แบบ คือ บล็อกที่ ประกอบด้วย M เท่านั้น ประกอบด้วย G เท่านั้น และบล็อกที่สลับกันระหว่าง M และ G แอลจีเนต เป็นไฮโดรคอลลอยด์มีความสำคัญอย่างมากต่ออุตสาหกรรมอาหารมากชนิดหนึ่ง โดยการประยุกต์ใช้ แอลจีเนตในเชิงการค้าขึ้นอยู่กับปฏิกริยาระหว่างโซเดียมแอลจีเนตกับแคลเซียมคลอไรด์ซึ่งนิยมใช้แคลเซียม ไออออน แอลจีเนตสามารถละลายได้ในน้ำเย็นและให้เจลที่สามารถรักษารูปร่างเดิมและลักษณะต่างๆ ไม่ให้เปลี่ยนแปลงในช่วงกระบวนการให้ความร้อน นอกจากนี้ เจลของแอลจีเนตมีเสถียรภาพต่อ กระบวนการแช่แข็ง-ละลายน้ำแข็ง ซึ่งเป็นสมบัติที่จำเป็นอย่างยิ่งในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด ใช้ เป็นสารเพิ่มความหนืด สารเพิ่มความคงตัว สารที่ทำให้อิมัลชันคงตัว สารทำให้เกิดเจล และสารยับยั้ง การเกิด syneresis



ภาพที่ 8 โครงสร้างของอัลจิเนต (Alginate) ชนิดต่างๆ

ที่มา: Phillips และ Williams (2000)

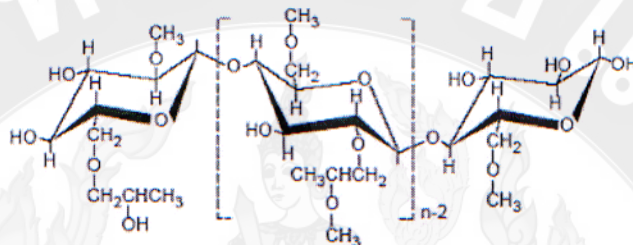
กรดแอลจินิกไม่ละลายในน้ำเย็นและละลายได้เพียงเล็กน้อยในน้ำร้อน แต่เกลือโซเดียม โพแทสเซียม และแอมโมเนียม รวมทั้งโพพัสลินไกลคอล เอสเทอร์ของแอลจินิกสามารถละลายได้ในน้ำร้อนและน้ำเย็น สารละลายแอลจินิตจะมีความหนืดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้น อุณหภูมิ น้ำหนักโมเลกุล และ pH ในอุตสาหกรรมอาหารมีการนำแอลจินิตมาประยุกต์ใช้เช่น ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สารทำให้เกิดเจล โดยแอลจินิตที่ใช้ต้องไม่บดบังกลิ่นรสของอาหาร แอลจินิตที่ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่ โซเดียมแอลจินิต ซึ่งถูกเปลี่ยนเป็นเกลือแคลเซียมที่ไม่ละลายน้ำ เพื่อการเกิดเจลหรือฟิล์ม ส่วนโพพัสลินไกลคอลแอลจินิต นิยมใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในอาหารที่มี pH ต่ำ สารละลายแอลจินิตสามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิห้อง เจลแอลจินิตมีความคงตัวเมื่อมีเกลือของกรดแอลจินิก โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้  $\text{Ca}^{2+}$  หรือ polyvalent metal cation ช่วยในการเกิดเจลการใช้สารซีเคสเตรนธ์ เช่น ฟอสเฟต หรือ โพลีฟอสเฟต ช่วยควบคุมการเกิดเจลได้ ทำให้เจลที่ได้มีลักษณะโปร่งใส ไม่ละลายที่อุณหภูมิห้อง (นิธิยา, 2553)

## 2. ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส (hydroxypropyl methylcellulose, HPMC)

เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์กึ่งสังเคราะห์ ที่เป็นอนุพันธ์อีเทอร์ของเซลลูโลสที่มีหมู่เอเทอร์ 2 ชนิด ในสายโมเลกุล คือ  $-\text{OCH}_2\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$  และ  $-\text{OCH}_3$  ที่มีสมบัติพิเศษแตกต่างจากไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น โดยจะเกิดเจลได้เมื่อได้รับความร้อนและจะกลับเป็นของเหลวที่มีความข้นหนืดเมื่อ



ทิ้งให้เย็นตัวลง ผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ใช้ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลสจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อของส่วนผสมให้มีความชื้นเหนียวและขึ้นฟูขณะตีเพื่อให้ฟองอากาศแทรกตัวเข้าไป ฟิล์มของของเหลวที่ล้อมรอบฟองอากาศจะมีความแข็งแรง คงตัวดี และช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นระหว่างการอบ อีกทั้งยังช่วยป้องกันการระเหยของน้ำจากเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์หลังการอบเรียบร้อยแล้ว (นิตยา, 2553) ช่วยลดความแข็งของขอบขนมปัง และยับยั้งการเกิดสเตลลิงในระหว่างการแช่เยือกแข็ง (Ba'rcenasa et al., 2004)



ภาพที่ 9 โครงสร้างของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

ที่มา: Stephen (1995)

การใช้สารไฮโรคอลลอยดีในผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง เป็นการช่วยเพิ่มการอุ้มน้ำ และลดการเกิด syneresis และเพิ่มความทนต่อการแช่เยือกแข็งให้กับผลิตภัณฑ์ จากงานวิจัยของ Sae-kang and Suphantharika (2006) ได้ศึกษาอิทธิพลของ pH และแซนแทนกัมต่อความสามารถทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของเจลสตาร์ชแป้งมันสำปะหลัง ค่า pH ที่ 3 ระดับ คือ 3 7 และ 9 ความเข้มข้นของแซนแทนกัม 2 ระดับ คือ 6 และ 24 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของแป้ง โดยแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง 5 รอบ พบว่า แซนแทนกัมสามารถลดการเกิด syneresis ได้มีประสิทธิภาพที่ pH 7 และสามารถลดได้เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Muadklay and Charoenrein (2008) ศึกษาผลของแซนแทนกัม และอัตราการใช้แช่เยือกแข็งต่อความคงตัวของเจลแป้งมันสำปะหลังที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-การละลายซ้ำจำนวน 5 รอบ (freeze-thaw cycle) โดยผสมแป้งมันสำปะหลังกับแซนแทนกัมที่ความเข้มข้น 0.25 และ 0.50 % แล้วนำไปแช่เยือกแข็ง 3 ระดับ คือ แช่เยือกแข็งแบบช้า แช่เยือกแข็งแบบกลาง และแช่เยือกแข็งแบบเร็ว จากนั้นทำการละลายวัดค่า syneresis ทูกรอบที่ทำการละลาย (freeze-thaw) พบว่า การแช่เยือกแข็งแบบช้ามีค่า syneresis มากที่สุด (ในรอบที่ 1) การเติมแซนแทนกัมจะช่วยลดค่า syneresis โดยการเติมแซนแทนกัมในปริมาณที่เพิ่มขึ้นสามารถลดการเกิด syneresis ได้ดีกว่า และการแช่เยือกแข็งแบบเร็วร่วมกับการเติมแซนแทนกัมสามารถลดการเกิด syneresis ได้ดีที่สุด

Sharadanant and Khan (2003a,b) พบว่า การเติมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในผลิตภัณฑ์ โดแช่เยือกแข็งจะช่วยปรับปรุงปริมาณของขนมปังทั้งลักษณะภายนอกและภายในของขนมปัง รวมถึง ค่าความแข็งของขนมปัง (firmness) เนื่องจากคาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสมีสมบัติการชอบน้ำ จึงทำให้ สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากและผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบที่มีความชื้นสูงจึงสามารถการยับยั้งการรีโทร- เกรเดชั่นของสตาร์ช และการแข็งของขนมปัง อีกทั้งยังพบว่าการเติมกัม อาทิ คาร์บอกซีเมทิล เซลลูโลส ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของโดแช่เยือกแข็งโดยการจับกับน้ำที่สามารถเยือกแข็งได้ และ ลดการตกผลึกของน้ำแข็ง รวมทั้งการตกผลึกใหม่ นอกจากนี้ยังลดความเสียหายของการคืนรูปจาก เยือกแข็ง (freeze-thaw damage) ทำให้ทนต่อการยืด

### การแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็ง เป็นการถนอมอาหารโดยวิธีการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าจุดเยือก แข็ง โดยน้ำในอาหารจะเปลี่ยนสภาพไปเป็นผลึกน้ำแข็ง การตรึงน้ำกับน้ำแข็ง และผลจากการเข้มข้น ขึ้นของตัวละลายในน้ำที่ยังไม่แข็งตัวจะทำให้ค่าวอเตอร์แอกทิวิตีของอาหารลดลง จึงถือเป็น การถนอมรักษาอาหารโดยการลดอุณหภูมิ ลดค่าวอเตอร์แอกทิวิตี และอาจใช้กรรมวิธีเบื้องต้น คือ การลวกประกอบด้วย ถ้าใช้วิธีแช่เยือกแข็ง และการเก็บรักษาที่ถูกต้องเหมาะสม อาหารจะเกิด การเปลี่ยนแปลงด้านโภชนาการ และประสาทสัมผัสน้อยมาก (วิไล, 2543; คณาจารย์ภาควิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2549)

วัตถุประสงค์ของการแช่เยือกแข็งอาหาร เพื่อการถนอมอาหารโดยจะยับยั้งการเจริญเติบโต ของจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย ยีสต์ ราและพยาธิ เป็นต้น ซึ่งที่เป็นสาเหตุที่ทำให้อาหารเกิดการเสื่อม คุณภาพลง รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคที่เป็นอันตรายในอาหาร อีกทั้งยับยั้งปฏิกิริยาชีวเคมีของ อาหาร เช่น การหายใจของผักและผลไม้ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์และปฏิกิริยาทางเคมีที่เป็น สาเหตุของการเสื่อมคุณภาพ เช่น lipid oxidation ที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมคุณภาพในอาหาร

## 1. การเปลี่ยนแปลงในอาหาร

การแช่เยือกแข็งส่งผลต่อคุณภาพของอาหาร คือ การความเสียหายของเซลล์จากการเติบโตของผลึกน้ำแข็ง ส่งผลต่อสี กลิ่น รส หรือคุณค่าทางโภชนาการน้อยมาก ซึ่งการแช่เยือกแข็งจะทำให้ความคงตัวของอิมัลชันเพิ่มขึ้น ซึ่งแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำจะส่งผลให้เกิดรีโทรเกรเดชันและกลิ่นเหม็นอับในผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบซ้ำรวมทั้งระหว่างการเก็บรักษา

การแช่แข็งส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่มีแอมิโลสและแอมิโลเพคตินเป็นส่วนประกอบ โดยเมื่อถูกทำให้เย็นโมเลกุลของแอมิโลสจะรวมตัวกันแน่นและก่อตัวเป็นผลึก ในขณะที่โมเลกุลของแอมิโลเพคตินจะเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ ขัดขวางการรวมตัวกันของแอมิโลสเนื่องจากมีโครงสร้างเป็นกึ่งก้อน ทำให้ผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า รีโทรเกรเดชัน ซึ่งจะเกิดหลังจากการที่สตาร์ชเกิดเป็นเจล โดยการเกิดรีโทรเกรเดชันจะทำให้เจลมีความหนาแน่นขึ้น ผลิตภัณฑ์มีลักษณะแข็งและกระด้าง (Mua et al., 1998)

## 2. บรรจุภัณฑ์สำหรับอาหารแช่เย็นและแช่เยือกแข็ง

อาหารแช่เย็นและแช่เยือกแข็งควรบรรจุในผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสม เนื่องจากอุณหภูมิต่ำทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ลดต่ำลง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียน้ำ เกิดการเหี่ยวและแห้งในระหว่างการเก็บรักษา และในสภาพที่มีออกซิเจนผลิตภัณฑ์จะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการหายใจและการออกซิเดชัน ภาชนะบรรจุจึงช่วยลดการเหี่ยวและแห้งของผลิตภัณฑ์ได้ อีกทั้งยังช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ ซึ่งภาชนะบรรจุจะบ่งบอกถึงชนิดของผลิตภัณฑ์ รูปลักษณะของผลิตภัณฑ์ แหล่งผลิตและวันที่ทำการผลิต ซึ่งในการเลือกวัสดุที่ใช้ในการผลิตต้องคำนึงถึง ความเหมาะสมต่อการใช้เครื่องมือและเครื่องจักร ความเหมาะสมต่อการพิมพ์ ความเหมาะสมต่อการเก็บรักษาและขนส่ง ความสามารถในการทนต่อความร้อนและความเย็น ความสามารถในการทนต่ออาหาร ผลกระทบต่อธรรมชาติและความปลอดภัยต่อผู้บริโภค (สมโภช, 2547)

พลาสติกเป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้ในการบรรจุอาหาร เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำและอากาศได้ดี สามารถห่อและปิดผนึกได้ บางชนิดมีความแข็งแรงสูง บางชนิดสามารถทนความร้อนได้ดี ซึ่งพลาสติกเป็นผลผลิตที่ได้จากการนำโมโนเมอร์และโพลีเมอร์มารวมกัน และนำมาผลิตเป็นถุงพลาสติก ซึ่งอาจเป็นลักษณะแผ่นฟิล์มบางๆ ถาด ขวดหรือโพน ทั้งนี้พลาสติกจึงมีหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่ต่างกันขึ้นอยู่กับสารที่ใช้การผลิต การผสมกันของพลาสติกแต่ละประเภทสามารถเปลี่ยนแปลงให้เกิดคุณสมบัติของพลาสติกใหม่ ดังนั้นควรเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ พลาสติกที่นิยมใช้ (สมโภช, 2547) ได้แก่

1. โพลีเอทิลีน (polyethylene, PE) เป็นบรรจุภัณฑ์ที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากมีราคาถูกผลิตจากโมโนเมอร์เอทิลีน ทำปฏิกิริยาในสภาวะที่เหมาะสม รวมทั้งเติมแต่งด้วยสารเคมีบางชนิดหรือตัวเดียวเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) นิยมใช้ทำถุงเย็น เป็นพลาสติกที่เหนียว โปร่งแสง ทนต่อแรงดึงได้ดี ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี ทนต่ออุณหภูมิได้ระหว่าง -60-100 องศาเซลเซียส โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high density polyethylene, HDPE) มีความแข็งแรงกว่า LDPE ป้องกันการซึมผ่านของก๊าซ ไอน้ำได้ดีกว่า ทนต่ออุณหภูมิสูงและปิดผนึกยาก และ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (linear low density polyethylene, LLDPE) เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ยาว มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับ LDPE แต่ปรับปรุงการจัดเรียงตัวให้มีกิ่งโซ่สั้น จึงสามารถทนต่อสารเคมี มีความแข็งแรงและมันกว่า LDPE
2. โพลีโพรพิลีน (Polypropylene, PP) นิยมเรียกว่าถุงร้อน พลาสติกชนิดนี้ มีความใส ป้องกันความชื้นได้ดี ป้องกันการซึมของอากาศได้พอสมควร แต่การปิดผนึกโดยใช้ความร้อนไม่ค่อยดี เนื่องจากอุณหภูมิช่วงการหลอมเหลวค่อนข้างสั้น ทนต่ออุณหภูมิได้ระหว่าง -20-150 องศาเซลเซียส

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาของ Koo et al. (2010) ดัดแปรแป้งข้าวโพดโดยวิธีโครสลิงค์ โดยสารโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟตในระดับที่ต่างกันคือ 5 10 และ 20% ต่อน้ำหนักแป้ง พบว่า แป้งที่ผ่านการดัดแปร มีค่าความสามารถในการละลาย และความสามารถในการพองตัวลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ วิลาสินี (2553) ได้ศึกษาการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีโครสลิงค์โดยสารโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟตในปริมาณที่ต่างกันคือ 0.5 1.0 และ 1.5% ต่อน้ำหนักแป้ง หรือสารโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟตในปริมาณที่ต่างกันคือ 1.0 2.0 และ 4.0 % ต่อน้ำหนักแป้ง พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต หรือสารโซเดียมโพลิฟอสเฟตเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสและระดับการแทนที่หมู่ฟังก์ชันก็เพิ่มขึ้น โดยแป้งที่ผ่านการดัดแปรโดยสารโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟตจะการพองตัวลดลง ขณะที่แป้งที่ผ่านการดัดแปรโดยโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟตมีการพองตัวไม่แตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร และเมื่อวิเคราะห์ค่าความหนืดโดยเครื่อง RVA พบว่าแป้งที่ผ่านการดัดแปรโดยสารโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟตจะมีค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายลดลง แต่ที่แป้งที่ผ่านการดัดแปรโดยโซเดียมไตรโพลิฟอสเฟตมีค่าความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดสุดท้ายเพิ่มขึ้น

อิสราภรณ์ และคณะ (2554) ได้ศึกษาการดัดแปรแป้งพุทธรักษาด้วยวิธีโครสลิงค์โดยใช้โซเดียมไตรเมทาฟอสเฟตที่ระดับความเข้มข้น 0.005 0.01 0.05 0.1 0.2 และ 0.5 % โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักแป้งแห้ง พบว่าแป้งพุทธรักษาที่ดัดแปรที่เติมโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต 0.005 - 0.05 % มีค่า

ความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นตามลำดับและมีค่าสูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟตมากขึ้นเป็น 0.1 - 0.5 % พบว่าแป้งมีความหนืดสูงสุดลดลง แป้งตัดแปรมีแนวโน้มที่จะมีค่า setback ลดลง แต่มีความคงตัวต่อสภาวะที่มีแรงเฉือนสูงมากกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร แป้งพุทธรักษาตัดแปรที่เติมโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต 0.01 - 0.05 % มีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและการคืนรูปจากเยือกแข็งสูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร

Liu et al. (2014) ได้ศึกษาการตัดแปรสตาร์ชจากแป้งข้าวโพดโดยวิธีโครสลิงค์ ออกซิไดซ์ และโครสลิงค์ร่วมกับการออกซิไดซ์ พบว่า แป้งข้าวโพดที่ถูกโครสลิงค์และออกซิไดซ์ โดยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต มีสมบัติทางด้านละลาย อัตราการเกิดริโทรเกรเดชันและความเสถียรต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลาย (freeze-thaw stability) ดีกว่าสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรและแป้งที่ตัดแปรโดยวิธีโครสลิงค์มีความเสถียรต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายมากที่สุด

นุชฤดี และ อรอนงค์ (2535) การตัดแปรสตาร์ชข้าวเจ้าแบบโครสลิงค์ด้วยสารอิพิคลอโรไฮดรินที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 0.001 0.01 และ 0.1 % จะได้สตาร์ชข้าวเจ้าตัดแปร 41.9 55 และ 75 % ตามลำดับ โดยสตาร์ชตัดแปรมีรูปร่างคงเดิม พฤติกรรมความหนืดที่พีเอช 5.3 พบว่าสตาร์ชตัดแปรมีความหนืดเพิ่มขึ้นตลอดเวลา โดยแป้งข้าวเจ้า เมื่อเกิดเจลลาตินในเซชันจะมีความหนืดมากกว่าสตาร์ชตัดแปร แต่เมื่อกวนต่อไปความหนืดจะลดลงและเกิดริโทรเกรเดชันช้ากว่าสตาร์ชตัดแปร

Pawinee et al. (2007) ศึกษาสมบัติด้านความหนืดและความสามารถทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง (freeze-thaw) ของแป้งที่ผ่านการตัดแปรโดยวิธีโครสลิงค์ฟอสโฟลิเลชันในสตาร์ชข้าว โดยใช้ละลายโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต 1 % (STMP) โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 4 % (STPP) และโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต 1 % ร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 4% ของน้ำหนักแป้ง และเวลาในการทำปฏิกิริยา 7.5 15 30 60 และ 120 นาที พบว่า การอบแป้งนานเวลา 120 นาที มีปริมาณฟอสเฟตสูงสุด และสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรโดยการมีส่วนร่วมของโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต 1% ร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 4 % มีค่ามีค่า peak viscosity สูงสุด และเมื่อนำไปทดสอบความสามารถทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง 5 รอบ (freeze-thaw cycle) พบว่า สตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรโดยการมีส่วนร่วมของโซเดียมไตรเมทาฟอสเฟต 1 % ร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 4 % มีค่า syneresis น้อยที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีสมบัติทนต่อการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งที่ดีที่สุด

นภัสชล (2547) ได้ศึกษาการตัดแปรแป้งข้าวเหนียวเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ขนมกึ่งสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง โดยใช้อุณหภูมิและ pH ในการทำปฏิกิริยาต่างกันคืออุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส pH ให้อยู่ในช่วง 7.5 - 8.0 8.0 - 8.5 8.5 - 9.0 และ 9.0 - 9.5 พบว่า แป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการตัดแปรที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ช่วง pH 9.0-9.5 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการตัดแปร โดยแป้งข้าวเหนียวที่ผ่านการตัดแปรมีความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น ความสามารถในการ

การละลายและกำลังการพองตัวมากขึ้น เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งแบ่งซ้ำวนเวียนที่ผ่านการตัดแปรรจะสูญเสียความใสซาลง และมีค่า syneresis ลดลง

กมลวรรณ (2548) ได้ศึกษาผลของการเติมสตาร์ชตัดแปรรและไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวแช่เยือกแข็ง โดยเติมสตาร์ชตัดแปรร 2 ชนิด คือ National<sup>®</sup> frigex และ National<sup>®</sup> 780148 ในปริมาณที่ต่างกัน 2 ระดับ คือ 4 และ 8 % และไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ในปริมาณที่ต่างกันคือ แชนแทนกัม 0.02 และ 0.04 % และ คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลส 0.05 และ 0.10 % พบว่าการเติมสตาร์ชตัดแปรรและไฮโดรคอลลอยด์สามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพของก๋วยเตี๋ยวเส้นแช่เยือกแข็ง ซึ่งสารไฮโดรคอลลอยด์ช่วยให้เส้นก๋วยเตี๋ยวมี่ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดและระยะทางการดึงที่สูงขึ้นยกเว้นแชนแทนกัมที่ความเข้มข้น 0.02 % อีกทั้งยัง พบว่า คาร์บอกซิลเมทิลเซลลูโลสช่วยลดการตกผลึกใหม่ของน้ำแข็งหลังการแช่เยือกแข็ง ขณะที่แชนแทนกัมช่วยลดการคืนตัวของเอมิโลสทำให้มีความชุ่มน้อยลง และเมื่อปริมาณของสตาร์ชตัดแปรรและไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มขึ้นทำให้ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มการแยกตัวของน้ำลดลง (% syneresis)

ชุตินา (2549) การศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมสาลีจากแป้งข้าวสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิ โดยทดแทนแป้งข้าวหอมมะลิที่ 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 และ 100 % พบว่าผู้บริโภคให้การยอมรับที่ระดับการทดแทนที่ 20 % และการพัฒนาสูตรที่มีที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพัฒนาแล้วประกอบด้วย แป้งข้าวหอมมะลิ 6.34 % แป้งข้าวสาลี 25.37 % ไข่ไก่ 28.17 % น้ำตาล 31.70 % ผงฟู 0.73 % เอสพี 0.82 % สีส้มอาหารสีเขียว 1.37% และกลิ่นผสมอาหารกลิ่นใบเตย 5.50 % โดยการทำขนมสาลีเริ่มจากการตีไข่ให้ขึ้นฟูโดยใช้ความเร็วสูง ค่อยๆ เติมน้ำตาลและเอสพี โดยใช้ระยะเวลาในการตี 7 นาที จากนั้นลดความเร็วโดยใช้ความเร็วต่ำสุด ค่อยๆ เติมแป้งลงไปในส่วนผสม เติมกลิ่นและสีผสมอาหาร ตีผสมให้เข้ากันอีก 3 นาที เทส่วนผสมที่ได้ลงในถาดและนำไปนึ่ง 20 นาที

พรวิณัส (2544) ศึกษาการทดแทนแป้งข้าวหอมมะลิในการผลิตขนมปัง โดยทดแทนที่ 0 20 30 และ 40 % พบว่าเมื่อปริมาณการทดแทนแป้งข้าวหอมมะลิเพิ่มขึ้นปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลง และค่าความแข็งของเนื้อในเพิ่มขึ้น ผู้บริโภคให้การยอมรับที่ระดับการทดแทนที่ 30 %

พจนีย์ (2546) ศึกษาการพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตปาท่องโก๋จากแป้งข้าวหอมมะลิไทยผสมแป้งข้าวสาลีโดยทดแทนที่ 0 25 30 35 40 และ 45 % พบว่าสามารถใช้แป้งข้าวหอมมะลิไทยทดแทนแป้งข้าวสาลีได้ถึง 35 % ซึ่งการเพิ่มปริมาณแป้งข้าวหอมมะลิไทยมีผลทำให้ปาท่องโก๋มีค่าความสว่าง (L\*) และความกรอบเพิ่มขึ้น

รุจิรา และคณะ (2543) ได้ทดลองใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งข้าวสาลีในการทำเค้ก และคุกกี้ พบว่าเมื่อใช้แป้งข้าวผสมกับแป้งข้าวสาลี จะทำให้เค้กเนยมีคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสลดลงตามปริมาณของแป้งข้าวที่เพิ่มขึ้น โดยการผสมแป้งข้าวลงในแป้งข้าวสาลี 20 % เค้กเนยจะ

ยังคงได้รับการยอมรับใกล้เคียงกับเค้กเนยที่ทำจากแป้งข้าวสาลีล้วน และเมื่อเพิ่มความละเอียดของตะแกรงร่อนแป้งจาก 140 เมช เป็น 200 เมช พบว่า เค้กเนยมีคุณภาพดีขึ้น และการเติม SP 7 % ช่วยให้เค้กที่ทำจากแป้งข้าวได้รับการยอมรับใกล้เคียงกับเค้กเนยที่ทำจากแป้งข้าวสาลีล้วน ส่วนการทดลองทำคุกกี้จากแป้งข้าวโดยใช้สูตรการค้า พบว่าสามารถนำแป้งข้าวมาผลิตเป็นคุกกี้ได้ แต่จะได้รับการยอมรับต่ำกว่าคุกกี้ที่ทำจากแป้งข้าวสาลีล้วน โดยคุกกี้แป้งข้าวจะมีเนื้อหยาบกว่าคุกกี้แป้งข้าวสาลีเล็กน้อย เมื่อวางทิ้งไว้ในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 77-84 % เป็นเวลา 6 ชั่วโมง คุกกี้แป้งข้าวจะอ่อนตัวเร็วกว่าคุกกี้แป้งข้าวสาลี ดังนั้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพคุกกี้แป้งข้าวจึงควรไม่แป้งให้ละเอียด และการเติมแป้งข้าวพรีเจลจะช่วยชะลอการอ่อนตัวของคุกกี้ให้ช้าลงได้

นันทพร (2546) ศึกษาการพัฒนาโดนัทแป้งข้าวหอมมะลิทดแทนแป้งข้าวสาลีหน้าพิชซ่าแช่แข็ง โดยทดแทนที่ 20 40 60 80 และ 100 % และการเติมสารช่วยความคงตัวคือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส 2 ระดับ คือ 0.4 และ 0.8 % และ เอสพี 2 ระดับ 3 และ 5 % พบว่าสามารถทดแทนแป้งข้าวสาลีได้ 40 % โดยใช้วิธีการอบแทนการทอด และเมื่อปริมาณสารช่วยความคงตัวเพิ่มขึ้น โดนัทมีค่าความแข็ง และการเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง (% syneresis)

Jongsutjarittam and Charoenrein (2013) ศึกษาการใช้แป้งข้าวเหนียวทดแทนแป้งข้าวสาลีในเค้กเนยแช่เยือกแข็ง โดยทดแทนแป้งข้าวสาลี 3 ระดับ คือ 10 15 และ 20 % และแช่เยือกแข็ง-ละลายซ้ำจำนวน 5 รอบ พบว่า การทดแทนแป้งข้าวเหนียวแทนแป้งข้าวสาลี ทำให้แบคทีเรียมีความหนืด และโพรงอากาศน้อยกว่าเค้กที่ทำจากแป้งข้าวสาลี ส่งผลให้เค้กมีปริมาตรที่น้อยลง และเมื่อเค้กผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายซ้ำจำนวน 5 รอบ (5 freeze-thaw cycle) ค่าความแน่นเนื้อ และการเกิดรีโทรเกรเดชัน จำนวนโพรงอากาศของเค้กเนยมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเค้กเนยที่ไม่ผ่านการแช่เยือกแข็ง ซึ่งเค้กเนยที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวเหนียวมีค่าความแน่นเนื้อต่ำ โพรงอากาศน้อยและค่าการยอมรับรวมมากกว่าเค้กเนยที่ทำจากแป้งข้าวสาลี เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสต่ำ

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการ

#### 1. วัตถุดิบ

##### 1.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแป้งตัดแปร

1.1.1 ข้าวหอมมะลิ ตราเกษตร

1.1.2 ข้าวกล้องหอมมะลิ ตราเกษตร

##### 1.2 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตขนมสาตี

1.2.1 แป้งข้าวสาตี ตราพัดโบก

1.2.2 น้ำตาลทราย ตรามิตรผล

1.2.3 ไข่ไก่ เบอร์ 2 ตราเบทาโกร

1.2.4 ผงฟู ตราเบสท์ฟูด

1.2.5 เกลือ ตราปรุngthิพย์

1.2.6 กลิ่น ตราวินเนอร์

#### 2. สารเคมี

##### 2.1 วัตถุเจือปนอาหาร

2.1.1 โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟส (sodium trimetaphosphate; STMP, food grade)

2.1.2 โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟส (sodium tripolyphosphate; STPP, food grade)

2.1.3 ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (Hydroxypropyl methylcellulose; HPMC, food grade)

2.1.4 แอลจีเนต (Alginate; AE , food grade)

##### 2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.2.1 กรดซัลฟูริก (sulfuric acid, A.R. grade)

2.2.2 กรดบอริก (boric acid, A.R. grade)

2.2.3 กรดอะซิติก (acetic acid, A.R. grade)

2.2.4 กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid, A.R. grade)

2.2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide, A.R. grade)

2.2.6 แอมโมเนียมเมตาวานาเดท (ammonium metavanadate, A.R. grade)



- 2.2.7 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide, A.R. grade)
- 2.2.8 แอมโมเนียมโมลิบเดต (ammonium molybdate, A.R. grade)
- 2.2.9 เฮกเซน (hexane, A.R. grade)
- 2.2.10 โบรโมครีซอลกรีน (bromocresol green, A.R. grade)
- 2.2.11 เมทิลเรด (methyl red, A.R. grade)
- 2.2.12 สารเร่งปฏิกิริยาสำเร็จรูปอัดเม็ด (Kjeldahl tablets, 5 g/tablet)
- 2.2.13 กรดเปอร์คลอริก (perchloric acid, A.R. grade)
- 2.2.14 โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Dipotassium phosphate, A.R. grade)
- 2.2.15 เปปโตน (peptone water)
- 2.2.16 อาหารเลี้ยงเชื้อ (potato dextrose agar; PDA)
- 2.2.17 อาหารเลี้ยงเชื้อ (plate count agar; PCA)

### 3. เครื่องมือ

#### 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตแป้งตัดแปร

- 3.1.1 เครื่องบดหัวเหลือง ยี่ห้อ Lita
- 3.1.2 เครื่องบดอาหาร ยี่ห้อ Philips รุ่น HR2061
- 3.1.3 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ Termaks รุ่น TS4115
- 3.1.4 เครื่องร่อนแป้งพร้อมตะแกรง (sieve shaker) ยี่ห้อ Retsch รุ่น AS200 basic

#### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตขนมสาตี

- 3.2.1 เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง (analytical balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น TE3102S
- 3.2.2 เครื่องผสมแบบตั้งโต๊ะ (stand mixer) ยี่ห้อ KitchenAid รุ่น K5SS
- 3.2.4 อุปกรณ์งานครัว ประกอบด้วย ชุดเตาแก๊ส ชุดล้างถึง ซ้อนตวง ถ้วยตวง ตะแกรง ร่อนแป้ง พิมพ์ขนม พายยาง ถาดอลูมิเนียม ตะแกรงสแตนเลส มีด และถุงมือกันร้อน

#### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในแช่เยือกแข็ง

- 3.3.1 ตู้เย็น 2 ประตู (อุณหภูมิช่องแช่เยือกแข็ง -20 องศาเซลเซียส) ยี่ห้อ SHARP รุ่น รุ่น SJ-48H/D48H
- 3.3.2 ตู้แช่เยือกแข็ง (อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส) ยี่ห้อ SANYO รุ่น SF-C995 (GYN)

### 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 3.4.1 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (analytical balance) ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP224S
- 3.4.2 ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ Termaks รุ่น TS4115
- 3.4.3 เตาให้ความร้อน (hot plate) ยี่ห้อ Framo รุ่น M21/1
- 3.4.4 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น WNB22
- 3.4.5 เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (centrifuge) ยี่ห้อ Sorvall รุ่น RC-5C
- Plus
- 3.6.6 เครื่องปั่นเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (centrifuge) ยี่ห้อ Hettich รุ่น Werk Nr.
- 3.4.7 เครื่องผสมสารละลาย (vortex mixture) ยี่ห้อ IKA รุ่น MS2 Minishaker
- 3.4.8 เครื่องวัดสี (Colorimeter, Hunter Lab) ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Miniscan XE plus
- 3.4.9 เครื่องวัดกิจกรรมของน้ำ (water activity meter) ยี่ห้อ AquaLab รุ่น 3TE
- 3.4.10 เครื่องเคลือบทอง (fine coater) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JFC-1200
- 3.4.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV
- 3.4.12 เครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (rapid visco analyzer; RVA) ยี่ห้อ Newport Scientific รุ่น RVA-4
- 3.4.13 เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) ยี่ห้อ Stable Microsystems รุ่น TA.XT Plus
- 3.4.14 เครื่องวิเคราะห์โปรตีน (Kjeltech™ systems)
- 3.4.15 เครื่องวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec™ System HT)
- 3.4.16 เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหาร (Fibertherm) ยี่ห้อ Gerhardt รุ่น FT12
- 3.4.17 เตาเผาอุณหภูมิสูง (muffle furnace) ยี่ห้อ Lenton รุ่น AWF130-12
- 3.4.18 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ RAYLEIGH รุ่น VIS-723G
- 3.4.19 ตู้ปลอดเชื้อ (laminar flow) ยี่ห้อ Holten รุ่น HB2472
- 3.4.20 ตู้บ่ม (incubator) ยี่ห้อ Termaks รุ่น B8000
- 3.4.21 อุปกรณ์เครื่องแก้ว ประกอบด้วย กระบอกตวง ปีเปต บิวเรต ขวดรูปชมพูปีกเกอร์ ขวดดูแรน กรวยกรอง ขวดปรับปริมาตร แท่งแก้วคนสาร งานเพาะเชื้อ และโถดูดความชื้น

3.4.22 อุปกรณ์อื่นๆ ประกอบด้วย กระจกอลูมิเนียมพร้อมฝา คีมคีบ ทิมเบล ซ้อนตุ๊ก สาร ครุชิลเบิลกระเบื้อง ลูกยางตุตสาร ขวดน้ำกลั่น ไมโครปิเปต กระจกทรงกรง สำลี อะลูมิเนียมฟอยล์ เมล็ดงาดอย นาฬิกาจับเวลา ถังชิป แก้วน้ำ แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส คอมพิวเตอร์ และ โปรแกรม SPSS for Windows เวอร์ชัน 16.0

### วิธีการทดลอง

#### 1. ศึกษากระบวนการผลิตแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตดแปรที่เหมาะสม

##### 1.1 การเตรียมแป้งข้าว(ฟลาวัวร์ข้าว) และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว

นำข้าวหอมมะลิและข้าวกล้องหอมมะลิตดแปรมาผ่านการโม่แห้ง โดยใช้เครื่องบดแก้วเหลือง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช และนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

1.1.1 สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า โยอาหาร คาร์โบไฮเดรต (ภาคผนวก ข)

1.2 ผลของความเข้มข้น ชนิดฟอสเฟต และระยะเวลาในการตัดแปรต่อสมบัติของแป้งข้าว ตดแปร (ฟลาวัวร์ข้าวตดแปร)

1.2.1 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต และระยะเวลาในการตัดแปร ต่อสมบัติของแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตดแปร

ชั่งแป้งข้าว 60 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มล. เติมน้ำกลั่น 240 มล. กวนผสมให้เข้ากันโดยใช้ stirrer ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง 11.0 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เติมสารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต (STMP) ความเข้มข้น 0.1 0.5 และ 1.0% โดยน้ำหนัก แป้ง เขย่าใน shaker ที่ความเร็ว 140 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 3 และ 5 ชั่วโมง ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.50 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1 นอร์มอล นำไปปั่นเหวี่ยง แยกตะกอน แป้งด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงยี่ห้อ Sorvall รุ่น RC-5C Plus ที่ความเร็วรอบ 1500 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที เก็บตะกอนแป้งและล้างตะกอนแป้งด้วยน้ำกลั่น 300 มล. แล้วนำไปปั่นเหวี่ยง ทำซ้ำ จำนวน 3 รอบ นำตะกอนที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง บดโดยใช้เครื่องบดอาหารเป็นเวลา 10 วินาที โดยควบคุมไม่ให้อุณหภูมิสูงเกิน 50 องศาเซลเซียส ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 เมช จากนั้นนำไปวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ดังนี้

1) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดแป้ง และ สมบัติด้านความหนืด (ภาคผนวก ก)

2) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น และปริมาณฟอสฟอรัส (ภาคผนวก ข)

3) สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการพองตัว ความหนาแน่นจำเพาะ และความสามารถในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง (ภาคผนวก ค)

1.2.2 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และระยะเวลาในการตัดแปรต่อสมบัติของแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปร

ตัดแปรแป้งข้าว ตามข้อ 1.2.1 โดยใช้สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STPP) ความเข้มข้น 1-2 และ 4% โดยน้ำหนักแป้ง นำไปวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ดังนี้

1) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดแป้ง และสมบัติด้านความหนืด (ภาคผนวก ก)

2) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น และปริมาณฟอสฟอรัส (ภาคผนวก ข)

3) สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการพองตัว ความหนาแน่นจำเพาะ และความสามารถในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง (ภาคผนวก ค)

1.2.3 ผลของความเข้มข้นของโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟตร่วมกับโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต และระยะเวลาในการตัดแปรต่อสมบัติของแป้งข้าวหอมมะลิและแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปร

คัดเลือกสารที่ส่งผลให้แป้งข้าวตัดแปรมีคุณภาพดีที่สุดจาก ข้อ 1.2.1 หรือ 1.2.2 มา 1 ชนิด ที่ 1 ระดับความเข้มข้น (STMP หรือ STPP) มาตัดแปรแป้งข้าวตามข้อ 1.2.1 ร่วมกับสารคนละชนิดกับสารที่เลือก (STMP หรือ STPP) ที่ระดับความเข้มข้น 3 ระดับ นำไปวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ดังนี้

1) สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเม็ดแป้ง และสมบัติด้านความหนืด (ภาคผนวก ก)

2) สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น และปริมาณฟอสฟอรัส (ภาคผนวก ข)

3) สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ความสามารถในการดูดซับน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการพองตัว ความหนาแน่นจำเพาะ และความสามารถในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง (ภาคผนวก ค)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพบความแตกต่างจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $p \leq 0.05$ ) ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows version 16.0

## 2. ผลของแป้งข้าวตัดแปร สารไฮโดรคอลลอยด์ และเครื่องให้ความเย็นต่อสมบัติของขนมสาลี

ผลิตแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปร และแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปรที่มีคุณภาพดีที่สุดจากข้อ 1.2 มาใช้ทดแทนแป้งข้าวสาลีที่ระดับ 10 20 และ 30 % ในการทำขนมสาลีตามตารางที่ 4 ร่วมกับการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด คือ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) และ แอลจีเนต (AG) ที่ระดับความเข้มข้น 0.25 0.50 และ 0.75 % ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

ร่อนแป้งและสารไฮโดรคอลลอยด์เข้าด้วยกัน ตั้งทิ้งไว้ ตีไข่และน้ำตาลให้ขึ้นฟู ด้วยความเร็วสูงสุดนาน 17 นาที ปรับความเร็วให้ต่ำสุดเติมส่วนผสมของแป้งที่ผ่านการร่อนทีละน้อย ปรับความเร็วสูงสุด 15 วินาที เทส่วนผสมใส่ถาดพิมพ์ที่รองด้วยกระดาษไข นำไปนึ่งในหม้อนึ่งในลังถึงที่มีน้ำเดือด 20 นาที นำออกจากลังถึง ปล่อยให้เย็นบนตะแกรงสแตนเลสที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำขนมสาลีไปแช่ในเครื่องให้ความเย็น 2 ชนิด คือ ช่องแช่เยือกแข็งของตู้เย็น และตู้แช่เยือกแข็ง เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำขนมสาลีออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และนำไปแช่เยือกแข็งซ้ำจำนวน 5 รอบ (5 freeze-thaw cycles) วิเคราะห์คุณภาพของขนมสาลีโดยวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสีระบบ ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาตรจำเพาะ (ภาคผนวก ก)
2. สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (ภาคผนวก ข)
3. สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส และ % syneresis (ภาคผนวก ค)
4. การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ 9-point hedonic scale (ภาคผนวก จ)

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (Factorial in CRD) นำข้อมูลที่ได้อวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพบความแตกต่างจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $p \leq 0.05$ ) ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows version 16.0

#### ตารางที่ 4 สูตรขนมสาเก

ส่วนผสม	ปริมาณ (%)
ไข่ไก่	40.54
น้ำตาลทรายบดละเอียด	24.95
แป้งเค้กร่อนแล้ว	20.79
น้ำ	11.70
น้ำมะนาว	1.25
เกลือสมุทร	0.04
ผงฟู	0.56
กลิ่น	0.17

ที่มา: ดัดแปลงจาก เพ็ญแข (2545)

#### 3. ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ รูปแบบของการบรรจุและเครื่องให้ความเย็นต่อสมบัติของขนมสาเกที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ จำนวน 5 รอบ

นำขนมสาเกที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมมะลิ และแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่มีคุณภาพดีที่สุดจากข้อ 2 ไปทำการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุงโพลีโพรพิลีน (PP) และถุงโพลีเอททิลีน (PE) ภายใต้การบรรจุ 2 รูปแบบ คือ สภาวะที่มีอากาศ และสุญญากาศ ในเครื่องให้ความเย็น 2 ชนิด คือ ช่องแช่เยือกแข็งของตู้เย็น และตู้แช่เยือกแข็ง เป็นเวลา 18 ชั่วโมง จากนั้นนำขนมสาเกออกมาวางไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง และนำไปแช่เยือกแข็งซ้ำจำนวน 5 รอบ (5 freeze-thaw cycles) วิเคราะห์คุณภาพของขนมสาเกโดยวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ดังนี้

1. สมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่าสี ค่ากักจลของน้ำ และปริมาตรจำเพาะ (ภาคผนวก ก)
2. สมบัติทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น (ภาคผนวก ข)
3. สมบัติทางหน้าที่ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัส และ % syneresis (ภาคผนวก ค)
4. สมบัติทางจุลชีววิทยา ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) และปริมาณยีสต์และรา (yeast and mold) (ภาคผนวก ง)
5. การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ 9-point hedonic scale (ภาคผนวก จ)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) นำข้อมูลที่ได้วิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพบความแตกต่างจะเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ( $p \leq 0.05$ ) ด้วยโปรแกรม SPSS for Windows version 16.0



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

#### กระบวนการผลิตแป้งข้าวหอมมะลิและ ข้าวกล้องหอมมะลิตดแปรที่เหมาะสม

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการเปลี่ยนสมบัติฟลาร์ข้าวเพื่อประยุกต์ใช้ในขนมสาลีแช่เยือกแข็ง ดังนั้นในการอ้างอิง แป้งข้าว จึงหมายถึงรวมถึง ฟลาร์ข้าว ซึ่งยังคงมีปริมาณโปรตีน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ของข้าวรวมอยู่

#### 1. องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว (ฟลาร์ข้าว)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวหอมมะลิ และแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการโม่แห้ง แสดงในตารางที่ 5 พบว่าแป้งข้าวกล้องหอมมะลิมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้าและใยอาหารมากกว่าแป้งข้าวหอมมะลิแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากข้าวหอมมะลิได้ทำการขัดสีส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าวออก ซึ่งเป็นส่วนที่อุดมด้วยวิตามินและแร่ธาตุ สอดคล้องกับ อรอนงค์ (2547) ที่พบว่า ข้าวกล้องจะมีคุณค่าทางอาหารด้านโปรตีน ไขมัน ใยอาหาร รวมถึงวิตามินต่างๆ มากกว่าข้าวขาว (ตารางที่ 2, 3)

ในการศึกษาจะทำการตัดแปรฟลาร์ข้าวหอมมะลิ และฟลาร์ข้าวกล้องหอมมะลิ เนื่องจากฟลาร์ข้าวจะไม่ผ่านการสกัดแยก โปรตีน ไขมันออก ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีประโยชน์ ดังนั้นในฟลาร์แป้งข้าวที่ผ่านการตัดแปร จะมีคุณค่าทางอาหารมากกว่าการตัดแปรแป้งสตาร์ชของแป้งข้าวที่คงเหลือแต่คาร์โบไฮเดรต ลดต้นทุนการผลิตในขั้นตอนการสกัดฟลาร์ให้เป็นสตาร์ช อีกทั้งการตัดแปรแป้งข้าวกล้องหอมมะลิจะเป็นอีกทางเลือกแก่ผู้บริโภคที่รักสุขภาพเนื่องจากยังคงส่วนของใยอาหารที่มีประโยชน์

#### ตารางที่ 5 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าว

ตัวอย่าง	ความชื้น <sup>ns</sup> (%)	โปรตีน (%)	ไขมัน (%)	เถ้า (%)	ใยอาหาร (%)	คาร์โบไฮเดรต (%)
ข้าวหอมมะลิ	12.51±0.75	6.60 <sup>b</sup> ±0.44	0.36 <sup>b</sup> ±0.13	0.20 <sup>b</sup> ±0.10	0.29 <sup>b</sup> ±0.03	92.55 <sup>a</sup> ±0.58
ข้าวกล้องหอมมะลิ	12.57±0.54	7.67 <sup>a</sup> ±0.44	2.38 <sup>a</sup> ±0.42	0.73 <sup>a</sup> ±0.15	1.47 <sup>a</sup> ±0.05	87.75 <sup>b</sup> ±0.57

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

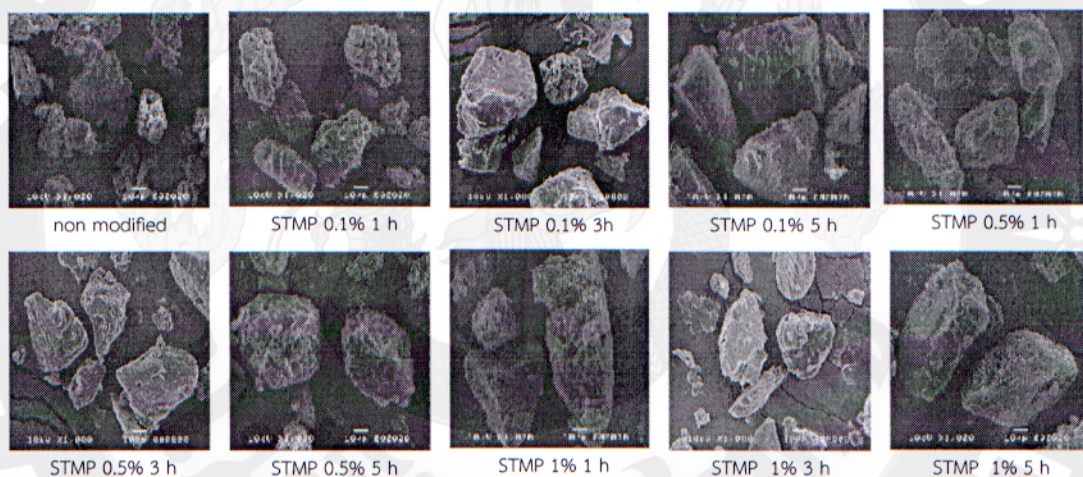
ns ไม่มีความแตกต่างในแนวสทมภ์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



## 2. ผลของความเข้มข้น ชนิดของฟอสเฟต และระยะเวลาในการตัดแปรต่อสมบัติของแป้งข้าวตัดแปร

### 2.1 สมบัติทางกายภาพ เคมี และหน้าที่ของแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปร

จากการศึกษารูปร่างของเม็ดแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปร พบว่าแป้งข้าวตัดแปรมีรูปร่างหลายเหลี่ยม ซึ่งไม่แตกต่างจากแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องจากการตัดแปรโดยวิธี ครอสลิงค์ ไม่มีผลต่อโครงสร้างเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่อุณหภูมิห้อง ดังภาพที่ 10 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Kim and Lee (2002) ที่ศึกษาการตัดแปรแป้งมันฝรั่งด้วยวิธีเชื่อมข้าม พบว่าปฏิกิริยาเชื่อมข้ามไม่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและขนาดของเม็ดแป้ง โดยลักษณะของเม็ดแป้ง ไม่แตกต่างจากแป้งธรรมชาติ และการศึกษาของ อิศราภรณ์ (2550) ที่ศึกษาการตัดแปร เม็ดแป้งพุทธรักษาด้วยวิธีครอสลิงค์ พบว่า เม็ดแป้งพุทธรักษาที่ผ่านการตัดแปรทุกระดับความเข้มข้น มีรูปร่างและลักษณะของเม็ดแป้งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 10 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

จากการศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรที่ตัดแปรด้วย STMP (ตารางที่ 6) พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิตัดแปร จะมีค่าสีของ  $L^*$  มีแนวโน้มลดลง โดยค่า  $L^*$  แสดงถึงความสว่าง หากค่า  $L^*$  เข้าใกล้ 0 แสดงว่าตัวอย่างมีความสว่างน้อยหรือมีสีคล้ำ แต่หากค่า  $L^*$  เข้าใกล้ 100 แสดงว่าตัวอย่างมีความสว่างมากจนเป็นสีขาวหรือสีจาง ค่าสี  $a^*$  แสดงถึงความเข้มของสีแดงและสีเขียว หากค่า  $a^*$  เป็นบวก แสดงว่า ตัวอย่างเป็นสีแดง แต่หากค่า  $a^*$  เป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเขียว และค่าสี  $b^*$  แสดงถึงความเข้มของสีเหลืองและสีน้ำเงิน หากค่า  $b^*$  เป็นบวก แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีเหลือง แต่หากค่า  $b^*$  เป็นลบ แสดงว่าตัวอย่างเป็นสีน้ำเงิน (จิตธนา และคณะ, 2546)

โดยแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรมีค่า  $L^*$  76.83-77.87 ค่า  $a^*$  15.30–15.67 และค่า  $b^*$  4.53–5.07 และความชื้น 9.71–10.89 % ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งตัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ที่กำหนดให้มีค่าความชื้นไม่เกิน 14 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตในรูปของฟอสฟอรัส พบว่า ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าอยู่ในช่วง 0.08–0.10 % ซึ่งเกินจากค่ามาตรฐานกำหนด ที่กำหนดว่าแป้งที่ผ่านการตัดแปรด้วย STMP ต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.14 % สำหรับแป้งจากข้าวสาลีหรือมันฝรั่ง และธัญพืชอื่นไม่เกิน 0.04 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) ทั้งนี้ เนื่องจากแป้งที่ใช้ในการตัดแปรอยู่ในรูปของฟลาว์ ซึ่งไม่ผ่านการสกัดแร่ธาตุต่างๆ ออกจึงอาจทำให้มีค่าปริมาณฟอสฟอรัสสูงได้ จากการรายงานของ Juliano (1993) พบว่า ในข้าวสารมีปริมาณฟอสฟอรัส 0.08-0.15 กรัมในตัวอย่าง 100 กรัม ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยนี้ที่พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิก่อนการตัดแปรมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงถึง 0.09 % อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลกลูโคส อาจมีปริมาณต่ำมากจนไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ให้เห็นความแตกต่างได้ด้วยวิธีที่ใช้ในการศึกษานี้

ตารางที่ 6 สมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าสี			ความชื้น <sup>ns</sup> (%)	ฟอสฟอรัส (%)	
	$L^*$	$a^*$	$b^*$			
non modified	77.87 <sup>a</sup> ±0.15	15.63 <sup>ab</sup> ±0.06	4.63 <sup>bc</sup> ±0.21	10.89±0.36	0.09 <sup>bc</sup> ±0.01	
STMP 1hr	0.1 %	77.20 <sup>bc</sup> ±0.10	15.53 <sup>ab</sup> ±0.21	5.03 <sup>ab</sup> ±0.12	10.77±1.46	0.09 <sup>b</sup> ±0.01
	0.5 %	77.57 <sup>ab</sup> ±0.29	15.67 <sup>a</sup> ±0.06	4.70 <sup>abc</sup> ±0.10	10.42±0.31	0.09 <sup>bc</sup> ±0.01
	1.0 %	77.23 <sup>bc</sup> ±0.59	15.50 <sup>ab</sup> ±0.17	4.53 <sup>c</sup> ±0.06	10.15±0.72	0.09 <sup>b</sup> ±0.00
3hr	0.1 %	77.37 <sup>abc</sup> ±0.12	15.47 <sup>ab</sup> ±0.06	4.73 <sup>abc</sup> ±0.15	10.68±1.28	0.09 <sup>b</sup> ±0.00
	0.5 %	77.27 <sup>bc</sup> ±0.06	15.60 <sup>ab</sup> ±0.17	4.80 <sup>abc</sup> ±0.10	9.82±1.06	0.09 <sup>b</sup> ±0.01
	1.0 %	77.07 <sup>bc</sup> ±0.40	15.33 <sup>ab</sup> ±0.25	4.80 <sup>abc</sup> ±0.17	9.71±1.09	0.10 <sup>c</sup> ±0.00
5hr	0.1 %	77.07 <sup>bc</sup> ±0.55	15.30 <sup>b</sup> ±0.36	5.10 <sup>a</sup> ±0.36	9.69±1.80	0.08 <sup>a</sup> ±0.01
	0.5 %	76.83 <sup>c</sup> ±0.03	15.43 <sup>ab</sup> ±0.21	4.87 <sup>abc</sup> ±0.17	10.46±1.19	0.08 <sup>ab</sup> ±0.01
	1.0 %	76.97 <sup>c</sup> ±0.12	15.43 <sup>ab</sup> ±0.32	5.07 <sup>ab</sup> ±0.10	9.83±2.14	0.09 <sup>ab</sup> ±0.01

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากการศึกษาสมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปร (ตารางที่ 7) พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรมีค่าความหนาแน่นจำเพาะ (BD) และดัชนีการละลาย (WSI) เพิ่มขึ้น ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAC) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (OAC) ลดลงแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เหตุที่แป้งมีค่าดัชนีในการละลายและความสามารถในการพองตัวลดลง เนื่องมาจากแป้งตามธรรมชาติเมื่อได้รับความร้อนพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้งจะถูกทำลาย ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกเข้าไปในโมเลกุลแป้งเกิดการพองตัว แต่ปฏิกิริยาเชื่อมข้ามทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ที่ช่วยเสริมพันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งทำให้แป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปได้ยาก (ชูเกียรติ, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Koo et al. (2010) ที่ศึกษาการตัดแปรแป้งข้าวโพดโดยวิธีเชื่อมข้ามโดยสารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต การทดลองของ จิรนาถ (2555) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุน ที่ตัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงค์กับสารฟอสเฟต พบว่า สตาร์ชเมล็ดขนุนที่ผ่านการตัดแปรมีค่ากำลังการพองตัวลดลง รวมทั้งการทดลองของ วิลาสินี (2553) ที่ศึกษาการตัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีเชื่อมข้าม พบว่าแป้งที่ผ่านการตัดแปรมีค่าความสามารถในการพองตัว และความสามารถในการละลายลดลง เมื่อทดสอบการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้ง (% syneresis) พบว่า เมื่อน้ำแป้งผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งจนครบ 5 รอบ แป้งที่ผ่านการตัดแปรมีค่า % syneresis ลดลงแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งแสดงถึงความทนต่อการแช่เยือกโดยเมื่อความเข้มข้นของ STMP สูงขึ้นแป้งมีแนวโน้มค่า % syneresis เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 7 และภาพที่ 11

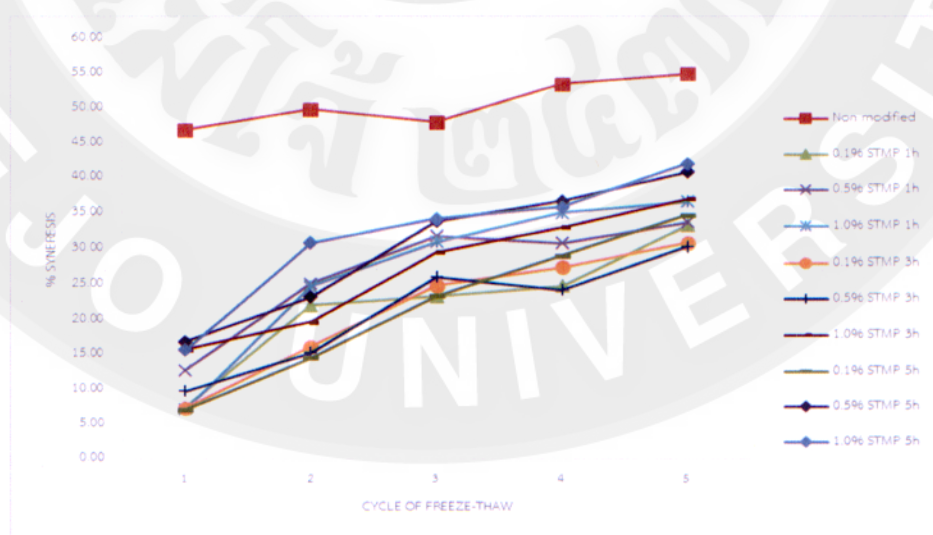
การศึกษาสมบัติทางด้านความหนืด (ตารางที่ 8) พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรมีค่า peak viscosity และค่า final viscosity เพิ่มขึ้น แตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากแป้งที่ตัดแปรโดยวิธีเชื่อมข้ามเกิดการแทนที่ของสารฟอสเฟตในหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นการเพิ่มพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลแป้งจึงช่วยเสริมให้พันธะไฮโดรเจนมีความแข็งแรงช่วยยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้ทำให้เพิ่มความต้านทานต่อแรงเฉือนและความร้อน ส่วนค่า setback มีค่าลดลงและแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งมีการคืนตัวลดลงเนื่องจากโครงสร้างภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น จึงส่งผลให้การแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งลดลง (syneresis) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ อิศราภรณ์ และคณะ (2554) ที่ศึกษาการตัดแปรแป้งพุทธรักษาด้วยวิธีเชื่อมข้ามโดยใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต การทดลองของ จิรนาถ (2555) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุนที่ตัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงค์กับสารฟอสเฟต พบว่าแป้งพุทธรักษาที่ผ่านการตัดแปรมีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร และค่า setback ของแป้งตัดแปรมีแนวโน้มลดลง

ซึ่งแป้งข้าวหอมมะลิที่ตัดแปรด้วย STMP 0.1 % มีค่า % syneresis และ setback ต่ำ แสดงให้เห็นว่าแป้งมีสมบัติในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นจึงเลือก STMP 0.1 % ไปใช้ในการตัดแปรในขั้นต่อไปโดยใช้ร่วมกับสาร STPP

ตารางที่ 7 สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรด้วยด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	WAC (%)	OAC (%)	BD (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	WSI (%)	SC	syneresis (%)
non modified	261.49 <sup>a</sup> ±0.32	93.29 <sup>a</sup> ±1.13	0.74 <sup>e</sup> ±0.01	14.52 <sup>a</sup> ±0.14	11.55 <sup>a</sup> ±0.12	54.94 <sup>d</sup> ±2.70
STMP 1hr 0.1 %	224.07 <sup>d</sup> ±6.91	75.78 <sup>b</sup> ±1.20	0.90 <sup>bc</sup> ±0.00	33.27 <sup>a</sup> ±1.38	9.88 <sup>c</sup> ±0.37	33.27 <sup>a</sup> ±1.38
0.5 %	225.13 <sup>cd</sup> ±9.01	70.03 <sup>de</sup> ±0.78	0.91 <sup>ab</sup> ±0.02	33.69 <sup>a</sup> ±4.38	10.62 <sup>b</sup> ±0.26	33.69 <sup>a</sup> ±4.38
1.0 %	249.20 <sup>abc</sup> ±5.66	72.71 <sup>c</sup> ±0.35	0.88 <sup>d</sup> ±0.01	36.60 <sup>abc</sup> ±4.51	10.92 <sup>ab</sup> ±0.14	36.60 <sup>abc</sup> ±4.51
3hr 0.1 %	173.04 <sup>e</sup> ±15.65	67.58 <sup>f</sup> ±0.63	0.92 <sup>ab</sup> ±0.00	30.79 <sup>a</sup> ±4.17	9.95 <sup>c</sup> ±0.56	30.79 <sup>a</sup> ±4.17
0.5 %	213.08 <sup>d</sup> ±25.79	68.33 <sup>ef</sup> ±1.24	0.91 <sup>ab</sup> ±0.01	30.28 <sup>a</sup> ±5.41	10.99 <sup>ab</sup> ±0.68	30.28 <sup>a</sup> ±5.41
1.0 %	208.21 <sup>d</sup> ±22.92	67.14 <sup>f</sup> ±0.67	0.92 <sup>a</sup> ±0.01	37.01 <sup>abc</sup> ±2.86	11.03 <sup>ab</sup> ±0.12	37.01 <sup>abc</sup> ±2.86
5hr 0.1 %	231.47 <sup>bcdj</sup> ±7.06	71.95 <sup>cd</sup> ±0.88	0.87 <sup>d</sup> ±0.00	34.74 <sup>ab</sup> ±3.56	8.90 <sup>d</sup> ±0.28	34.74 <sup>ab</sup> ±3.56
0.5 %	232.13 <sup>bcd</sup> ±7.41	70.49 <sup>d</sup> ±1.98	0.88 <sup>cd</sup> ±0.00	40.81 <sup>bc</sup> ±4.69	9.19 <sup>d</sup> ±0.27	40.81 <sup>bc</sup> ±4.69
1.0 %	250.50 <sup>ab</sup> ±6.92	70.47 <sup>d</sup> ±1.47	0.87 <sup>d</sup> ±0.00	41.99 <sup>c</sup> ±6.47	9.83 <sup>c</sup> ±0.33	41.99 <sup>c</sup> ±6.47

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



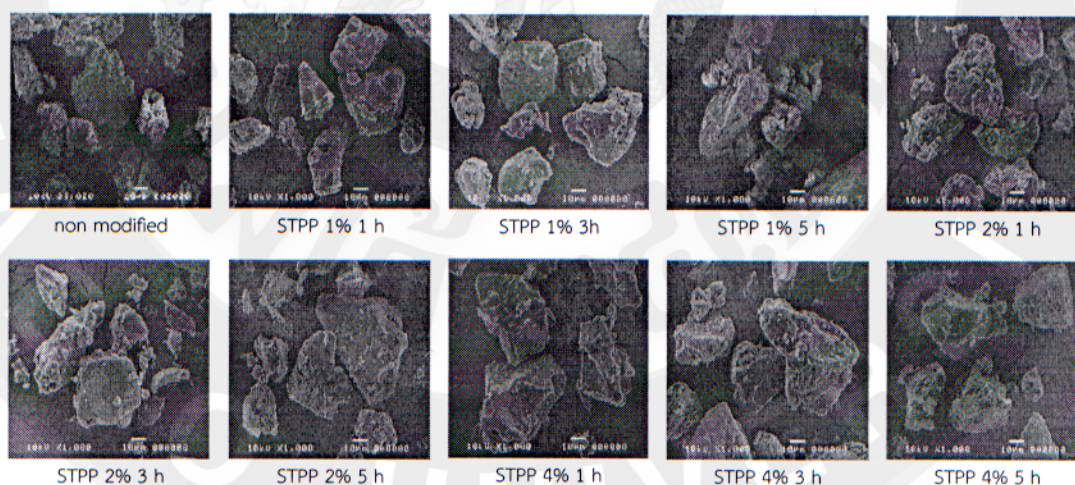
ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตารางที่ 8 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	Peak viscosity (cP)	Holding strength (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)	Pasting temperature (องศาเซลเซียส)	
non modified	1865.50 <sup>d</sup> ±55.49	1292.33 <sup>e</sup> ±41.67	574.67 <sup>c</sup> ±74.61	2397.00 <sup>e</sup> ±35.51	532.00 <sup>a</sup> ±23.26	73.28 <sup>a</sup> ±8.05	
STMP 1hr 0.1 %	5085.00 <sup>abc</sup> ±759.80	2225.67 <sup>cd</sup> ±164.51	2859.33 <sup>ab</sup> ±602.05	3600.33 <sup>cd</sup> ±197.92	-1484.67 <sup>de</sup> ±574.77	65.93 <sup>b</sup> ±2.99	
	0.5 %	4764.00 <sup>bc</sup> ±304.84	2194.00 <sup>cd</sup> ±59.09	2570.00 <sup>b</sup> ±248.08	3713.00 <sup>cd</sup> ±74.36	-1051.00 <sup>bcd</sup> ±236.99	68.62 <sup>ab</sup> ±0.45
	1.0 %	5461.83 <sup>ab</sup> ±187.35	2139.17 <sup>d</sup> ±479.49	3322.67 <sup>a</sup> ±292.14	3659.00 <sup>cd</sup> ±504.03	-1802.83 <sup>e</sup> ±316.68	67.71 <sup>b</sup> ±0.42
3hr 0.1 %	4884.33 <sup>abc</sup> ±561.72	2577.33 <sup>bc</sup> ±45.83	2307.00 <sup>b</sup> ±518.23	3968.33 <sup>bc</sup> ±135.68	-916.00 <sup>bc</sup> ±426.85	67.85 <sup>b</sup> ±0.48	
	0.5 %	5129.67 <sup>abc</sup> ±590.03	2730.00 <sup>ab</sup> ±439.97	2399.67 <sup>b</sup> ±167.00	4291.00 <sup>ab</sup> ±543.86	-838.67 <sup>b</sup> ±87.23	67.18 <sup>b</sup> ±0.88
	1.0 %	5698.00 <sup>a</sup> ±730.00	3017.0 <sup>a</sup> ±209.11	2681.00 <sup>b</sup> ±434.65	4750.33 <sup>a</sup> ±357.47	-947.67 <sup>bcd</sup> ±268.29	67.77 <sup>b</sup> ±0.40
5hr 0.1 %	4938.67 <sup>abc</sup> ±280.40	2117.33 <sup>d</sup> ±114.85	2821.33 <sup>ab</sup> ±165.70	3529.00 <sup>cdj</sup> ±161.08	-1409.67 <sup>cde</sup> ±161.08	67.57 <sup>b</sup> ±0.47	
	0.5 %	4391.33 <sup>c</sup> ±33.25	1874.33 <sup>d</sup> ±84.67	2517.00 <sup>b</sup> ±96.99	3183.67 <sup>d</sup> ±97.83	-1207.67 <sup>bcd</sup> ±97.83	67.53 <sup>b</sup> ±1.11
	1.0 %	4975.67 <sup>abc</sup> ±236.36	2188.33 <sup>cd</sup> ±13.43	2787.33 <sup>ab</sup> ±240.74	3577.33 <sup>cd</sup> ±49.65	-1398.33 <sup>cde</sup> ±49.65	67.41 <sup>b</sup> ±1.10

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

จากการศึกษาสมบัติทางเคมี ภายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรที่ดัดแปรด้วย STPP (ตารางที่ 9) พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรที่มีค่าสีของ  $L^*$  มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และค่า  $a^*$  ของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรไม่แตกต่างกับแป้งข้าวหอมที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยแป้งข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรที่มีค่า  $L^*$  76.83-77.87 ค่า  $a^*$  15.30-15.63 และค่า  $b^*$  4.60-5.10 และความชื้น 9.78-10.89 % ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ที่กำหนดให้มีค่าความชื้นไม่เกิน 14 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตในรูปของฟอสฟอรัส พบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของ STPP เพิ่มขึ้นปริมาณฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยอยู่ในช่วง 0.08-0.10 % ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานกำหนด ที่กำหนดว่าแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.5 % สำหรับแป้งจากข้าวสาลีหรือมันฝรั่ง และธัญพืชอื่นไม่เกิน 0.4 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) อย่างไรก็ตามปริมาณฟอสฟอรัสที่วิเคราะห์ได้ไม่มีความแตกต่างจากที่พบในแป้งวัตถุดิบก่อนการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดความละเอียดของวิธีวิเคราะห์ และจะเห็นได้ว่ารูปร่างของเม็ดแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปร พบว่าแป้งข้าวดัดแปรมีรูปร่างหลายเหลี่ยม ซึ่งไม่แตกต่างจากแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปร เนื่องจากการดัดแปรโดยวิธีเอสเทอร์ริฟิเคชันไม่มีผลต่อโครงสร้างเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่อุณหภูมิห้อง ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตารางที่ 9 สมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าสี			ความชื้น <sup>ns</sup> (%)	ฟอสฟอรัส (%)	
	L*	a* <sup>ns</sup>	b*			
non modified	77.87 <sup>a</sup> ±0.15	15.63±0.06	4.60 <sup>cdef</sup> ±0.21	10.76±0.36	0.10 <sup>bc</sup> ±0.01	
STPP 1hr 1 %	77.23 <sup>ab</sup> ±0.12	15.53±0.12	4.97 <sup>abcde</sup> ±0.35	10.87±0.50	0.09 <sup>ab</sup> ±0.00	
	2 %	77.40 <sup>ab</sup> ±0.20	15.47±0.06	4.80 <sup>abcdef</sup> ±0.10	9.93±1.28	0.10 <sup>bc</sup> ±0.01
	4 %	77.43 <sup>ab</sup> ±0.15	15.47±0.06	5.07 <sup>ab</sup> ±0.15	9.37±2.13	0.11 <sup>d</sup> ±0.00
3hr 1 %	77.53 <sup>ab</sup> ±0.49	15.50±0.10	4.57 <sup>b</sup> ±0.42	10.51±0.52	0.08 <sup>a</sup> ±0.00	
	2 %	77.47 <sup>ab</sup> ±0.31	15.43±0.25	4.60 <sup>ab</sup> ±0.26	10.05±0.89	0.09 <sup>bc</sup> ±0.01
	4 %	77.40 <sup>ab</sup> ±0.50	15.37±0.35	4.60 <sup>ab</sup> ±0.10	9.88±2.13	0.10 <sup>cd</sup> ±0.00
5hr 1 %	76.83 <sup>ab</sup> ±0.06	15.30±0.36	5.10 <sup>ab</sup> ±0.26	10.14±0.96	0.09 <sup>ab</sup> ±0.01	
	2 %	76.93 <sup>b</sup> ±0.32	15.43±0.15	4.87 <sup>ab</sup> ±0.42	10.08±0.60	0.09 <sup>ab</sup> ±0.01
	4 %	76.97 <sup>ab</sup> ±0.55	15.43±0.12	5.07 <sup>ab</sup> ±0.32	9.78±1.94	0.09 <sup>bc</sup> ±0.01

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากการศึกษาสมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวหอมมะลิตดแปรด้วย STPP (ตารางที่ 10) พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปร มีค่าความหนาแน่นจำเพาะ (BD) เพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAC) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (OAC) และดัชนีการละลาย (WSI) ลดลงแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของของ จิรนาถ (2555) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุน ที่ดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงค์กับสารฟอสเฟต พบว่า สตาร์ชเมล็ดขนุนที่ผ่านการดัดแปร มีค่ากำลังการพองตัวลดลง เมื่อทดสอบการแยกตัวของน้ำ (% syneresis) พบว่า เมื่อน้ำแป้งผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งจนครบ 5 รอบ แป้งที่ผ่านการดัดแปร มีค่า % syneresis ลดลงแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งแสดงถึงความทนต่อการแช่เยือกโดยเมื่อความเข้มข้นของ STPP สูงขึ้น แป้งมีแนวโน้มค่า % syneresis เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 10 และภาพที่ 13

การศึกษาสมบัติทางด้านความหนืด (ตารางที่ 11) พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิตดแปรที่ดัดแปรด้วย STPP มีค่า peak viscosity ค่า final viscosity และค่า holding strength เพิ่มขึ้น และแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนค่า setback มีค่าลดลง และแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แสดงให้เห็นว่า

แป้งมีการคืนตัวลดลงเนื่องจากโครงสร้างภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น จึงส่งผลให้การแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งลดลง (syneresis) ซึ่งสอดคล้องกับที่ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุนที่ดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงก์กับสารฟอสเฟต พบว่า แป้งพุทธรักษาที่ผ่านการดัดแปรมีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร และค่า setback ของแป้งดัดแปรมีแนวโน้มลดลง

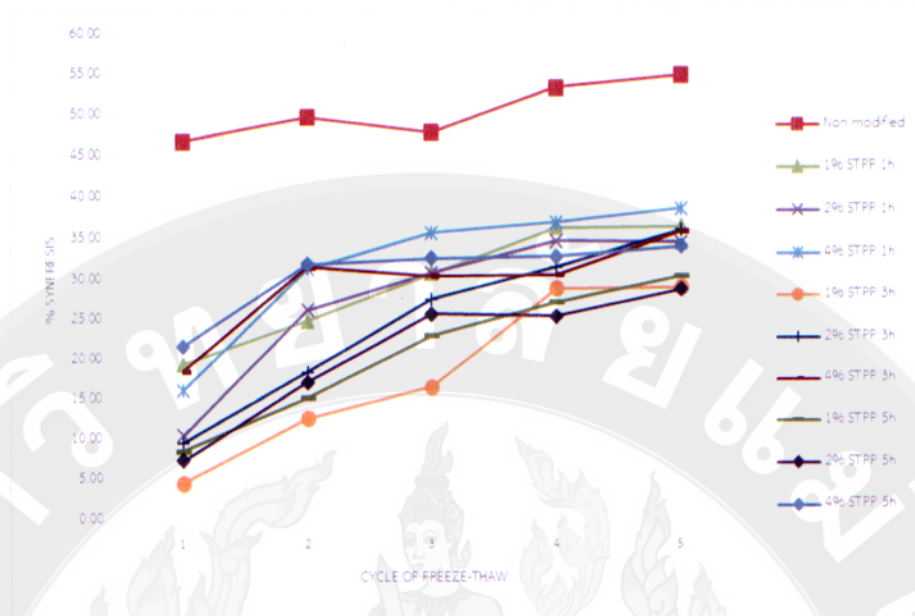
ซึ่งแป้งข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรด้วย STPP 1 2 และ 4 % มีค่า % syneresis และ setback ต่ำ แสดงให้เห็นว่าแป้งมีคุณสมบัติในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นจึงเลือก STPP 1 2 และ 4 % ไปใช้ในการดัดแปรในขั้นต่อไปโดยใช้ร่วมกับสาร STMP

ตารางที่ 10 สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	WAC (%)	OAC (%)	BD(กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	WSI (%)	SC	syneresis (%)
non modified	261.49 <sup>a</sup> ±0.32	93.29 <sup>a</sup> ±1.13	0.74 <sup>c</sup> ±0.01	14.52 <sup>a</sup> ±0.14	11.55 <sup>ab</sup> ±0.12	54.94 <sup>d</sup> ±2.70
STPP 1hr 1 %	216.82 <sup>e</sup> ±10.15	74.52 <sup>bc</sup> ±2.65	0.90 <sup>ab</sup> ±0.01	9.08 <sup>cd</sup> ±0.87	10.92 <sup>bc</sup> ±0.21	36.44 <sup>c</sup> ±3.75
2 %	251.87 <sup>ab</sup> ±6.10	79.00 <sup>b</sup> ±2.74	0.90 <sup>b</sup> ±0.01	9.10 <sup>cd</sup> ±0.76	10.66 <sup>bc</sup> ±0.02	34.47 <sup>abc</sup> ±2.42
4 %	244.87 <sup>bc</sup> ±6.72	63.98 <sup>e</sup> ±5.35	0.92 <sup>a</sup> ±0.01	8.12 <sup>de</sup> ±0.24	11.11 <sup>bc</sup> ±0.63	38.63 <sup>c</sup> ±3.68
3hr 1 %	221.50 <sup>e</sup> ±1.26	68.88 <sup>cde</sup> ±1.73	0.91 <sup>ab</sup> ±0.01	7.68 <sup>ef</sup> ±0.90	10.72 <sup>bc</sup> ±0.64	28.98 <sup>ab</sup> ±8.52
2 %	234.02 <sup>cd</sup> ±5.92	66.15 <sup>de</sup> ±1.29	0.90 <sup>b</sup> ±0.00	9.57 <sup>bc</sup> ±0.47	11.66 <sup>ab</sup> ±1.38	35.97 <sup>c</sup> ±4.07
4 %	242.08 <sup>bcd</sup> ±4.83	67.34 <sup>de</sup> ±3.97	0.90 <sup>ab</sup> ±0.01	10.50 <sup>b</sup> ±0.71	12.57 <sup>a</sup> ±0.52	35.82 <sup>c</sup> ±2.34
5hr 1 %	244.13 <sup>bcd</sup> ±8.61	71.10 <sup>cd</sup> ±3.48	0.92 <sup>a</sup> ±0.00	6.87 <sup>f</sup> ±0.61	9.98 <sup>c</sup> ±0.47	35.07 <sup>bc</sup> ±4.02
2 %	235.96 <sup>cd</sup> ±3.67	69.71 <sup>cde</sup> ±3.71	0.92 <sup>a</sup> ±0.00	7.58 <sup>ef</sup> ±0.16	11.12 <sup>bc</sup> ±0.60	28.72 <sup>a</sup> ±0.51
4 %	233.43 <sup>d</sup> ±3.33	71.52 <sup>cd</sup> ±3.14	0.90 <sup>b</sup> ±0.01	7.68 <sup>ef</sup> ±0.96	11.88 <sup>ab</sup> ±0.68	34.00 <sup>abc</sup> ±2.16

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



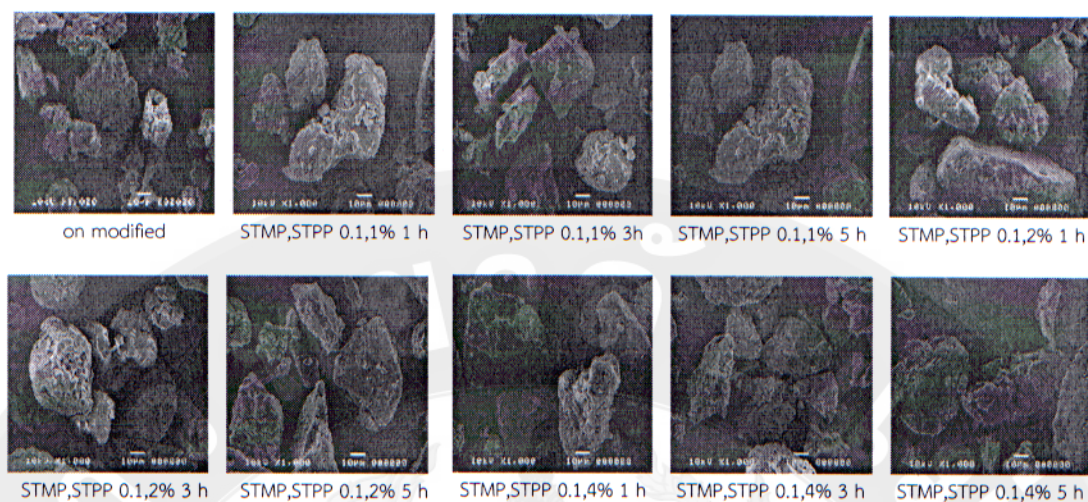


ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตารางที่ 11 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	Peak viscosity (cP)	Holding strength (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)	Pasting temperature (องศาเซลเซียส)		
non modified	1865.50 <sup>c</sup> ±55.49	1292.33 <sup>e</sup> ±41.67	574.67 <sup>c</sup> ±74.61	2397.00 <sup>d</sup> ±35.51	532.00 <sup>a</sup> ±23.26	73.28 <sup>a</sup> ±8.05		
STPP	1hr	1 %	4592.00 <sup>ab</sup> ±59.92	2245.33 <sup>bc</sup> ±180.85	2346.67 <sup>b</sup> ±140.59	3557.33 <sup>c</sup> ±97.38	-1034.67 <sup>bcd</sup> ±54.24	68.08 <sup>b</sup> ±0.03
		2 %	4937.67 <sup>ab</sup> ±563.39	2507.00 <sup>b</sup> ±298.90	2430.67 <sup>b</sup> ±296.15	4048.67 <sup>b</sup> ±401.61	-889.00 <sup>bc</sup> ±182.12	66.87 <sup>b</sup> ±1.11
		4 %	5249.67 <sup>a</sup> ±115.78	2877.33 <sup>a</sup> ±139.54	2372.33 <sup>b</sup> ±24.70	4508.00 <sup>a</sup> ±181.05	-741.67 <sup>b</sup> ±68.82	68.05 <sup>b</sup> ±0.75
	3hr	1 %	4792.00 <sup>ab</sup> ±611.000	2137.33 <sup>cd</sup> ±222.24	2654.67 <sup>ab</sup> ±390.04	3681.00 <sup>c</sup> ±303.11	-1111.00 <sup>bcd</sup> ±308.26	67.77 <sup>b</sup> ±0.45
		2 %	4242.67 <sup>b</sup> ±102.05	1915.67 <sup>d</sup> ±45.49	2327.00 <sup>b</sup> ±139.37	3341.67 <sup>c</sup> ±41.88	-901.00 <sup>bc</sup> ±41.88	67.80 <sup>b</sup> ±0.95
		4 %	4892.00 <sup>ab</sup> ±248.49	2203.67 <sup>c</sup> ±76.85	2688.33 <sup>ab</sup> ±270.09	3646.67 <sup>c</sup> ±102.62	-1245.33 <sup>cde</sup> ±102.62	68.05 <sup>b</sup> ±0.05
	5hr	1 %	4957.33 <sup>ab</sup> ±462.15	2143.67 <sup>cd</sup> ±100.06	2813.67 <sup>ab</sup> ±366.15	3578.33 <sup>c</sup> ±128.55	-1379.00 <sup>dej</sup> ±128.55	67.17 <sup>b</sup> ±0.93
		2 %	4683.33 <sup>ab</sup> ±329.53	2089.00 <sup>cd</sup> ±83.05	2594.33 <sup>ab</sup> ±320.03	3394.00 <sup>c</sup> ±84.72	-1289.33 <sup>cde</sup> ±84.72	67.22 <sup>b</sup> ±0.06
		4 %	5310.67 <sup>a</sup> ±492.27	2243.67 <sup>bc</sup> ±85.20	3067.00 <sup>a</sup> ±427.17	3648.33 <sup>c</sup> ±80.56	-1662.33 <sup>e</sup> ±80.56	67.28 <sup>b</sup> ±0.78

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



ภาพที่ 14 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

จากการศึกษารูปร่างของเม็ดแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปร พบว่าแป้งข้าวดัดแปรมีรูปร่างหลายเหลี่ยม ซึ่งไม่แตกต่างจากแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปร (ภาพที่ 14) เมื่อศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรที่ดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP (ตารางที่ 12) พบว่าแป้งข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรค่าสีของ  $L^*$  และ  $a^*$  มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยแป้งข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรมีค่า  $L^*$  77.02-77.87 ค่า  $a^*$  15.35-15.60 และค่า  $b^*$  4.60-5.10 และความชื้น 9.38-11.08 % ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ที่กำหนดให้มีค่าความชื้นไม่เกิน 14 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตในรูปของฟอสฟอรัส พบว่า เมื่อระดับความเข้มข้นของ STMP ร่วมกับ STPP เพิ่มขึ้นปริมาณฟอสฟอรัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยอยู่ในช่วง 0.08-0.10 % อย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลกลูโคสไม่สามารถวัดค่าความแตกต่างที่ชัดเจนได้ระหว่างแป้งข้าววัดดูติก่อนดัดแปรกับหลังดัดแปร จึงตั้งสมมติฐานได้ว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าทำปฏิกิริยาดังกล่าวมีปริมาณต่ำมาก ซึ่งต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดในแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.14 % สำหรับแป้งจากข้าวสาลีหรือมันฝรั่ง และธัญพืชอื่นไม่เกิน 0.04 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) และต่ำกว่ามาตรฐานของ STPP ซึ่งต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.5 % สำหรับแป้งจากข้าวสาลีหรือมันฝรั่ง และธัญพืชอื่นไม่เกิน 0.4 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552)

ตารางที่ 12 สมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าสี			ความชื้น (%)	ฟอสฟอรัส (%)		
	L*	a*	b*				
non modified	77.87 <sup>a</sup> ±0.15	15.60 <sup>a</sup> ±0.06	4.60 <sup>d</sup> ±0.21	10.89 <sup>ab</sup> ±0.36	0.10 <sup>ab</sup> ±0.01		
STMP,STPP 1hr	0.1,1 %	77.22 <sup>def</sup> ±0.02	15.53 <sup>bc</sup> ±0.22	5.00 <sup>cd</sup> ±0.03	11.08 <sup>a</sup> ±0.56	0.09 <sup>abc</sup> ±0.01	
	0.1,2 %	77.48 <sup>b</sup> ±0.08	15.57 <sup>b</sup> ±0.10	4.75 <sup>bcd</sup> ±0.05	9.40 <sup>d</sup> ±0.17	0.09 <sup>abc</sup> ±0.01	
	0.1,4 %	77.33 <sup>bcd</sup> ±0.10	15.48 <sup>bc</sup> ±0.02	4.80 <sup>abcd</sup> ±0.28	10.52 <sup>abc</sup> ±0.54	0.10 <sup>ab</sup> ±0.00	
	3hr	0.1,1 %	77.45 <sup>bc</sup> ±0.08	15.48 <sup>bc</sup> ±0.22	4.65 <sup>cd</sup> ±0.08	9.46 <sup>cd</sup> ±0.20	0.09 <sup>abc</sup> ±0.00
		0.1,2 %	77.37 <sup>bcd</sup> ±0.10	15.52 <sup>bc</sup> ±0.08	4.70 <sup>ab</sup> ±0.10	9.46 <sup>cd</sup> ±0.27	0.10 <sup>a</sup> ±0.00
		0.1,4 %	77.23 <sup>bcd</sup> ±0.17	15.35 <sup>bc</sup> ±0.02	4.70 <sup>cd</sup> ±0.10	9.38 <sup>d</sup> ±0.26	0.08 <sup>c</sup> ±0.01
	5hr	0.1,1 %	77.05 <sup>ef</sup> ±0.22	15.40 <sup>c</sup> ±0.10	4.95 <sup>cd</sup> ±0.15	10.24 <sup>abcd</sup> ±0.22	0.09 <sup>abc</sup> ±0.00
		0.1,2 %	77.02 <sup>f</sup> ±0.08	15.40 <sup>bc</sup> ±0.03	4.78 <sup>a</sup> ±0.08	9.64 <sup>cd</sup> ±0.52	0.08 <sup>c</sup> ±0.01
		0.1,4 %	77.15 <sup>def</sup> ±0.18	15.43 <sup>bc</sup> ±0.00	4.88 <sup>abc</sup> ±0.18	10.00 <sup>bcd</sup> ±0.06	0.09 <sup>bc</sup> ±0.00

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

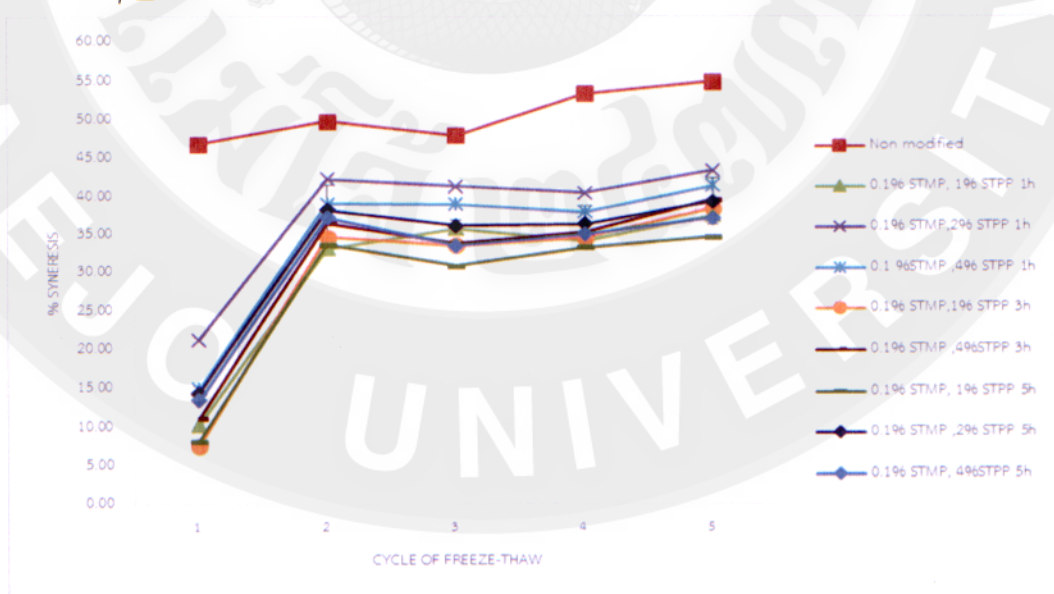
จากการศึกษาสมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP (ตารางที่ 10) พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปร มีค่าความหนาแน่นจำเพาะ (BD) เพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAC) และดัชนีการละลาย (WSI) ลดลงแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (OAC) มีแนวโน้มลดลง เหตุที่แป้งมีค่าดัชนีในการละลายและความสามารถในการพองตัวลดลงเนื่องมาจากแป้งตามธรรมชาติเมื่อได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้งถูกทำลาย ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกเข้าไปในโมเลกุลแป้งเกิดการพองตัว แต่ปฏิกิริยาเชื่อมข้ามทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ที่ช่วยเสริมพันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งทำให้แป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปได้ยาก (ชูเกียรติ, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Koo et al. (2010) ที่ศึกษาการดัดแปรแป้งข้าวโพดโดยวิธีเชื่อมข้ามโดยสารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต การทดลองของ จิรนาด (2555) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุน ที่ดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงก์กับสารฟอสเฟต พบว่า สตาร์ชเมล็ดขนุนที่ผ่านการดัดแปร มีค่ากำลังการพองตัวลดลง รวมทั้งการทดลองของ วิลาสินี (2553) ที่ศึกษาการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีเชื่อมข้าม พบว่าแป้งที่ผ่านการดัดแปร มีค่าความสามารถในการพองตัวและความสามารถในการละลายลดลง

เมื่อทดสอบการแยกตัวของน้ำ (% syneresis) พบว่า เมื่อน้ำแข็งผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งจนครบ 5 รอบ แป้งที่ผ่านการดัดแปรมีค่า % syneresis ลดลงแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 10 และภาพที่ 13

ตารางที่ 13 สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วยด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	WAC (%)	OAC (%)	BD(กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	WSI (%)	SC	syneresis (%)		
Non modified	261.49 <sup>a</sup> ±0.32	93.29 <sup>b</sup> ±1.13	0.74±0.01	14.52 <sup>c</sup> ±0.14	11.55 <sup>e</sup> ±0.12	54.94 <sup>c</sup> ±2.70		
STMP,STPP 1hr	0.1,1%	213.35 <sup>c</sup> ±2.57	67.29 <sup>de</sup> ±0.53	0.95 <sup>a</sup> ±0.00	7.42 <sup>hij</sup> ±0.02	11.77 <sup>cd</sup> ±0.25	37.56 <sup>ab</sup> ±0.63	
	0.1,2%	230.35 <sup>bc</sup> ±1.47	86.42 <sup>c</sup> ±2.05	0.92 <sup>bcd</sup> ±0.01	9.61 <sup>ef</sup> ±1.19	11.69 <sup>cd</sup> ±0.33	43.41 <sup>b</sup> ±2.15	
	0.1,4%	228.00 <sup>bc</sup> ±4.84	63.39 <sup>fg</sup> ±0.13	0.94 <sup>ab</sup> ±0.00	7.89 <sup>ghij</sup> ±0.04	11.39 <sup>def</sup> ±0.72	41.49 <sup>b</sup> ±3.74	
	3hr	0.1,1%	223.51 <sup>bc</sup> ±8.02	69.61 <sup>d</sup> ±0.34	0.95 <sup>a</sup> ±0.00	12.11 <sup>d</sup> ±0.43	12.91 <sup>b</sup> ±0.46	38.51 <sup>ab</sup> ±3.12
		0.1,2%	237.49 <sup>b</sup> ±2.39	87.25 <sup>c</sup> ±1.17	0.93 <sup>bc</sup> ±0.01	11.68 <sup>d</sup> ±0.50	12.91 <sup>b</sup> ±0.35	37.75 <sup>ab</sup> ±5.10
		0.1,4%	228.56 <sup>bc</sup> ±2.79	65.16 <sup>ef</sup> ±0.68	0.94 <sup>ab</sup> ±0.01	12.13 <sup>d</sup> ±0.40	12.92 <sup>b</sup> ±0.64	39.61 <sup>ab</sup> ±4.35
	5hr	0.1,1%	225.95 <sup>bc</sup> ±7.68	67.86 <sup>d</sup> ±1.31	0.93 <sup>abc</sup> ±0.01	15.00 <sup>c</sup> ±0.51	13.93 <sup>a</sup> ±0.33	34.71 <sup>a</sup> ±7.45
		0.1,2%	216.33 <sup>c</sup> ±25.38	95.90 <sup>a</sup> ±2.82	0.93 <sup>abc</sup> ±0.00	21.741 <sup>b</sup> ±1.97	14.60 <sup>a</sup> ±0.27	39.37 <sup>ab</sup> ±3.10
		0.1,4%	235.33 <sup>b</sup> ±1.76	62.50 <sup>g</sup> ±0.78	0.94 <sup>ab</sup> ±0.00	22.92 <sup>a</sup> ±0.69	14.47 <sup>a</sup> ±0.32	37.16 <sup>ab</sup> ±2.36

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

การศึกษาสมบัติทางด้านความหนืด (ตารางที่ 14) พบว่า แป้งข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรที่ดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP มีค่า peak viscosity ค่า final viscosity ค่า breakdown และค่า holding strength เพิ่มขึ้นและแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากแป้งที่ดัดแปรโดยวิธีเชื่อมข้าม เกิดจากการแทนที่ของสารฟอสเฟตในหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นการเพิ่มพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลแป้งจึงช่วยเสริมให้พันธะไฮโดรเจนมีความแข็งแรง ช่วยยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้ทำให้เพิ่มความต้านทานต่อแรงเฉือนและความร้อน-ส่วนค่า setback มีค่าลดลง และแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งมีการคืนตัวลดลงเนื่องจากโครงสร้างภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น จึงส่งผลให้การแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งลดลง (syneresis) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ อิศราภรณ์ และคณะ (2554) ที่ศึกษาการดัดแปรแป้งพุทธรักษาด้วยวิธีเชื่อมข้ามโดยใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต การทดลองของ จิรนาถ (2555) ที่ทางศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุน ที่ดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงค์กับสารฟอสเฟต พบว่าแป้งพุทธรักษาที่ผ่านการดัดแปรมีความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร และค่า setback ของแป้งดัดแปรมีแนวโน้มลดลง

ซึ่งแป้งข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรด้วย STMP 0.1 % เป็นเวลา 3 ชั่วโมง มีค่า % syneresis และ setback ต่ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งมีคุณสมบัติในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง และมีสมบัติทางหน้าที่ใกล้เคียงกับแป้งข้าวสาลีชนิดแป้งเค้ก (ภาคผนวก ข) ดังนั้น จึงเลือกแป้งข้าวดัดแปรด้วยวิธีดังกล่าวไปใช้ทดแทนแป้งข้าวสาลีในการทำขนมสาลีในขั้นตอนต่อไป

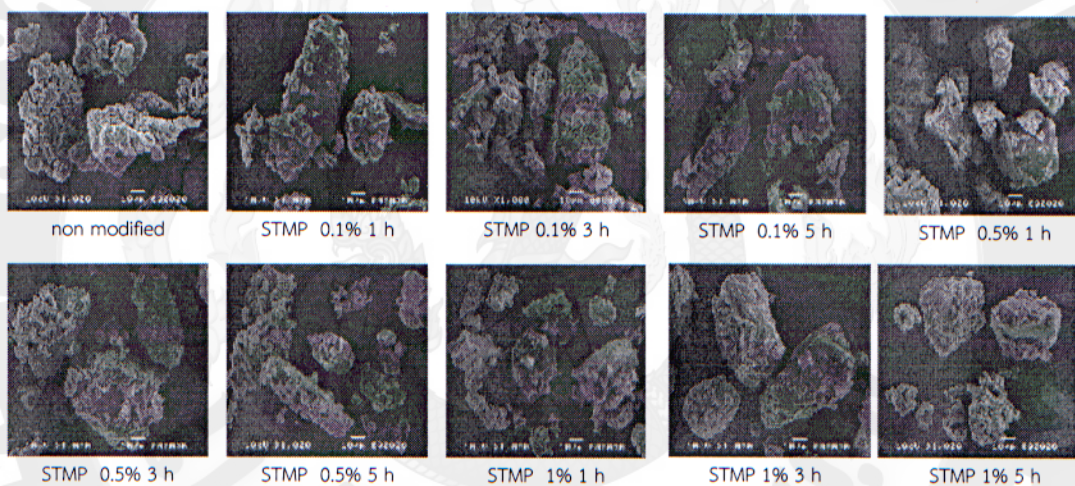
ตารางที่ 14 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	Peak viscosity (cP)	Holding strength (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)	Pasting temperature (องศาเซลเซียส)		
Non modified	1865.50 <sup>c</sup> ±55.49	1292.33 <sup>c</sup> ±41.67	574.67 <sup>c</sup> ±74.61	2397.00 <sup>e</sup> ±35.51	532.00 <sup>a</sup> ±23.26	73.28 <sup>a</sup> ±8.05		
STMP,STPP	1hr	0.1,1 %	4857.00 <sup>a</sup> ±41.51	1966.67 <sup>a</sup> ±117.09	2890.33 <sup>a</sup> ±103.59	3540.67 <sup>a</sup> ±84.18	-1316.33 <sup>bc</sup> ±82.47	68.05 <sup>ab</sup> ±0.10
		0.1,2 %	4424.33 <sup>ab</sup> ±723.24	1864.00 <sup>ab</sup> ±211.43	2560.33 <sup>ab</sup> ±511.83	3331.33 <sup>b</sup> ±190.42	-1093.00 <sup>b</sup> ±533.55	68.05 <sup>ab</sup> ±1.63
		0.1,4 %	4217.33 <sup>b</sup> ±284.96	1753.33 <sup>b</sup> ±94.45	2464.00 <sup>b</sup> ±210.59	3129.33 <sup>bcd</sup> ±93.74	-1088.00 <sup>b</sup> ±212.92	68.32 <sup>ab</sup> ±0.93
	3hr	0.1,1 %	4728.00 <sup>ab</sup> ±194.57	1910.33 <sup>ab</sup> ±118.30	2817.67 <sup>ab</sup> ±192.04	3313.67 <sup>bc</sup> ±124.19	-1414.33 <sup>bc</sup> ±199.16	65.38 <sup>b</sup> ±2.53
		0.1,2 %	4493.00 <sup>ab</sup> ±43.71	1804.33 <sup>ab</sup> ±62.00	2688.67 <sup>ab</sup> ±31.66	3190.67 <sup>bcd</sup> ±19.55	-1302.33 <sup>bc</sup> ±37.10	67.85 <sup>ab</sup> ±0.48
		0.1,4 %	4364.00 <sup>ab</sup> ±32.91	1722.33 <sup>b</sup> ±102.08	2641.67 <sup>ab</sup> ±128.16	3111.33 <sup>cd</sup> ±116.29	-1252.67 <sup>bc</sup> ±139.34	68.10 <sup>ab</sup> ±0.80
	5hr	0.1,1 %	4461.00 <sup>ab</sup> ±164.91	1798.00 <sup>ab</sup> ±53.33	2663.00 <sup>ab</sup> ±112.59	3234.00 <sup>bcd</sup> ±92.42	-1227.00 <sup>bc</sup> ±114.24	68.10 <sup>ab</sup> ±0.00
		0.1,2 %	4701.67 <sup>ab</sup> ±206.52	1820.67 <sup>ab</sup> ±86.49	2881.00 <sup>a</sup> ±120.03	3164.33 <sup>bcd</sup> ±127.22	-1537.33 <sup>c</sup> ±80.56	66.93 <sup>b</sup> ±0.64
		0.1,4 %	4534.67 <sup>ab</sup> ±160.54	1738.00 <sup>b</sup> ±101.53	2796.67 <sup>ab</sup> ±101.62	3085.33 <sup>d</sup> ±117.37	-1449.33 <sup>bc</sup> ±109.89	67.55 <sup>b</sup> ±0.40

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

## 2.2 สมบัติทางกายภาพ เคมี และหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปร

จากการศึกษารูปร่างของเม็ดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปร พบว่าแป้งข้าวตัดแปรมีรูปร่างหลายเหลี่ยม ซึ่งไม่แตกต่างจากแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการตัดแปร เนื่องจากการตัดแปรโดยวิธีโครสลิงค์ไม่มีผลต่อโครงสร้างเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่อุณหภูมิห้อง ดังภาพที่ 16 ซึ่ง สอดคล้องกับการทดลองของ Kim and Lee (2002) ที่ศึกษาการตัดแปรแป้งมันฝรั่งด้วยวิธีเชื่อมข้ามพบว่าปฏิกิริยาเชื่อมข้ามไม่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและขนาดของเม็ดแป้ง โดยลักษณะของเม็ดแป้งไม่แตกต่างจากแป้งธรรมชาติ และการศึกษาของ อิศราภรณ์ (2550) ที่ศึกษาการตัดแปรเม็ดแป้งพุทธรักษาด้วยวิธีโครสลิงค์ พบว่า เม็ดแป้งพุทธรักษาที่ผ่านการตัดแปรทุกระดับความเข้มข้นมีรูปร่างและลักษณะของเม็ดแป้งไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 16 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆ

จากการศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปรที่ตัดแปรด้วย STMP (ตารางที่ 15) พบว่า แป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปร จะมีค่าสีของ  $L^*$  มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปรมีค่า  $L^*$  74.27–74.90 ค่า  $a^*$  15.40–15.87 และค่า  $b^*$  7.00–8.67 และความชื้น 9.94–10.61 % ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งตัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ที่กำหนดให้มีค่าความชื้นไม่เกิน 14 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตในรูปของฟอสฟอรัส พบว่า แป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรจะมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าแป้งข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปร โดยอยู่ในช่วง 0.11–0.36 % ซึ่งเกินค่ามาตรฐานกำหนด ที่กำหนดว่าแป้งที่ผ่านการตัดแปรโดย



ใช้เกณฑ์ของ STMP มีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.14 % สำหรับแป้งจากข้าวสาลีหรือมันฝรั่ง และธัญพืชอื่นไม่เกิน 0.04 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งข้าวกล้องที่ใช้ในการตัดแปรเป็นแป้งในรูปของ ฟลาว์จึงทำให้ยังคงมีแร่ธาตุคงเหลืออยู่ จากการรายงานของ Juliano (1993) พบว่า ในข้าวกล้องมีปริมาณฟอสฟอรัส 0.17-0.43 กรัมในตัวอย่าง 100 กรัม อีกทั้งในการตัดแปรได้มีการล้างแป้งจำนวนหลายครั้ง จึงทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในแป้งข้าวตัดแปรมีปริมาณน้อยกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร

ตารางที่ 15 สมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าสี			ความชื้น <sup>ns</sup> (%)	ฟอสฟอรัส (%)	
	L*	a*	b*			
non modified	74.77 <sup>ab</sup> ±0.06	15.40 <sup>d</sup> ±0.10	7.00 <sup>f</sup> ±0.15	10.61±1.12	0.36 <sup>f</sup> ±0.01	
STMP 1hr	0.1 %	74.80 <sup>a</sup> ±0.26	15.47 <sup>bcd</sup> ±0.21	8.27 <sup>abc</sup> ±0.21	10.58±1.10	0.18 <sup>e</sup> ±0.01
	0.5 %	74.50 <sup>abc</sup> ±0.17	15.43 <sup>cd</sup> ±0.15	8.23 <sup>ab</sup> ±0.06	10.33±0.98	0.19 <sup>e</sup> ±0.01
	1.0 %	74.33 <sup>bcd</sup> ±0.12	15.43 <sup>cd</sup> ±0.15	8.53 <sup>de</sup> ±0.12	10.13±0.91	0.15 <sup>cd</sup> ±0.02
3hr	0.1 %	74.90 <sup>a</sup> ±0.17	15.87 <sup>a</sup> ±0.12	7.63 <sup>a</sup> ±0.12	9.94±1.34	0.12 <sup>ab</sup> ±0.03
	0.5 %	74.03 <sup>d</sup> ±0.19	15.73 <sup>ab</sup> ±0.06	8.67 <sup>a</sup> ±0.49	10.10±1.74	0.17 <sup>de</sup> ±0.00
	1.0 %	74.33 <sup>bcd</sup> ±0.35	15.73 <sup>ab</sup> ±0.15	8.07 <sup>bcd</sup> ±0.55	9.86±1.48	0.14 <sup>bc</sup> ±0.01
5hr	0.1 %	74.83 <sup>a</sup> ±0.12	15.70 <sup>abc</sup> ±0.20	7.53 <sup>e</sup> ±0.12	10.61±2.26	0.11 <sup>a</sup> ±0.01
	0.5 %	74.37 <sup>bcd</sup> ±0.12	15.60 <sup>abcd</sup> ±0.10	8.03 <sup>cd</sup> ±0.06	10.30±1.06	0.11 <sup>ab</sup> ±0.00
	1.0 %	74.27 <sup>cd</sup> ±0.06	15.53 <sup>bcd</sup> ±0.15	8.13 <sup>bc</sup> ±0.06	10.32±1.15	0.13 <sup>abc</sup> ±0.01

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากการศึกษาสมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ตัดแปรด้วย STMP (ตารางที่ 16) พบว่า แป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรมีค่าความหนาแน่นจำเพาะ (BD) และความสามารถในการดูดซับน้ำ (WAC) มีค่าเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (OAC) มีค่าลดลง และดัชนีการละลาย (WSI) ลดลงแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แป้งมีค่าดัชนีในการละลายเนื่องมาจากแป้งตามธรรมชาติเมื่อได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้งถูกทำลาย ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกเข้าไปในโมเลกุลแป้งเกิดการพองตัว แต่ปฏิกิริยาเชื่อมข้ามทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ที่ช่วยเสริมพันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างของเม็ดแป้ง

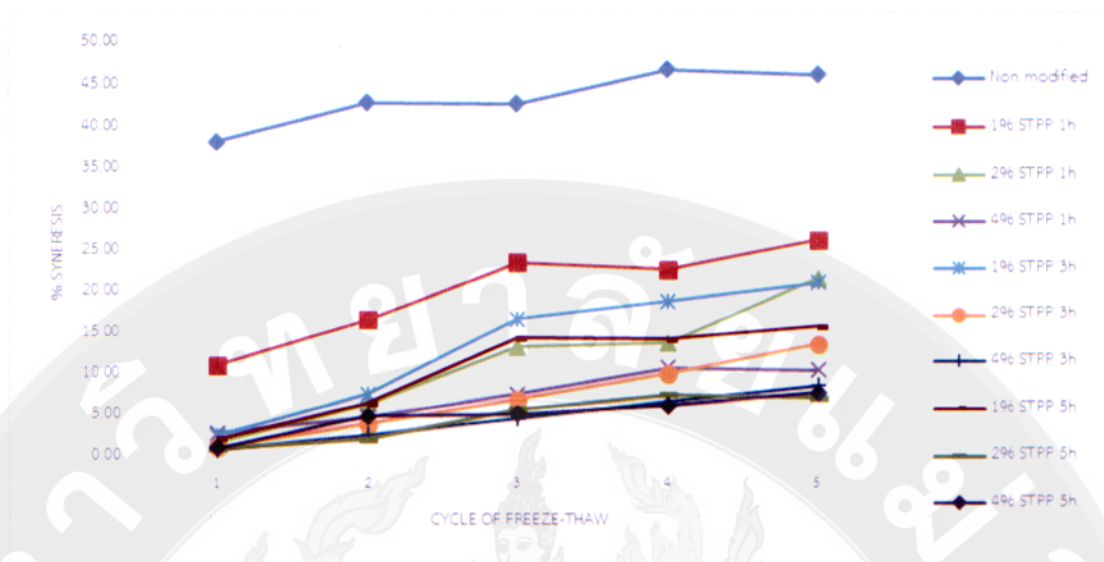
ทำให้แป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปได้ยาก (ชูเกียรติ, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Koo et al. (2010) ที่ศึกษาการดัดแปรแป้งข้าวโพดโดยวิธีเชื่อมข้ามโดยสารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต การทดลองของ จิรนาถ (2555) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุน ที่ดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงก์กับสารฟอสเฟต พบว่า สตาร์ชเมล็ดขนุนที่ผ่านการดัดแปรมีค่ากำลังการพองตัวลดลง รวมทั้งการทดลองของ วิลาลินี (2553) ที่ศึกษาการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีเชื่อมข้าม พบว่าแป้งที่ผ่านการดัดแปรมีความสามารถในการพองตัวและความสามารถในการละลายลดลง

เมื่อทดสอบการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้ง (% syneresis) พบว่า เมื่อน้ำแป้งผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งจนครบ 5 รอบ แป้งที่ผ่านการดัดแปร มีค่า % syneresis ลดลงแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ดังตารางที่ 16 และภาพที่ 17

ตารางที่ 16 สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วยด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	WAC (%)	OAC (%)	BD(กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	WSI (%)	SC	syneresis (%)		
non modified	221.39 <sup>de</sup> ±2.18	84.90 <sup>a</sup> ±0.44	0.76 <sup>f</sup> ±0.00	12.78 <sup>a</sup> ±0.18	11.10 <sup>a</sup> ±0.10	47.51 <sup>e</sup> ±4.04		
STMP	1hr	0.1%	218.62 <sup>e</sup> ±1.42	79.98 <sup>bc</sup> ±0.36	0.86 <sup>ab</sup> ±0.02	5.90 <sup>c</sup> ±0.61	9.43 <sup>c</sup> ±0.72	24.59 <sup>bcd</sup> ±1.68
		0.5%	233.44 <sup>abcb</sup> ±5.21	79.82 <sup>bc</sup> ±0.71	0.86 <sup>b</sup> ±0.01	6.07 <sup>c</sup> ±0.37	10.64 <sup>ab</sup> ±0.83	22.14 <sup>bc</sup> ±1.23
		1.0%	239.70 <sup>ab</sup> ±10.80	78.08 <sup>cd</sup> ±0.52	0.83 <sup>d</sup> ±0.00	7.00 <sup>b</sup> ±0.40	10.85 <sup>a</sup> ±0.36	27.94 <sup>d</sup> ±4.70
	3hr	0.1%	228.58 <sup>bcd</sup> ±5.15	83.77 <sup>ab</sup> ±2.18	0.87 <sup>a</sup> ±0.01	4.92 <sup>d</sup> ±0.57	9.28 <sup>c</sup> ±0.09	17.38 <sup>a</sup> ±1.07
		0.5%	242.17 <sup>a</sup> ±1.02	74.46 <sup>de</sup> ±3.12	0.86 <sup>b</sup> ±0.01	5.54 <sup>cd</sup> ±0.10	10.06 <sup>abc</sup> ±0.44	21.03 <sup>ab</sup> ±1.77
		1.0%	226.24 <sup>cde</sup> ±13.81	73.77 <sup>e</sup> ±0.44	0.86 <sup>b</sup> ±0.00	5.53 <sup>cd</sup> ±0.57	10.54 <sup>ab</sup> ±1.14	26.61 <sup>cd</sup> ±1.99
		0.1%	222.30 <sup>de</sup> ±6.24	73.70 <sup>e</sup> ±2.78	0.83 <sup>cd</sup> ±0.01	5.69 <sup>cd</sup> ±0.41	8.28 <sup>d</sup> ±0.14	24.12 <sup>b</sup> ±3.50
		0.5%	236.46 <sup>abc</sup> ±2.83	80.46 <sup>bc</sup> ±3.88	0.84 <sup>c</sup> ±0.00	5.65 <sup>cd</sup> ±0.76	10.74 <sup>ab</sup> ±0.25	23.32 <sup>b</sup> ±4.76
		1.0%	237.12 <sup>abc</sup> ±9.05	77.83 <sup>cd</sup> ±1.22	0.80 <sup>e</sup> ±0.01	5.65 <sup>cd</sup> ±0.32	9.69 <sup>bc</sup> ±0.57	26.49 <sup>cd</sup> ±1.89

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

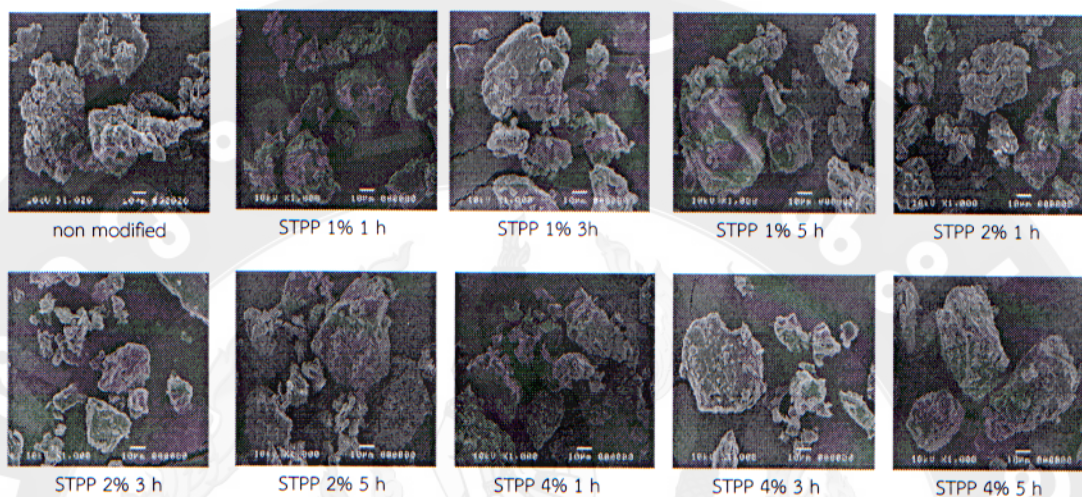
การศึกษาสมบัติทางด้านความหนืด (ตารางที่ 17) พบว่า แป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ดัดแปรด้วย STMP มีค่า peak viscosity, final viscosity, breakdown และค่า holding strength เพิ่มขึ้น และแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากแป้งที่ดัดแปรโดยวิธีเชื่อมข้ามจะเกิดจากการแทนที่ของสารฟอสเฟตในหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นการเพิ่มพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลแป้งจึงช่วยเสริมให้พันธะไฮโดรเจนมีความแข็งแรง ช่วยยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้ทำให้เพิ่มความต้านทานต่อแรงเฉือนและความร้อน ส่วนค่า setback มีค่าลดลง และแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งมีการคืนตัวลดลงเนื่องจากโครงสร้างภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น จึงส่งผลให้การแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งลดลง (syneresis) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ อิศราภรณ์ และคณะ (2554) ที่ศึกษาการดัดแปรแป้งพุทธรักษาด้วยวิธีเชื่อมข้ามโดยใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต การทดลองของ จิรนาถ (2555) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุน ที่ดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงก์กับสารฟอสเฟต พบว่าแป้งพุทธรักษาที่ผ่านการดัดแปรมีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร และค่า setback ของแป้งดัดแปรมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 17 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรด้วย STMP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	Peak viscosity (cP)	Holding strength (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)	Pasting temperature (องศาเซลเซียส)		
non modified	1845.33 <sup>d</sup> ±19.01	1288.00 <sup>d</sup> ±25.24	557.33 <sup>b</sup> ±17.67	2664.50 <sup>c</sup> ±39.11	820.33 <sup>a</sup> ±58.71	84.60 <sup>a</sup> ±0.05		
STMP	1 hr	0.1%	4478.33 <sup>c</sup> ±123.80	2225.67 <sup>c</sup> ±19.50	2252.67 <sup>a</sup> ±127.38	3702.33 <sup>b</sup> ±103.68	-776.00 <sup>bcd</sup> ±51.86	69.15 <sup>bc</sup> ±0.48
		0.5%	4594.67 <sup>c</sup> ±150.70	2324.00 <sup>c</sup> ±206.41	2270.67 <sup>a</sup> ±59.37	3861.67 <sup>b</sup> ±168.74	-733.00 <sup>bcd</sup> ±32.92	69.40 <sup>bc</sup> ±1.28
		1.0%	4645.33 <sup>c</sup> ±62.68	2255.67 <sup>c</sup> ±72.73	2389.67 <sup>a</sup> ±37.86	3733.33 <sup>b</sup> ±149.94	-912.00 <sup>cd</sup> ±101.48	68.65 <sup>bc</sup> ±0.91
	3hr	0.1%	4595.33 <sup>c</sup> ±309.49	2260.00 <sup>c</sup> ±32.70	2335.33 <sup>a</sup> ±278.17	3658.00 <sup>b</sup> ±160.28	-937.33 <sup>d</sup> ±151.00	68.88 <sup>bc</sup> ±0.08
		0.5%	5156.33 <sup>ab</sup> ±296.56	2815.33 <sup>a</sup> ±104.98	2341.00 <sup>a</sup> ±191.73	4491.00 <sup>a</sup> ±429.27	-665.33 <sup>b</sup> ±149.15	69.93 <sup>b</sup> ±0.85
		1.0%	5223.67 <sup>a</sup> ±37.86	2724.67 <sup>ab</sup> ±143.95	2499.00 <sup>a</sup> ±176.03	4422.00 <sup>a</sup> ±46.70	-801.67 <sup>ebcd</sup> ±82.12	68.52 <sup>c</sup> ±0.45
	5hr	0.1%	4677.67 <sup>bc</sup> ±366.40	2263.67 <sup>c</sup> ±275.31	2414.00 <sup>a</sup> ±95.39	3796.67 <sup>b</sup> ±357.10	-881.00 <sup>cd</sup> ±26.91	68.87 <sup>bc</sup> ±0.75
		0.5%	4929.67 <sup>abc</sup> ±330.85	2445.67 <sup>bc</sup> ±259.43	2484.00 <sup>a</sup> ±76.69	4093.67 <sup>ab</sup> ±431.17	-836.00 <sup>bcdj</sup> ±100.79	68.55 <sup>c</sup> ±0.48
		1.0%	4790.67 <sup>abc</sup> ±457.53	2396.33 <sup>c</sup> ±260.88	2394.33 <sup>a</sup> ±244.55	4092.67 <sup>ab</sup> ±282.53	-698.00 <sup>bc</sup> ±215.01	68.62 <sup>bc</sup> ±0.50

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ซึ่งแป้งข้าวกล็องหอมมะลิที่ดัดแปรด้วย STMP ที่ 0.1 0.5 และ 1 % มีค่า % syneresis และ setback ต่ำซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งมีสมบัติในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นจึงเลือก STMP ที่ 0.1 0.5 และ 1 % ไปใช้ในการดัดแปรในขั้นต่อไปโดยใช้ร่วมกับสาร STPP



ภาพที่ 18 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวกล็องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆ

จากการศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของแป้งข้าวกล็องหอมมะลิที่ดัดแปรที่ดัดแปรด้วย STPP พบว่า รูปร่างของเม็ดแป้งข้าวกล็องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรมีรูปร่างหลายเหลี่ยม ซึ่งไม่แตกต่างจากแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปร (ภาพที่ 18) ซึ่งค่า  $L^*$  มีค่าลดลง และ  $b^*$  มีค่าเพิ่มขึ้น โดยแป้งข้าวกล็องหอมมะลิที่ดัดแปรมีค่า  $L^*$  74.20–74.97 ค่า  $a^*$  15.40–15.70 และค่า  $b^*$  7.03–8.60 และความชื้น 8.89–10.69 % (ตารางที่ 18) ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ที่กำหนดให้มีค่าความชื้นไม่เกิน 14 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) และจากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตในรูปของฟอสฟอรัส พบว่า แป้งที่ผ่านการดัดแปรจะมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าแป้งข้าวกล็องที่ไม่ผ่านการดัดแปร โดยอยู่ในช่วง 0.09–0.36 % อย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลกลูโคสไม่สามารถวัดค่าความแตกต่างที่ชัดเจนได้ระหว่างแป้งข้าววัตถุดิบก่อนดัดแปรกับหลังดัดแปร จึงตั้งสมมติฐานได้ว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าทำปฏิกิริยาดังกล่าวมีปริมาณต่ำมาก ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานของ STPP ซึ่งต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.5 % สำหรับแป้งจากข้าวสาลีหรือมันฝรั่ง และธัญพืชอื่นไม่เกิน 0.4 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งข้าวกล็องที่ใช้ใน

การตัดแปรเป็นเป้งในรูปของ ฟลาว์จึงทำให้ยังคงมีแร่ธาตุคงเหลืออยู่ จากการรายงานของ Juliano (1993) พบว่า ในข้าวกล้องมีปริมาณฟอสฟอรัส 0.17-0.43 กรัมในตัวอย่าง 100 กรัม

ตารางที่ 18 สมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าสี			ความชื้น <sup>ns</sup> (%)	ฟอสฟอรัส (%)		
	L*	a* <sup>ns</sup>	b*				
non modified	74.80 <sup>ab</sup> ±0.06	15.40±0.10	7.03 <sup>d</sup> ±0.15	10.61±1.12	0.36 <sup>b</sup> ±0.01		
STPP	1hr	1.0%	74.50 <sup>bcd</sup> ±0.12	15.53±0.12	8.30 <sup>ab</sup> ±0.35	8.89±1.50	0.10 <sup>a</sup> ±0.00
		2.0%	74.63 <sup>abc</sup> ±0.20	15.50±0.06	8.10 <sup>ab</sup> ±0.10	10.29±1.06	0.11 <sup>a</sup> ±0.00
		4.0%	74.20 <sup>cd</sup> ±0.15	15.57±0.06	8.40 <sup>ab</sup> ±0.15	9.74±1.95	0.10 <sup>a</sup> ±0.00
	3hr	1.0%	74.37 <sup>bcd</sup> ±0.49	15.57±0.10	8.13 <sup>ab</sup> ±0.42	10.01±1.21	0.10 <sup>a</sup> ±0.01
		2.0%	74.77 <sup>ab</sup> ±0.31	15.53±0.25	7.93 <sup>bc</sup> ±0.26	10.44±0.95	0.10 <sup>a</sup> ±0.02
		4.0%	74.10 <sup>bcd</sup> ±0.50	15.57±0.35	8.60 <sup>a</sup> ±0.10	9.70±1.94	0.11 <sup>e</sup> ±0.02
	5hr	1.0%	74.30 <sup>a</sup> ±0.06	15.70±0.36	7.97 <sup>bc</sup> ±0.26	10.69±1.23	0.11 <sup>a</sup> ±0.02
		2.0%	74.97 <sup>a</sup> ±0.32	15.63±0.15	7.57 <sup>ab</sup> ±0.42	9.90±1.01	0.09 <sup>a</sup> ±0.01
		4.0%	74.50 <sup>bcd</sup> ±0.55	15.63±0.12	8.37 <sup>c</sup> ±0.32	10.10±2.10	0.10 <sup>a</sup> ±0.02

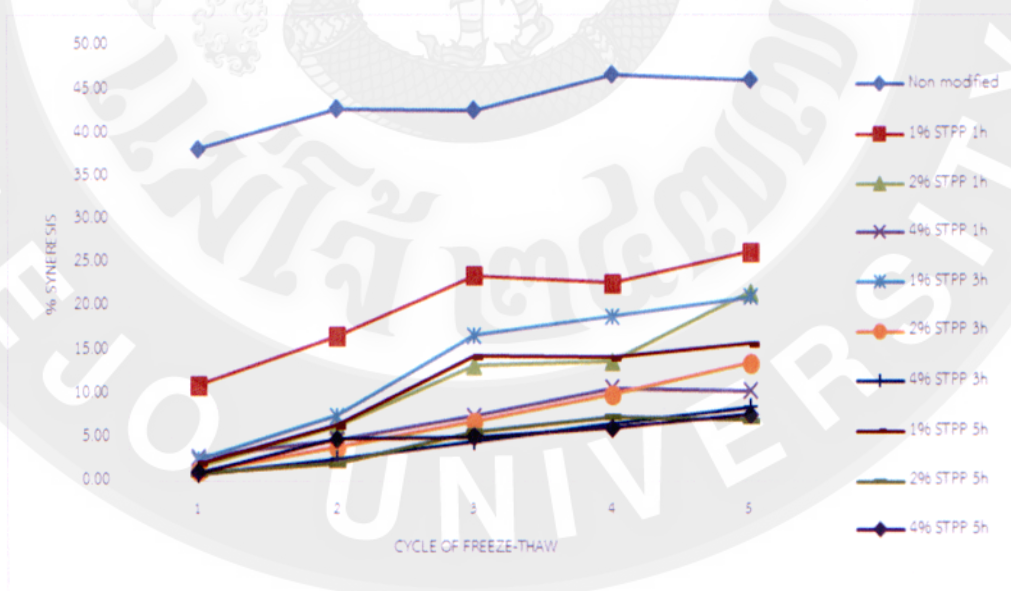
หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากการศึกษาสมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ตัดแปรด้วย STPP (ตารางที่ 19) พบว่า แป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรมีค่าความหนาแน่นจำเพาะ (BD) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (OAC) และดัชนีการละลาย (WSI) ลดลงแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ จิรนาถ (2555) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุนที่ตัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงค์กับสารฟอสเฟต พบว่า สตาร์ชเมล็ดขนุนที่ผ่านการตัดแปรมีค่ากำลังการพองตัวลดลง และเมื่อทดสอบการแยกตัวของน้ำจากเจลแป้ง (% syneresis) พบว่า เมื่อน้ำแป้งผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งจนครบ 5 รอบ แป้งที่ผ่านการตัดแปรมีค่า % syneresis ลดลงแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ STPP และระยะเวลาในการตัดแปรเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 19 และภาพที่ 19

ตารางที่ 19 สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	WAC (%)	OAC (%)	BD(กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	WSI (%)	SC	syneresis (%)		
non modified	221.39 <sup>ab</sup> ±2.18	84.90 <sup>a</sup> ±0.44	-0.76 <sup>c</sup> ±0.00	12.78 <sup>a</sup> ±0.18	11.10 <sup>a</sup> ±0.10	47.51 <sup>f</sup> ±4.04		
STPP	1hr	1 %	233.78 <sup>ab</sup> ±6.24	74.93 <sup>b</sup> ±2.78	0.83 <sup>bc</sup> ±0.01	8.44 <sup>b</sup> ±0.41	11.14 <sup>a</sup> ±0.14	26.28 <sup>e</sup> ±5.76
		2 %	223.75 <sup>ab</sup> ±2.83	75.97 <sup>b</sup> ±3.88	0.85 <sup>a</sup> ±0.00	7.49 <sup>bc</sup> ±0.76	10.72 <sup>ab</sup> ±0.25	21.58 <sup>d</sup> ±1.50
		4 %	247.98 <sup>ab</sup> ±9.05	76.11 <sup>b</sup> ±1.22	0.83 <sup>c</sup> ±0.01	6.99 <sup>cd</sup> ±0.32	10.96 <sup>a</sup> ±0.57	10.35 <sup>ab</sup> ±2.15
	3hr	1 %	235.32 <sup>a</sup> ±11.25	72.89 <sup>b</sup> ±3.74	0.85 <sup>a</sup> ±0.01	4.62 <sup>f</sup> ±0.16	8.49 <sup>c</sup> ±0.73	21.02 <sup>d</sup> ±1.63
		2 %	189.33 <sup>b</sup> ±36.19	73.55 <sup>b</sup> ±0.73	0.85 <sup>a</sup> ±0.00	5.73 <sup>def</sup> ±0.48	8.89 <sup>c</sup> ±0.10	13.52 <sup>bc</sup> ±2.73
		4 %	220.21 <sup>ab</sup> ±27.68	74.11 <sup>b</sup> ±2.88	0.82 <sup>c</sup> ±0.00	4.45 <sup>f</sup> ±0.27	8.56 <sup>c</sup> ±0.25	8.43 <sup>ab</sup> ±3.52
	5hr	1 %	239.26 <sup>a</sup> ±10.05	74.14 <sup>b</sup> ±4.00	0.81 <sup>d</sup> ±0.00	4.91 <sup>ef</sup> ±0.67	8.47 <sup>c</sup> ±0.37	15.65 <sup>c</sup> ±3.60
		2 %	186.74 <sup>b</sup> ±20.66	74.82 <sup>b</sup> ±5.99	0.84 <sup>ab</sup> ±0.01	6.08 <sup>de</sup> ±0.75	9.15 <sup>bc</sup> ±0.68	6.98 <sup>a</sup> ±3.98
		4 %	216.61 <sup>ab</sup> ±14.65	77.60 <sup>b</sup> ±2.93	0.82 <sup>c</sup> ±0.01	6.97 <sup>cd</sup> ±0.50	10.80 <sup>ab</sup> ±0.76	7.63 <sup>a</sup> ±2.40

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

การศึกษาสมบัติทางด้านความหนืด (ตารางที่ 20) พบว่า แป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ดัดแปรที่ตัดแปรด้วย STPP มีค่า peak viscosity ค่า final viscosity และค่า holding strength เพิ่มขึ้นและแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนค่า setback มีค่าลดลงและแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งมีการคืนตัวลดลงเนื่องจากโครงสร้างภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น จึงส่งผลให้การแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งลดลง (syneresis) ซึ่งสอดคล้องกับ การทดลองของ จิรนาถ (2555) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุน ที่ดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงค์กับสารฟอสเฟต พบว่าแป้งพุทธรักษาที่ผ่านการตัดแปรมีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร และค่า setback ของแป้งดัดแปรมีแนวโน้มลดลง

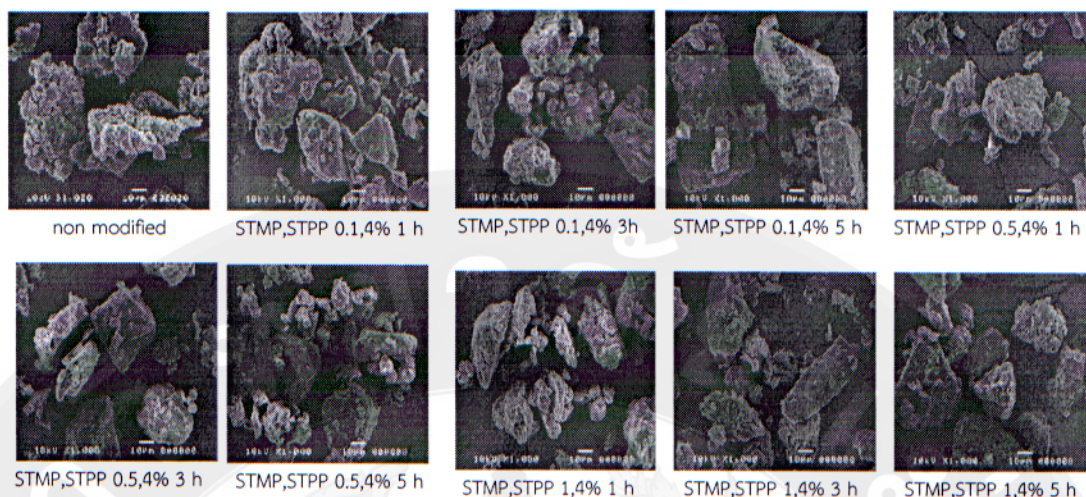
ซึ่งแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ดัดแปรด้วย STPP 4 % มีค่า % syneresis และ setback ต่ำซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งมีคุณสมบัติในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง ดังนั้นจึงเลือก STPP ที่ 4 % ไปใช้ในการตัดแปรในขั้นต่อไปโดยใช้ร่วมกับสาร STPM



ตารางที่ 20 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล็องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	Peak viscosity (cP)	Holding strength (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)	Pasting temperature (องศาเซลเซียส)		
Non modified	1845.33 <sup>b</sup> ±19.01	1288.00 <sup>c</sup> ±25.24	557.33 <sup>c</sup> ±17.67	2664.50 <sup>c</sup> ±39.11	820.33 <sup>a</sup> ±58.71	84.60 <sup>a</sup> ±0.05		
STPP	1hr	1 %	4657.67 <sup>a</sup> ±189.41	2339.00 <sup>ab</sup> ±250.43	2318.67 <sup>ab</sup> ±62.58	3867.00 <sup>ab</sup> ±234.19	-790.67 <sup>bc</sup> ±45.65	69.43 <sup>b</sup> ±1.85
		2 %	4712.33 <sup>a</sup> ±393.85	2327.00 <sup>ab</sup> ±83.90	2385.33 <sup>ab</sup> ±448.21	3807.67 <sup>ab</sup> ±158.30	-904.67 <sup>cd</sup> ±243.14	68.60 <sup>b</sup> ±1.00
		4 %	4842.00 <sup>a</sup> ±84.00	2678.33 <sup>a</sup> ±65.49	2163.67 <sup>b</sup> ±118.46	4242.33 <sup>a</sup> ±86.23	-599.67 <sup>b</sup> ±6.66	69.33 <sup>b</sup> ±1.85
	3hr	1 %	4487.67 <sup>a</sup> ±212.12	2109.00 <sup>b</sup> ±106.78	2378.67 <sup>ab</sup> ±105.40	3603.33 <sup>b</sup> ±133.93	-884.33 <sup>cd</sup> ±78.25	68.33 <sup>b</sup> ±0.90
		2 %	4778.00 <sup>a</sup> ±168.01	2304.33 <sup>ab</sup> ±159.38	2473.67 <sup>ab</sup> ±12.90	4011.33 <sup>ab</sup> ±279.58	-766.67 <sup>bc</sup> ±121.56	69.67 <sup>b</sup> ±0.70
		4 %	4797.67 <sup>a</sup> ±569.65	2330.33 <sup>ab</sup> ±326.16	2467.33 <sup>ab</sup> ±248.38	4120.00 <sup>ab</sup> ±501.72	-677.67 <sup>bc</sup> ±72.89	68.35 <sup>b</sup> ±0.52
	5hr	1 %	4680.00 <sup>a</sup> ±313.69	2113.33 <sup>b</sup> ±203.78	2566.67 <sup>a</sup> ±117.50	3601.00 <sup>b</sup> ±332.38	-1079.00 <sup>d</sup> ±58.97	67.83 <sup>b</sup> ±0.46
		2 %	4946.67 <sup>a</sup> ±354.12	2642.00 <sup>a</sup> ±381.92	2304.67 <sup>ab</sup> ±64.66	4259.67 <sup>a</sup> ±549.77	-687.00 <sup>bc</sup> ±211.45	68.58 <sup>b</sup> ±0.93
		4 %	5027.00 <sup>a</sup> ±436.42	2584.33 <sup>a</sup> ±330.29	2442.67 <sup>ab</sup> ±117.46	4311.00 <sup>a</sup> ±480.35	-716.00 <sup>bc</sup> ±75.36	68.08 <sup>b</sup> ±0.10

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



ภาพที่ 20 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

จากการศึกษาสมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตดแปรที่ดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP พบว่า รูปร่างของเม็ดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตดแปรที่ดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP พบว่า รูปร่างของเม็ดแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปร พบว่าแป้งข้าวกล้องดัดแปรมีรูปร่างหลายเหลี่ยม (ภาพที่ 20) ซึ่งไม่แตกต่างจากแป้งข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปร มีสีของ  $L^*$  มีค่าลดลง ค่า  $a^*$  และ  $b^*$  มีค่าเพิ่มขึ้น โดยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตดแปรมีค่า  $L^*$  74.22–74.80 ค่า  $a^*$  15.40–15.73 และค่า  $b^*$  7.00–8.47 และความชื้น 8.78–10.69 % (ตารางที่ 21) ซึ่งไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร ที่กำหนดให้มีค่าความชื้นไม่เกิน 14 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) จากการวิเคราะห์หาปริมาณฟอสเฟตในรูปของฟอสฟอรัส พบว่า แป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าแป้งข้าวกล้องที่ผ่านการดัดแปร โดยอยู่ในช่วง 0.05–0.36 % อย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลกลูโคสไม่สามารถวัดค่าความแตกต่างที่ชัดเจนได้ระหว่างแป้งข้าววัดดูติก่อนดัดแปรกับหลังดัดแปร จึงตั้งสมมติฐานได้ว่า ปริมาณฟอสฟอรัสที่เข้าทำปฏิกิริยาดังกล่าวมีปริมาณต่ำมาก ซึ่งต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดในแป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ที่ต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.14 % สำหรับแป้งจากข้าวสาลีหรือมันฝรั่ง และธัญพืชอื่นไม่เกิน 0.04 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552) และต่ำกว่ามาตรฐานของ STPP ซึ่งต้องมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่เกิน 0.5 % สำหรับแป้งจากข้าวสาลีหรือมันฝรั่ง และธัญพืชอื่นไม่เกิน 0.4 % (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552)

ตารางที่ 21 สมบัติทางเคมี กายภาพของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	ค่าสี			ความชื้น (%)	ฟอสฟอรัส (%)		
	L*	a*	b*				
Non modified	74.80 <sup>a</sup> ±0.06	15.40 <sup>c</sup> ±0.10	7.00 <sup>d</sup> ±0.15	10.61 <sup>a</sup> ±1.12	0.36 <sup>f</sup> ±0.01		
STMP,STPP	1hr	0.1,4%	74.65 <sup>a</sup> ±0.15	15.50 <sup>cd</sup> ±0.03	8.28 <sup>a</sup> ±0.02	9.63 <sup>b</sup> ±0.21	0.07 <sup>bcd</sup> ±0.00
		0.5,4%	74.57 <sup>abc</sup> ±0.07	15.47 <sup>cd</sup> ±0.03	8.17 <sup>ab</sup> ±0.0	9.39 <sup>bc</sup> ±0.52	0.06 <sup>ab</sup> ±0.01
		1,4%	74.27 <sup>bc</sup> ±0.07	15.50 <sup>cd</sup> ±0.07	8.47 <sup>a</sup> ±0.07	9.53 <sup>bc</sup> ±0.40	0.09 <sup>e</sup> ±0.00
	3hr	0.1,4%	74.63 <sup>ab</sup> ±0.27	15.73 <sup>a</sup> ±0.15	7.88 <sup>bc</sup> ±0.25	9.18 <sup>bc</sup> ±0.08	0.08 <sup>cdej</sup> ±0.01
		0.5,4%	74.40 <sup>abc</sup> ±0.37	15.60 <sup>abc</sup> ±0.10	8.30 <sup>a</sup> ±0.37	8.74 <sup>c</sup> ±0.17	0.07 <sup>abc</sup> ±0.01
		1,4%	74.22 <sup>c</sup> ±0.12	15.67 <sup>ab</sup> ±0.08	8.33 <sup>a</sup> ±0.27	9.59 <sup>bc</sup> ±0.20	0.08 <sup>cde</sup> ±0.00
	5hr	0.1,4%	74.57 <sup>abc</sup> ±0.27	15.70 <sup>ab</sup> ±0.00	7.75 <sup>c</sup> ±0.22	9.41 <sup>bc</sup> ±0.00	0.06 <sup>a</sup> ±0.02
		0.5,4%	74.67 <sup>a</sup> ±0.30	15.62 <sup>abc</sup> ±0.02	7.80 <sup>bc</sup> ±0.23	9.39 <sup>bc</sup> ±0.40	0.05 <sup>a</sup> ±0.01
		1,4%	74.38 <sup>abc</sup> ±0.12	15.58 <sup>bc</sup> ±0.05	8.25 <sup>a</sup> ±0.12	8.79 <sup>bc</sup> ±0.22	0.08 <sup>de</sup> ±0.00

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

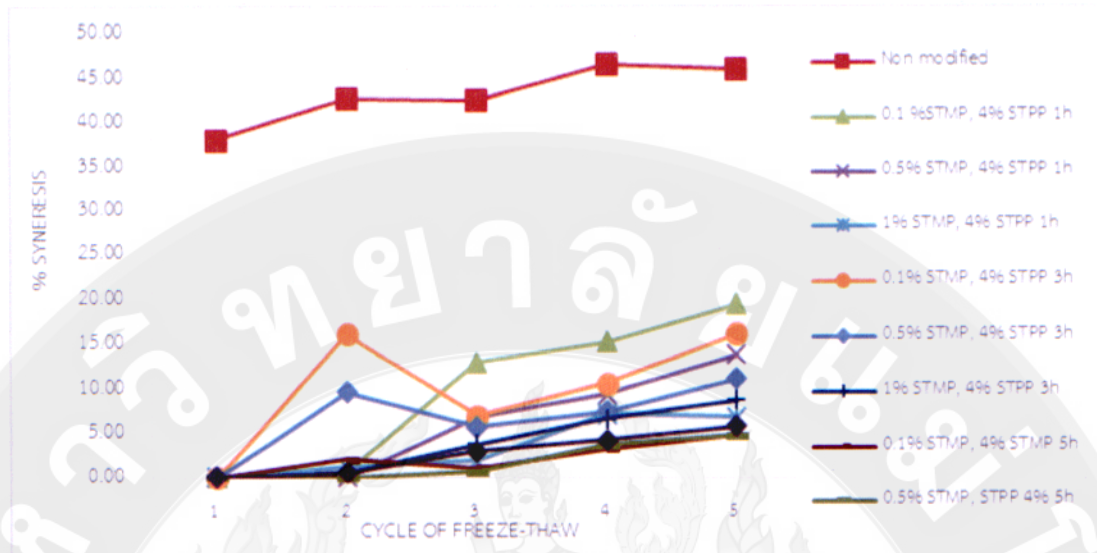
จากการศึกษาสมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP (ตารางที่ 22) พบว่า แป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรมีความหนาแน่นจำเพาะ (BD) และความสามารถในการละลาย (SC) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (OAC) และดัชนีการละลาย (WSI) ลดลงแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งค่าดัชนีในการละลาย และความสามารถในการพองตัวลดลงเนื่องจากแป้งตามธรรมชาติเมื่อได้รับความร้อน พันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้งถูกทำลาย ทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถแทรกเข้าไปในโมเลกุลแป้งเกิดการพองตัว แต่ปฏิกิริยาเชื่อมข้ามทำให้เกิดพันธะโควาเลนต์ที่ช่วยเสริมพันธะไฮโดรเจนภายในโครงสร้างของเม็ดแป้งทำให้แป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปได้ยาก (ชูเกียรติ, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Koo et al. (2010) ที่ศึกษาการดัดแปรแป้งข้าวโพดโดยวิธีเชื่อมข้ามโดยสารโซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต การทดลองของ จิรนาถ (2555) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุน ที่ดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงก์กับสารฟอสเฟต พบว่า สตาร์ชเมล็ดขนุนที่ผ่านการดัดแปร มีค่ากำลังการพองตัวลดลง รวมทั้งการทดลองของ วิลาสินี (2553) ที่ศึกษาการดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยวิธีเชื่อมข้าม พบว่าแป้งที่ผ่านการดัดแปรมีความสามารถในการพองตัวและ

ความสามารถในการละลายลดลง และเมื่อทดสอบการแยกตัวของน้ำจากเจลแบ่ง (% syneresis) พบว่า เมื่อน้ำแบ่งผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งจนครบ 5 รอบ แบ่งที่ผ่านการดัดแปรมีค่า % syneresis ลดลงแตกต่างจากแบ่งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นของ STMP ร่วมกับ STPP และระยะเวลาในการดัดแปรเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 22 และภาพที่ 21

ตารางที่ 22 สมบัติทางหน้าที่ของแบ่งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	WAC (%)	OAC (%)	BD(กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	WSI (%)	SC	syneresis (%)
non modified	221.39 <sup>bc</sup> ±2.18	84.90 <sup>a</sup> ±0.44	0.76 <sup>g</sup> ±0.00	12.78 <sup>c</sup> ±0.18	11.10 <sup>c</sup> ±0.10	47.51 <sup>d</sup> ±4.04
STMP 1hr	0.1,4% 221.42 <sup>bc</sup> ±1.14	68.76 <sup>e</sup> ±0.38	0.85 <sup>h</sup> ±0.01	11.52 <sup>c</sup> ±1.62	12.00 <sup>b</sup> ±0.66	19.50 <sup>cd</sup> ±7.13
,STPP	0.5,4% 231.63 <sup>a</sup> ±4.36	71.02 <sup>b</sup> ±0.75	0.87 <sup>e</sup> ±0.01	11.83 <sup>c</sup> ±1.98	12.09 <sup>b</sup> ±0.80	13.89 <sup>abc</sup> ±1.10
	1,4% 185.62 <sup>d</sup> ±7.95	70.78 <sup>bc</sup> ±0.98	0.90 <sup>bc</sup> ±0.00	12.30 <sup>c</sup> ±1.49	12.21 <sup>b</sup> ±1.05	6.83 <sup>ab</sup> ±2.45
	3hr 0.1,4% 220.47 <sup>bc</sup> ±3.25	67.10 <sup>f</sup> ±0.30	0.88 <sup>cd</sup> ±0.01	13.02 <sup>c</sup> ±0.41	13.33 <sup>b</sup> ±0.28	16.21 <sup>bc</sup> ±3.40
5hr	0.5,4% 176.46 <sup>e</sup> ±3.85	68.70 <sup>e</sup> ±0.15	0.90 <sup>ab</sup> ±0.01	12.19 <sup>c</sup> ±0.73	12.50 <sup>b</sup> ±0.99	11.17 <sup>abc</sup> ±3.47
	1,4% 225.89 <sup>ab</sup> ±10.92	68.82 <sup>e</sup> ±0.50	0.91 <sup>a</sup> ±0.00	17.79 <sup>b</sup> ±0.66	14.72 <sup>a</sup> ±0.19	9.35 <sup>ab</sup> ±1.79
	0.1,4% 214.85 <sup>c</sup> ±2.52	67.95 <sup>ef</sup> ±0.04	0.88 <sup>d</sup> ±0.01	19.04 <sup>ab</sup> ±0.72	14.54 <sup>a</sup> ±0.28	4.82 <sup>a</sup> ±2.25
1,4% 174.27 <sup>e</sup> ±1.28	67.88 <sup>ef</sup> ±0.87	0.89 <sup>cd</sup> ±0.00	20.61 <sup>a</sup> ±0.64	14.71 <sup>a</sup> ±0.20	4.86 <sup>a</sup> ±2.42	
	1,4% 177.42 <sup>de</sup> ±2.56	69.99 <sup>d</sup> ±0.23	0.90 <sup>ab</sup> ±0.00	18.96 <sup>ab</sup> ±0.71	14.34 <sup>a</sup> ±0.10	5.82 <sup>a</sup> ±3.33

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่าง % syneresis กับรอบในการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการดัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้น และระยะเวลาต่างๆ

การศึกษาสมบัติทางด้านความหนืด (ตารางที่ 23) พบว่า แป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ดัดแปรด้วย STPP ร่วมกับ STPP มีค่า peak viscosity ค่า final viscosity ค่า holding strength และค่า breakdown เพิ่มขึ้น และแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เนื่องจากแป้งที่ดัดแปรโดยวิธีเชื่อมข้ามจะเกิดจากการแทนที่ของสารฟอสเฟตในหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นการเพิ่มพันธะโควาเลนต์ระหว่างโมเลกุลแป้งจึงช่วยเสริมให้พันธะไฮโดรเจนมีความแข็งแรง ช่วยยึดโครงสร้างของเม็ดแป้งไว้ทำให้เพิ่มความต้านทานต่อแรงเฉือนและความร้อน ส่วนค่า setback มีค่าลดลง และแตกต่างจากแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งมีการคืนตัวลดลงเนื่องจากโครงสร้างภายในเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น จึงส่งผลให้การแยกตัวของน้ำจากเจลแป้งลดลง (syneresis) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ อิสราภรณ์ และคณะ (2554) ที่ศึกษาการดัดแปรแป้งพุทธรักษาด้วยวิธีเชื่อมข้ามโดยใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต การทดลองของ จิรนาถ (2555) ที่ศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชเมล็ดขนุน ที่ดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน และปฏิกิริยาครอสลิงก์กับสารฟอสเฟต พบว่าแป้งพุทธรักษาที่ผ่านการดัดแปรมีค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร และค่า setback ของแป้งดัดแปรมีแนวโน้มลดลง

แป้งกล่องข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรด้วย STMP ที่ 0.5% ร่วมกับ STPP ที่ 4 % มีค่า % syneresis และ setback ต่ำซึ่งแสดงให้เห็นว่าแป้งมีคุณสมบัติในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง และมีสมบัติทางหน้าที่ใกล้เคียงกับแป้งข้าวสาลีชนิดแป้งเค้ก (ภาคผนวก ข) ดังนั้นจึงเลือกแป้งข้าวกล่องหอมมะลิที่ดัดแปรด้วยวิธีดังกล่าวไปใช้ทดแทนแป้งข้าวสาลีในการทำขนมสาลีในขั้นตอนต่อไป



ตารางที่ 23 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรด้วย STMP ร่วมกับ STPP ที่ระดับความเข้มข้นและระยะเวลาต่างๆ

ตัวอย่าง	Peak viscosity (cP)	Holding strength (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)	Pasting temperature (องศาเซลเซียส)		
Non modified	1845.33 <sup>c</sup> ±19.01	1288.00 <sup>c</sup> ±25.24	557.33 <sup>b</sup> ±17.67	2664.50 <sup>c</sup> ±39.11	820.33 <sup>a</sup> ±58.71	84.60 <sup>a</sup> ±0.05		
STMP,STPP	1hr	0.1,4%	4378.67 <sup>ab</sup> ±94.74	2051.00 <sup>ab</sup> ±96.77	2327.67 <sup>a</sup> ±136.40	3944.00 <sup>ab</sup> ±88.48	-434.67 <sup>b</sup> ±38.50	69.15 <sup>b</sup> ±0.48
		0.5,4%	4363.00 <sup>b</sup> ±34.70	2146.33 <sup>ab</sup> ±311.92	2216.67 <sup>a</sup> ±344.67	3936.00 <sup>ab</sup> ±187.66	-427.00 <sup>b</sup> ±218.16	69.08 <sup>b</sup> ±0.45
		1,4%	4343.33 <sup>b</sup> ±26.31	1928.33 <sup>b</sup> ±32.08	2415.00 <sup>a</sup> ±44.03	3827.33 <sup>ab</sup> ±42.77	-516.00 <sup>b</sup> ±60.56	69.12 <sup>b</sup> ±0.42
	3hr	0.1,4%	4297.33 <sup>b</sup> ±368.00	1839.33 <sup>b</sup> ±187.50	2458.00 <sup>a</sup> ±216.00	3665.67 <sup>b</sup> ±195.37	-631.67 <sup>b</sup> ±208.63	68.83 <sup>b</sup> ±0.83
		0.5,4%	4463.33 <sup>ab</sup> ±54.20	2167.00 <sup>ab</sup> ±187.55	2296.33 <sup>a</sup> ±133.80	3880.00 <sup>ab</sup> ±192.38	-583.33 <sup>b</sup> ±138.30	68.62 <sup>b</sup> ±0.41
		1,4%	4330.33 <sup>b</sup> ±58.69	1919.00 <sup>b</sup> ±166.50	2411.33 <sup>a</sup> ±189.99	3733.00 <sup>b</sup> ±189.95	-597.33 <sup>b</sup> ±193.17	69.13 <sup>b</sup> ±0.45
	5hr	0.1,4%	4650.00 <sup>a</sup> ±147.52	2295.67 <sup>a</sup> ±303.69	2354.33 <sup>a</sup> ±165.17	4182.67 <sup>a</sup> ±572.17	-467.33 <sup>b</sup> ±439.73	68.62 <sup>b</sup> ±0.53
		0.5,4%	4452.67 <sup>ab</sup> ±86.15	2095.67 <sup>ab</sup> ±117.24	2357.00 <sup>a</sup> ±164.56	3902.67 <sup>ab</sup> ±54.15	-550.00 <sup>b</sup> ±126.19	68.85 <sup>b</sup> ±0.90
		1,4%	4290.33 <sup>b</sup> ±208.70	2108.33 <sup>ab</sup> ±79.95	2182.00 <sup>a</sup> ±147.85	3968.33 <sup>ab</sup> ±84.51	-322.00 <sup>b</sup> ±136.70	69.60 <sup>b</sup> ±0.75

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

### ผลของแป้งข้าวตัดแปร สารไฮโดรคอลลอยด์ และ เครื่องให้ความเย็นต่อสมบัติของขนมสาลี

จากการทดลองนำขนมสาลีสูตรควบคุมไปแช่เยือกแข็งในเครื่องให้ความเย็น 2 ชนิด คือ ช่องแช่เยือกแข็งของตู้เย็น และตู้แช่เยือกแข็ง แล้วนำขนมสาลีการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งซ้ำจำนวน 5 รอบ มาวัดปริมาณการแยกตัวของน้ำ พบว่า ขนมสาลีที่ผ่านการแช่เยือกแข็งจากเครื่องให้ความเย็นทั้ง 2 ชนิด มีค่าการแยกตัวของน้ำ (% syneresis) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ดังนั้น จึงคัดเลือกใช้ตู้แช่เยือกแข็งในการทดลอง เนื่องจากในต้องการจำลองให้เหมือนสภาวะจริงหากมีการนำไปต่อยอดในอนาคตต่อไป

จากการทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยข้าวหอมมะลิตัดแปรที่การทดแทน 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 % ของน้ำหนักแป้ง ร่วมกับการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ได้แก่ HPMC และ AE ที่ระดับ 3 ความเข้มข้น คือ 0.25 0.50 และ 0.75 % ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด และแช่เยือกแข็งขนมสาลีด้วยตู้แช่เยือกแข็งแล้วทำการแช่เยือก-ละลายน้ำแข็งซ้ำจำนวน 5 รอบ พบว่า การทดแทนแป้งข้าวตัดแปรเพิ่มขึ้น ขนมสาลีจะมี % syneresis ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) แต่มีค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$   $a_w$  ปริมาตรจำเพาะ ความชื้น hardness, springiness, cohesiveness, gumminess และ chewiness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ในขณะที่สารไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 2 ชนิด ส่งผลให้ขนมสาลีที่มีค่า  $a_w$  ความชื้น % syneresis ค่า hardness และ gumminess ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ส่วนระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ พบว่า การเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ 0.5 % ขนมสาลีมี % syneresis น้อยกว่าการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ที่ 0.25 และ 0.75 % แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) เมื่อความระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มขึ้น ปริมาตรจำเพาะของขนมสาลีลดลงแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) และมีค่า hardness, springiness และ cohesiveness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 24, 25)

และเมื่อศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างสารไฮโดรคอลลอยด์ และระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ พบว่า เมื่อระดับการทดแทนแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรเพิ่มขึ้น ขนมสาลีมีค่า % syneresis มีแนวโน้มลดลง แต่ค่า  $a_w$  ปริมาตรจำเพาะและความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ส่วนระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับระดับการทดแทนแป้งข้าวตัดแปร พบว่า เมื่อระดับการทดแทนแป้งข้าวตัดแปรเพิ่มขึ้น แนวโน้มค่า % syneresis ของขนมสาลี มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่การเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ทั้ง 2 ชนิด ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 % มีค่า % syneresis, hardness และ gumminess ต่ำที่สุด



เมื่อทดสอบทางประสามสัมผัส (ตารางที่ 26) พบว่า ขนมสาลีที่ทอดแบ่งแบ่งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรที่ 20 % ร่วมกับการเติม HPMC 0.75% มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ซึ่งค่ากลิ่น รส และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ดังนั้นจึงเลือกสูตรดังกล่าวไปทดลองในขั้นต่อไป



ตารางที่ 24 สมบัติทางเคมี กายภาพและหน้าที่ของขนมสาลีที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวหอมมะลิทดแปรที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ

ปัจจัย		ค่าสี			a <sub>w</sub>	ปริมาณจำเพาะ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	ความชื้น (%)	syneresis (%)
		L*	a*	b*				
ปัจจัยเดี่ยว								
สารไฮโดรคอลลอยด์	HPMC	70.21 <sup>b</sup> ±1.05	0.64 <sup>a</sup> ±0.28	17.43 <sup>b</sup> ±1.47	0.916 <sup>ns</sup> ±0.01	3.05 <sup>a</sup> ±0.42	35.61 <sup>ns</sup> ±1.48	0.61 <sup>ns</sup> ±0.27
	AE	75.92 <sup>a</sup> ±1.11	-0.38 <sup>b</sup> ±0.88	22.31 <sup>a</sup> ±1.89	0.921 <sup>ns</sup> ±0.01	2.74 <sup>b</sup> ±0.51	35.96 <sup>ns</sup> ±1.27	0.58 <sup>ns</sup> ±0.12
ปัจจัยเดี่ยว								
ระดับความเข้มข้นของ สารไฮโดรคอลลอยด์ (%)	0.25	73.01 <sup>ns</sup> ±2.82	0.50 <sup>a</sup> ±0.89	19.91 <sup>ns</sup> ±2.53	0.914 <sup>b</sup> ±0.01	3.23 <sup>a</sup> ±0.46	35.27 <sup>b</sup> ±1.05	0.71 <sup>b</sup> ±0.21
	0.50	72.90 <sup>ns</sup> ±3.02	0.04 <sup>ab</sup> ±0.76	20.09 <sup>ns</sup> ±3.14	0.921 <sup>ab</sup> ±0.01	2.97 <sup>b</sup> ±0.35	35.54 <sup>b</sup> ±1.13	0.47 <sup>a</sup> ±0.15
	0.75	73.26 <sup>ns</sup> ±3.51	-0.08 <sup>b</sup> ±0.73	19.64 <sup>ns</sup> ±3.37	0.922 <sup>a</sup> ±0.01	2.57 <sup>c</sup> ±0.37	36.42 <sup>a</sup> ±1.61	0.62 <sup>b</sup> ±0.17
ปัจจัยเดี่ยว								
ระดับการทดแทนแป้ง ข้าวตดแปร (%)	10	73.43 <sup>ns</sup> ±3.30	0.16 <sup>ns</sup> ±1.14	19.94 <sup>ns</sup> ±2.58	0.918 <sup>ns</sup> ±0.01	2.94 <sup>ns</sup> ±0.47	35.82 <sup>ns</sup> ±1.54	0.78 <sup>b</sup> ±0.22
	20	73.12 <sup>ns</sup> ±2.94	0.07 <sup>ns</sup> ±0.56	19.50 <sup>ns</sup> ±2.79	0.920 <sup>ns</sup> ±0.01	3.01 <sup>ns</sup> ±0.56	35.88 <sup>ns</sup> ±1.20	0.52 <sup>b</sup> ±0.09
	30	72.65 <sup>ns</sup> ±3.09	0.16 <sup>ns</sup> ±0.71	20.17 <sup>ns</sup> ±3.61	0.919 <sup>ns</sup> ±0.01	2.75 <sup>ns</sup> ±0.43	35.66 <sup>ns</sup> ±1.44	0.49 <sup>a</sup> ±0.15

ตารางที่ 24 (ต่อ)

ปัจจัย		ค่าสี		$a_w$	ปริมาณจำเพาะ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	ความชื้น (%)	syneresis (%)	
		L	a*					b*
ปัจจัยร่วม								
สารไฮโดรคอลลอยด์ x	HPMCx0.25	70.45 <sup>a</sup> ±1.35	0.77 <sup>a</sup> ±0.26	18.28 <sup>b</sup> ±1.06	0.902 <sup>d</sup> ±0.01	3.29 <sup>a</sup> ±0.53	34.60 <sup>c</sup> ±0.96	0.81 <sup>c</sup> ±0.26
ระดับความเข้มข้นของ	HPMCx0.50	70.11 <sup>b</sup> ±1.01	0.61 <sup>a</sup> ±0.31	17.46 <sup>bc</sup> ±1.52	0.918 <sup>bc</sup> ±0.01	3.10 <sup>ab</sup> ±0.32	35.02 <sup>bc</sup> ±1.23	0.37 <sup>a</sup> ±0.11
สารไฮโดรคอลลอยด์	HPMCx0.75	70.08 <sup>b</sup> ±0.79	0.55 <sup>a</sup> ±0.24	16.54 <sup>c</sup> ±1.37	0.930 <sup>a</sup> ±0.00	2.77 <sup>b</sup> ±0.21	37.22 <sup>a</sup> ±0.43	0.65 <sup>bc</sup> ±0.21
(%)	AEx0.25	75.58 <sup>a</sup> ±0.52	0.23 <sup>a</sup> ±1.21	21.53 <sup>a</sup> ±2.55	0.925 <sup>ab</sup> ±0.01	3.17 <sup>a</sup> ±0.40	35.95 <sup>b</sup> ±0.62	0.61 <sup>b</sup> ±0.09
	AEx0.50	75.67 <sup>a</sup> ±0.95	-0.57 <sup>b</sup> ±0.58	22.74 <sup>a</sup> ±1.71	0.924 <sup>ab</sup> ±0.00	2.81 <sup>b</sup> ±0.34	36.09 <sup>b</sup> ±0.75	0.53 <sup>ab</sup> ±0.14
	AEx0.75	76.51 <sup>a</sup> ±1.05	-0.79 <sup>b</sup> ±0.25	22.67 <sup>a</sup> ±1.03	0.915 <sup>c</sup> ±0.01	2.25 <sup>c</sup> ±0.31	35.86 <sup>b</sup> ±2.06	0.59 <sup>b</sup> ±0.11
ปัจจัยร่วม								
สารไฮโดรคอลลอยด์ x	HPMCx10	70.48 <sup>b</sup> ±1.28	0.70 <sup>a</sup> ±0.22	18.08 <sup>b</sup> ±0.84	0.912 <sup>b</sup> ±0.02	3.03 <sup>ab</sup> ±0.44	35.17 <sup>ns</sup> ±1.82	0.85 <sup>b</sup> ±0.30
ระดับการทดแทนแป้ง	HPMCx20	70.39 <sup>b</sup> ±0.84	0.53 <sup>a</sup> ±0.31	17.21 <sup>b</sup> ±1.68	0.916 <sup>ab</sup> ±0.01	3.23 <sup>a</sup> ±0.44	35.42 <sup>ns</sup> ±1.46	0.52 <sup>a</sup> ±0.12
ข้าวตัดแปรร (%)	HPMCx30	69.77 <sup>b</sup> ±0.94	0.69 <sup>a</sup> ±0.29	16.99 <sup>b</sup> ±1.66	0.922 <sup>ab</sup> ±0.01	2.91 <sup>ab</sup> ±0.29	36.24 <sup>ns</sup> ±0.96	0.47 <sup>a</sup> ±0.19
	AEx10	76.38 <sup>a</sup> ±1.40	-0.38 <sup>b</sup> ±1.43	21.80 <sup>a</sup> ±2.36	0.924 <sup>a</sup> ±0.00	2.85 <sup>ab</sup> ±0.51	36.46 <sup>ns</sup> ±0.89	0.70 <sup>b</sup> ±0.06
	AEx20	75.85 <sup>a</sup> ±0.94	-0.39 <sup>b</sup> ±0.32	21.79 <sup>a</sup> ±1.40	0.924 <sup>a</sup> ±0.00	2.79 <sup>ab</sup> ±0.56	36.35 <sup>ns</sup> ±0.64	0.52 <sup>a</sup> ±0.06
	AEx30	75.53 <sup>a</sup> ±0.87	-0.36 <sup>b</sup> ±0.60	23.34 <sup>a</sup> ±1.49	0.916 <sup>ab</sup> ±0.01	2.59 <sup>b</sup> ±0.50	35.08 <sup>ns</sup> ±1.64	0.51 <sup>a</sup> ±0.11

ตารางที่ 24 (ต่อ)

ปัจจัย		ค่าสี			a <sub>w</sub>	ปริมาณจำเพาะ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	ความชื้น (%)	syneresis (%)
		L	a*	b*				
ปัจจัยร่วม								
ระดับความเข้มข้นของ	0.25×10	73.50 <sup>ns</sup> ±2.32	0.93 <sup>a</sup> ±1.29	18.63 <sup>ns</sup> ±1.10	0.909 <sup>b</sup> ±0.02	3.30 <sup>a</sup> ±0.48	34.67 <sup>c</sup> ±1.47	0.92 <sup>d</sup> ±0.25
สารไฮโดรคอลลอยด์	0.25×20	72.97 <sup>ns</sup> ±2.76	0.15 <sup>ab</sup> ±0.63	19.55 <sup>ns</sup> ±2.13	0.915 <sup>ab</sup> ±0.01	3.32 <sup>a</sup> ±0.49	35.50 <sup>bc</sup> ±0.47	0.58 <sup>ba</sup> ±0.05
(%) × ระดับการ	0.25×30	72.57 <sup>ns</sup> ±3.68	0.42 <sup>ab</sup> ±0.51	21.54 <sup>ns</sup> ±3.27	0.916 <sup>ab</sup> ±0.01	3.07 <sup>ab</sup> ±0.45	35.65 <sup>abc</sup> ±0.83	0.63 <sup>c</sup> ±0.10
ทดแทนแป้งข้าวดีดแปร	0.50×10	72.87 <sup>ns</sup> ±3.65	-0.21 <sup>b</sup> ±0.97	20.80 <sup>ns</sup> ±3.01	0.919 <sup>ab</sup> ±0.01	2.91 <sup>abc</sup> ±0.36	35.61 <sup>abc</sup> ±1.13	0.59 <sup>c</sup> ±0.14
(%)	0.50×20	72.97 <sup>ns</sup> ±2.93	0.08 <sup>ab</sup> ±0.46	19.82 <sup>ns</sup> ±1.97	0.918 <sup>ab</sup> ±0.00	3.25 <sup>a</sup> ±0.28	35.15 <sup>c</sup> ±1.50	0.43 <sup>ab</sup> ±0.08
	0.50×30	72.93 <sup>ns</sup> ±3.00	0.19 <sup>ab</sup> ±0.84	19.68 <sup>ns</sup> ±4.44	0.926 <sup>a</sup> ±0.00	2.71 <sup>bc</sup> ±0.19	35.90 <sup>abc</sup> ±0.70	0.34 <sup>a</sup> ±0.10
	0.75×10	74.02 <sup>ns</sup> ±4.18	-0.23 <sup>b</sup> ±0.86	20.39 <sup>ns</sup> ±3.02	0.925 <sup>a</sup> ±0.01	2.60 <sup>bc</sup> ±0.32	37.17 <sup>a</sup> ±0.89	0.82 <sup>d</sup> ±0.12
	0.75×20	73.42 <sup>ns</sup> ±3.61	-0.03 <sup>ab</sup> ±0.67	19.14 <sup>ns</sup> ±4.22	0.928 <sup>a</sup> ±0.00	2.45 <sup>c</sup> ±0.44	37.01 <sup>ab</sup> ±0.27	0.55 <sup>bc</sup> ±0.07
	0.75×30	72.45 <sup>ns</sup> ±3.12	-0.11 <sup>ab</sup> ±0.76	19.28 <sup>ns</sup> ±3.23	0.915 <sup>ab</sup> ±0.02	2.47 <sup>c</sup> ±0.40	35.43 <sup>bc</sup> ±2.39	0.49 <sup>bc</sup> ±0.06
ปัจจัยร่วม								
สารไฮโดรคอลลอยด์ ×	HPMC×0.25×10	71.45 <sup>c</sup> ±0.77	0.91 <sup>a</sup> ±0.77	18.13 <sup>de</sup> ±1.05	0.892 <sup>h</sup> ±0.01	3.20 <sup>abcd</sup> ±0.66	33.44 <sup>f</sup> ±0.65	1.14 <sup>i</sup> ±0.09
ระดับความเข้มข้นของ	HPMC×0.25×20	70.54 <sup>cd</sup> ±1.10	0.71 <sup>a</sup> ±1.10	17.96 <sup>de</sup> ±1.02	0.903 <sup>fg</sup> ±0.01	3.57 <sup>a</sup> ±0.64	35.16 <sup>cde</sup> ±0.46	0.63 <sup>fg</sup> ±0.01
สารไฮโดรคอลลอยด์	HPMC×0.25×30	69.35 <sup>d</sup> ±1.49	0.68 <sup>ab</sup> ±1.49	18.76 <sup>de</sup> ±1.37	0.909 <sup>ef</sup> ±0.00	3.11 <sup>abcde</sup> ±0.32	35.19 <sup>cde</sup> ±0.17	0.65 <sup>fg</sup> ±0.10
(%) ระดับการทดแทน	HPMC×0.50×10	69.64 <sup>cd</sup> ±1.59	0.65 <sup>ab</sup> ±1.59	18.37 <sup>de</sup> ±0.30	0.913 <sup>de</sup> ±0.00	3.13 <sup>abcde</sup> ±0.40	34.67 <sup>def</sup> ±0.22	0.48 <sup>bcde</sup> ±0.07
แป้งข้าวดีดแปร (%)	HPMC×0.50×20	70.36 <sup>cd</sup> ±0.93	0.33 <sup>abcd</sup> ±0.93	18.35 <sup>de</sup> ±1.12	0.914 <sup>cde</sup> ±0.00	3.30 <sup>abc</sup> ±0.27	34.05 <sup>ef</sup> ±1.19	0.39 <sup>b</sup> ±0.07
	HPMC×0.50×30	70.32 <sup>cd</sup> ±0.44	0.85 <sup>a</sup> ±0.44	15.65 <sup>f</sup> ±0.72	0.927 <sup>ab</sup> ±0.00	2.86 <sup>bcdef</sup> ±0.13	36.33 <sup>abc</sup> ±0.62	0.25 <sup>a</sup> ±0.02

ตารางที่ 24 (ต่อ)

ปัจจัย		ค่าสี			$a_w$	ปริมาตรจำเพาะ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	ความชื้น (%)	syneresis (%)
		L	a*	b*				
สารไฮโดรคอลลอยด์ x	HPMCx0.75x10	70.35 <sup>cd</sup> ±1.00	0.55 <sup>abc</sup> ±1.00	17.72 <sup>de</sup> ±1.15	0.930 <sup>ab</sup> ±0.00	2.74 <sup>bcdefg</sup> ±0.08	37.40 <sup>a</sup> ±0.63	0.93 <sup>h</sup> ±0.01
ระดับความเข้มข้นของ	HPMCx0.75x20	70.26 <sup>cd</sup> ±0.81	0.55 <sup>abc</sup> ±0.81	15.34 <sup>f</sup> ±0.98	0.931 <sup>a</sup> ±0.00	2.82 <sup>bcdef</sup> ±0.24	37.03 <sup>ab</sup> ±0.33	0.54 <sup>defg</sup> ±0.08
สารไฮโดรคอลลอยด์	HPMCx0.75x30	75.55 <sup>cd</sup> ±0.63	0.54 <sup>abc</sup> ±0.63	16.56 <sup>ef</sup> ±0.97	0.929 <sup>ab</sup> ±0.00	2.74 <sup>bcdefg</sup> ±0.34	37.21 <sup>a</sup> ±0.39	0.50 <sup>bcde</sup> ±0.07
(%) ระดับการทดแทน	AEx0.25x10	70.36 <sup>b</sup> ±0.51	0.94 <sup>a</sup> ±0.51	19.13 <sup>d</sup> ±1.09	0.926 <sup>ab</sup> ±0.00	3.41 <sup>ab</sup> ±0.33	35.90 <sup>abcd</sup> ±0.67	0.69 <sup>g</sup> ±0.04
แป้งข้าวคัดแปร (%)	AEx0.25x20	75.40 <sup>b</sup> ±0.37	-0.41 <sup>bcdef</sup> ±0.37	21.14 <sup>c</sup> ±1.66	0.927 <sup>ab</sup> ±0.00	3.08 <sup>abcde</sup> ±0.07	35.83 <sup>abcd</sup> ±0.09	0.54 <sup>defg</sup> ±0.03
	AEx0.25x30	75.78 <sup>b</sup> ±0.76	0.15 <sup>abcde</sup> ±0.76	24.32 <sup>a</sup> ±1.26	0.923 <sup>abc</sup> ±0.01	3.03 <sup>abcde</sup> ±0.63	36.12 <sup>abcd</sup> ±1.02	0.61 <sup>efg</sup> ±0.12
	AEx0.50x10	75.91 <sup>b</sup> ±1.15	-1.08 <sup>f</sup> ±1.15	23.23 <sup>abc</sup> ±2.19	0.925 <sup>ab</sup> ±0.00	2.68 <sup>cdefg</sup> ±0.09	36.56 <sup>abc</sup> ±0.65	0.70 <sup>g</sup> ±0.10
	AEx0.50x20	75.57 <sup>b</sup> ±0.50	-0.17 <sup>abcdef</sup> ±0.50	21.29 <sup>c</sup> ±1.38	0.921 <sup>abcd</sup> ±0.00	3.19 <sup>abcd</sup> ±0.33	36.25 <sup>abc</sup> ±0.75	0.47 <sup>bcd</sup> ±0.07
	AEx0.50x30	75.54 <sup>b</sup> ±1.39	-0.47 <sup>cdef</sup> ±1.39	23.70 <sup>ab</sup> ±0.31	0.925 <sup>ab</sup> ±0.00	2.55 <sup>defg</sup> ±0.04	35.46 <sup>bcde</sup> ±0.53	0.42 <sup>bc</sup> ±0.03
	AEx0.75x10	77.68 <sup>a</sup> ±1.54	-1.00 <sup>f</sup> ±1.54	23.05 <sup>abc</sup> ±0.49	0.920 <sup>bcd</sup> ±0.00	2.46 <sup>efg</sup> ±0.43	36.93 <sup>ab</sup> ±1.20	0.71 <sup>g</sup> ±0.02
	AEx0.75x20	76.59 <sup>ab</sup> ±1.38	-0.60 <sup>def</sup> ±1.38	22.94 <sup>abc</sup> ±0.37	0.925 <sup>ab</sup> ±0.00	2.09 <sup>g</sup> ±0.19	36.98 <sup>ab</sup> ±0.27	0.56 <sup>def</sup> ±0.06
	AEx0.75x30	75.26 <sup>b</sup> ±0.58	-0.76 <sup>ef</sup> ±0.58	21.01 <sup>bc</sup> ±1.70	0.900 <sup>gh</sup> ±0.00	2.19 <sup>fg</sup> ±0.24	33.65 <sup>f</sup> ±2.15	0.49 <sup>bcde</sup> ±0.07

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสทมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 25 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมสาหร่ายที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวหอมมะลิติดแปรที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ

ปัจจัย		Hardness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
ปัจจัยเดี่ยว						
สารไฮโดรคอลลอยด์	HPMC	1224.35 <sup>ns</sup> ±183.83	4.39 <sup>b</sup> ±0.59	0.83 <sup>a</sup> ±0.02	1006.62 <sup>ns</sup> ±124.18	4229.87 <sup>a</sup> ±429.59
	AE	1137.31 <sup>ns</sup> ±170.14	4.83 <sup>a</sup> ±0.29	0.85 <sup>b</sup> ±0.02	955.71 <sup>ns</sup> ±123.85	4530.77 <sup>b</sup> ±610.82
ปัจจัยเดี่ยว						
ระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ (%)	0.25	1180.47 <sup>ns</sup> ±215.58	4.66 <sup>ns</sup> ±0.66	0.84 <sup>ns</sup> ±0.03	978.01 <sup>ab</sup> ±141.12	4263.17 <sup>a</sup> ±457.13
	0.50	1115.97 <sup>ns</sup> ±161.81	4.58 <sup>ns</sup> ±0.46	0.84 <sup>ns</sup> ±0.02	917.05 <sup>a</sup> ±108.16	4031.79 <sup>a</sup> ±402.74
	0.75	1239.48 <sup>ns</sup> ±139.08	4.58 <sup>ns</sup> ±0.39	0.84 <sup>ns</sup> ±0.02	1041.39 <sup>b</sup> ±85.83	4787.71 <sup>b</sup> ±397.92
ปัจจัยเดี่ยว						
ระดับการทดแทนแป้งข้าวตัดแปร (%)	10	1179.42 <sup>ns</sup> ±221.26	4.53 <sup>ns</sup> ±0.65	0.84 <sup>ns</sup> ±0.03	994.74 <sup>ns</sup> ±149.77	4290.04 <sup>ns</sup> ±516.80
	20	1163.12 <sup>ns</sup> ±153.47	4.63 <sup>ns</sup> ±0.30	0.84 <sup>ns</sup> ±0.02	947.08 <sup>ns</sup> ±117.61	4350.00 <sup>ns</sup> ±471.44
	30	1199.95 <sup>ns</sup> ±169.53	4.66 <sup>ns</sup> ±0.54	0.84 <sup>ns</sup> ±0.02	1001.66 <sup>ns</sup> ±104.72	4500.91 <sup>ns</sup> ±640.65
ปัจจัยร่วม						
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ (%)	HPMC×0.25	1296.45 <sup>a</sup> ±232.57	4.33 <sup>b</sup> ±0.81	0.83 <sup>a</sup> ±0.02	1051.82 <sup>bc</sup> ±158.56	4029.03 <sup>a</sup> ±532.87
	HPMC×0.50	1175.62 <sup>ab</sup> ±154.64	4.40 <sup>b</sup> ±0.59	0.83 <sup>a</sup> ±0.02	956.89 <sup>ab</sup> ±113.25	4085.52 <sup>a</sup> ±129.64
	HPMC×0.75	1200.97 <sup>ab</sup> ±150.65	4.42 <sup>b</sup> ±0.35	0.84 <sup>ab</sup> ±0.02	1011.15 <sup>bc</sup> ±83.93	4575.05 <sup>b</sup> ±310.08

ตารางที่ 25 (ต่อ)

ปัจจัย		Hardness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับ	AE×0.25	1064.50 <sup>a</sup> ±120.02	4.99 <sup>a</sup> ±0.20	0.86 <sup>b</sup> ±0.03	904.20 <sup>a</sup> ±70.11	4497.30 <sup>b</sup> ±191.75
ความเข้มข้นของสารไฮโดร	AE×0.50	1049.16 <sup>a</sup> ±150.77	4.75 <sup>ab</sup> ±0.20	0.85 <sup>b</sup> ±0.01	870 <sup>a</sup> .43±88.50	3952.36 <sup>a</sup> ±563.82
คอลลอยด์ (%)	AE×0.75	1298.28 <sup>a</sup> ±114.40	4.74 <sup>ab</sup> ±0.39	0.83 <sup>a</sup> ±0.02	1092.49 <sup>c</sup> ±69.92	5142.64 <sup>c</sup> ±243.14
ปัจจัยรวม						
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับการ	HPMC×10	1253.07 <sup>ns</sup> ±244.35	4.19 <sup>c</sup> ±0.75	0.83 <sup>a</sup> ±0.02	1025.25 <sup>ns</sup> ±178.32	3901.08 <sup>a</sup> ±429.74
ทดแทนแป้งข้าวดีดแปร (%)	HPMC×20	1154.11 <sup>ns</sup> ±129.67	4.55 <sup>abc</sup> ±0.32	0.84 <sup>ab</sup> ±0.01	950.94 <sup>ns</sup> ±59.65	4265.82 <sup>ab</sup> ±224.58
	HPMC×30	1265.86 <sup>ns</sup> ±157.78	4.41 <sup>bc</sup> ±0.62	0.84 <sup>ab</sup> ±0.02	1043.67 <sup>ns</sup> ±96.62	4522.71 <sup>b</sup> ±380.93
	AE×10	1105.77 <sup>ns</sup> ±179.23	4.87 <sup>ab</sup> ±0.30	0.85 <sup>b</sup> ±0.03	964.23 <sup>ns</sup> ±117.37	4679.01 <sup>b</sup> ±206.05
	AE×20	1172.12 <sup>ns</sup> ±181.81	4.70 <sup>ab</sup> ±0.27	0.85 <sup>a</sup> ±0.02	943.23 <sup>ns</sup> ±160.63	4434.18 <sup>b</sup> ±637.11
	AE×30	1134.04 <sup>ns</sup> ±162.50	4.91 <sup>a</sup> ±0.29	0.84 <sup>ab</sup> ±0.01	959.65 <sup>ns</sup> ±99.99	4479.12 <sup>b</sup> ±852.05
ปัจจัยรวม						
ระดับความเข้มข้นของสารไฮโดร	0.25×10	1050.73 <sup>ns</sup> ±310.91	4.41 <sup>ab</sup> ±1.11	0.84 <sup>ns</sup> ±0.05	1047.04±225.11	3923.35 <sup>ab</sup> ±635.95
คอลลอยด์ (%) × ระดับการ	0.25×20	1127.53 <sup>ns</sup> ±164.24	4. <sup>6ab5</sup> ±0.24	0.85 <sup>ns</sup> ±0.01	940.79 <sup>abc</sup> ±71.85	4268.75 <sup>bc</sup> ±85.20
ทดแทนแป้งข้าวดีดแปร (%)	0.25×30	1188.05 <sup>ns</sup> ±168.72	4.93 <sup>a</sup> ±0.22	0.84 <sup>ns</sup> ±0.01	946.18 <sup>abc</sup> ±57.19	4579.40 <sup>cd</sup> ±161.67

ตารางที่ 25 (ต่อ)

ปัจจัย		Hardness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
ระดับความเข้มข้นของสารไฮโดร	0.50×10	1039.95 <sup>ns</sup> ±94.13	4.83±0.11	0.85 <sup>ns</sup> ±0.01	903.46 <sup>ab</sup> ±61.96	4365.41 <sup>bc</sup> ±343.51
คอลลอยด์ (%) × ระดับการ	0.50×20	1111.27 <sup>ns</sup> ±125.34	4.72±0.23	0.85 <sup>ns</sup> ±0.02	845.72 <sup>a</sup> ±79.68	3923.13 <sup>ab</sup> ±207.23
ทดแทนแป้งข้าวดีดแปร (%)	0.50×30	1185.95 <sup>ns</sup> ±227.29	4.18 <sup>b</sup> ±0.62	0.83 <sup>ns</sup> ±0.03	982.81 <sup>abc</sup> ±139.85	3768.28 <sup>a</sup> ±400.08
	0.75×10	1272.47 <sup>ns</sup> ±156.87	4.36±0.25	0.82 <sup>ns</sup> ±0.01	1033.70 <sup>bc</sup> ±81.56	4581.37 <sup>cd</sup> ±340.02
	0.75×20	1250.55 <sup>ns</sup> ±153.22	4.51±0.40	0.84 <sup>ns</sup> ±0.02	1045.74 <sup>bc</sup> ±116.42	4164.09 <sup>de</sup> ±411.19
	0.75×30	1225.85 <sup>ns</sup> ±127.99	4.87 <sup>a</sup> ±0.37	0.85 <sup>ns</sup> ±0.02	1076.01 <sup>c</sup> ±60.83	5137.51 <sup>de</sup> ±261.53
ปัจจัยรวม						
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับ	HPMC×0.25×10	1488.89 <sup>f</sup> ±184.33	3.63 <sup>d</sup> ±1.11	0.81 <sup>a</sup> ±0.02	1240.13 <sup>g</sup> ±86.23	3359.10 <sup>a</sup> ±179.83
ความเข้มข้นของสารไฮโดร	HPMC×0.25×20	1211.67 <sup>abcde</sup> ±213.58	4.46 <sup>bc</sup> ±0.19	0.84 <sup>abcd</sup> ±0.00	987.12 <sup>cde</sup> ±79.88	4205.12 <sup>cd</sup> ±74.73
คอลลอยด์ (%) × ระดับการ	HPMC×0.25×30	1188.79 <sup>abcde</sup> ±230.33	4.91 <sup>ab</sup> ±0.25	0.84 <sup>abcd</sup> ±0.01	928.22 <sup>bc</sup> ±66.07	4522.88 <sup>cf</sup> ±110.94
ทดแทนแป้งข้าวดีดแปร (%)	HPMC×0.50×10	1037.51 <sup>abc</sup> ±51.69	4.77 <sup>abc</sup> ±0.13	0.85 <sup>abcd</sup> ±0.01	853.01 <sup>ab</sup> ±6.48	4063.94 <sup>c</sup> ±78.75
	HPMC×0.50×20	1136.21 <sup>abcde</sup> ±107.99	4.74 <sup>abc</sup> ±0.36	0.84 <sup>abcd</sup> ±0.02	920.49 <sup>bc</sup> ±53.07	4082.82 <sup>cd</sup> ±142.73
	HPMC×0.50×30	1353.13 <sup>def</sup> ±55.73	3.69 <sup>d</sup> ±0.36	0.81 <sup>ab</sup> ±0.01	1097.17 <sup>f</sup> ±27.35	4109.79 <sup>cd</sup> ±197.62
	HPMC×0.75×10	1232.81 <sup>abcdef</sup> ±220.10	4.19 <sup>cd</sup> ±0.20	0.82 <sup>abc</sup> ±0.02	982.60 <sup>cde</sup> ±56.82	4280.20 <sup>cde</sup> ±64.62
	HPMC×0.75×20	1114.45 <sup>abcde</sup> ±46.56	4.46 <sup>bc</sup> ±0.40	0.85 <sup>bcd</sup> ±0.02	945.21 <sup>bcd</sup> ±40.38	4509.51 <sup>ef</sup> ±175.94
	HPMC×0.75×30	1255.65 <sup>bcdef</sup> ±151.42	4.62 <sup>abc</sup> ±0.37	0.86 <sup>cd</sup> ±0.02	1105.63 <sup>f</sup> ±46.72	4935.45 <sup>h</sup> ±133.40
	AEx0.25×10	962.81 <sup>a</sup> ±10.74	5.19 <sup>a</sup> ±0.10	0.87 <sup>d</sup> ±0.05	854.00 <sup>ab</sup> ±86.15	4487.61 <sup>ef</sup> ±53.66
	AEx0.25×20	1043.39 <sup>abc</sup> ±24.14	4.84 <sup>abc</sup> ±0.03	0.86 <sup>cd</sup> ±0.01	894.46 <sup>abc</sup> ±9.32	4332.39 <sup>de</sup> ±20.32



ตารางที่ 25 (ต่อ)

ปัจจัย		Hardness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
สารไฮโดรคอลลอยด์ x ระดับ	AEx0.25x30	1187.30 <sup>abcde</sup> ±134.60	4.94 <sup>ab</sup> ±0.25	0.84 <sup>abd</sup> ±0.00	964.13 <sup>bcd</sup> ±53.34	4671.91 <sup>fg</sup> ±190.74
ความเข้มข้นของสารไฮโดร	AEx0.50x10	1042.39 <sup>abc</sup> ±139.50	4.89 <sup>abc</sup> ±0.01	0.86 <sup>cd</sup> ±0.01	953.90 <sup>bcd</sup> ±43.82	4666.87 <sup>fg</sup> ±127.08
คอลลอยด์ (๔) ระดับการทดแทน	AEx0.50x20	1086.33 <sup>abcd</sup> ±160.46	4.69 <sup>abc</sup> ±0.00	0.86 <sup>cd</sup> ±0.00	788.95 <sup>s</sup> ±9.01	3763.44 <sup>b</sup> ±102.39
แป้งข้าวตัดแปร (%)	AEx0.50x30	1018.76 <sup>ab</sup> ±205.40	4.67 <sup>abc</sup> ±0.34	0.85 <sup>cd</sup> ±0.02	868.44 <sup>ab</sup> ±94.39	3426.78 <sup>a</sup> ±106.00
	AEx0.75x10	1321.12 <sup>cdef</sup> ±91.40	4.53 <sup>abc</sup> ±0.15	0.83 <sup>abc</sup> ±0.01	1084.80 <sup>ef</sup> ±74.63	4882.54 <sup>hi</sup> ±112.95
	AEx0.75x20	1386.66 <sup>ef</sup> ±30.88	4.56 <sup>abc</sup> ±0.49	0.83 <sup>abc</sup> ±0.02	1146.28 <sup>fg</sup> ±43.99	5206.71 <sup>i</sup> ±164.83
	AEx0.75x30	1196.05 <sup>abcde</sup> ±123.93	5.11 <sup>ab</sup> ±0.16	0.84 <sup>abcd</sup> ±0.01	1046.39 <sup>def</sup> ±66.62	5338.66 <sup>i</sup> ±176.81

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 26 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมสาหร่ายที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวหอมมะลิที่ดัดแปรที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ

ตัวอย่างขนมสาหร่าย	สี	กลิ่น <sup>ns</sup>	รสชาติ <sup>ns</sup>	เนื้อสัมผัส <sup>ns</sup>	ความชอบโดยรวม
HPMC×0.25×10	7.00 <sup>ab</sup> ±1.46	6.57±1.48	6.30±1.39	6.30±1.53	6.66 <sup>b</sup> ±1.23
HPMC×0.25×20	7.13 <sup>ab</sup> ±1.28	6.37±1.67	6.07±1.46	6.23±1.43	6.41 <sup>b</sup> ±1.24
HPMC×0.25×30	7.20 <sup>ab</sup> ±1.42	6.33±1.45	6.17±1.53	6.23±1.61	6.45 <sup>b</sup> ±1.15
HPMC×0.50×10	7.07 <sup>ab</sup> ±1.39	6.27±1.44	6.10±1.42	6.07±1.51	6.14 <sup>b</sup> ±1.38
HPMC×0.50×20	7.27 <sup>a</sup> ±1.39	6.37±1.52	6.20±1.47	6.10±1.79	6.45 <sup>b</sup> ±1.48
HPMC×0.50×30	6.03 <sup>c</sup> ±1.81	5.73±1.48	6.10±1.42	6.30±1.42	6.20 <sup>b</sup> ±1.37
HPMC×0.75×10	6.47 <sup>abc</sup> ±1.28	5.83±1.26	6.03±1.59	6.30±1.24	6.27 <sup>b</sup> ±1.23
HPMC×0.75×20	6.70 <sup>abc</sup> ±1.21	6.00±1.49	6.10±1.63	6.27±1.44	7.47 <sup>a</sup> ±1.22
HPMC×0.75×30	6.97 <sup>ab</sup> ±1.03	6.07±1.20	6.33±1.60	6.43±1.43	6.23 <sup>b</sup> ±1.52
AE×0.25×10	6.50 <sup>abc</sup> ±1.36	6.07±1.89	6.00±1.91	5.77±1.94	6.20 <sup>b</sup> ±1.52
AE×0.25×20	6.43 <sup>abc</sup> ±1.61	6.20±1.71	6.57±1.45	6.37±1.65	6.63 <sup>b</sup> ±1.25
AE×0.25×30	6.53 <sup>abc</sup> ±1.55	6.30±1.86	6.60±1.52	6.47±1.50	6.68 <sup>b</sup> ±1.43
AE×0.50×10	6.30 <sup>bc</sup> ±1.39	6.00±1.64	6.20±1.52	6.33±1.42	6.65 <sup>b</sup> ±1.55
AE×0.50×20	6.37 <sup>abc</sup> ±1.61	5.80±1.94	5.93±1.64	6.50±1.38	6.60 <sup>b</sup> ±1.35
AE×0.50×30	6.53 <sup>abc</sup> ±1.46	5.83±1.74	5.93±1.80	6.03±1.56	6.30 <sup>b</sup> ±1.39
AE×0.75×10	6.63 <sup>abc</sup> ±1.73	6.17±1.93	6.40±1.79	6.40±1.98	6.73 <sup>b</sup> ±1.51
AE×0.75×20	6.63 <sup>abc</sup> ±1.45	5.97±1.90	6.23±1.83	6.47±1.76	6.72 <sup>b</sup> ±1.55
AE×0.75×30	6.43 <sup>abc</sup> ±1.50	6.27±1.84	6.73±1.39	6.53±1.57	6.48 <sup>b</sup> ±1.55

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างในแนวสดมภ์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

เมื่อทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยข้าวกล้องหอมมะลิที่ดัดแปรที่การทดแทน 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 % ของน้ำหนักแป้ง ร่วมกับการเติมสารไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ได้แก่ HPMC และ AE ที่ระดับ 3 ความเข้มข้น คือ 0.25 0.50 และ 0.75 % ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด และแช่เยือกแข็งขนมสาหร่ายในตู้แช่เยือกแข็งแล้วทำการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ จำนวน 5 รอบ พบว่า สารไฮโดรคอลลอยด์

ทั้ง 2 ชนิด ส่งผลให้ขนมสาลีที่มีค่า  $a_w$  ความชื้น % syneresis ค่า hardness, springiness, cohesiveness, gumminess และ chewiness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ส่วนระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ พบว่า ความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ทำให้ขนมสาลีที่มีค่า % syneresis ปริมาตรจำเพาะ springiness และ chewiness ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยเมื่อความระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มขึ้น ค่า hardness และ gumminess มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ขณะที่ระดับการทดแทนแป้งข้าวตัดแปรเพิ่มขึ้น ขนมสาลีมี % syneresis ลดลง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) (ตารางที่ 27, 28)

เมื่อศึกษาอิทธิพลร่วมระหว่างสารไฮโดรคอลลอยด์และระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ พบว่า เมื่อระดับการทดแทนแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปรเพิ่มขึ้น ขนมสาลีมีค่า % syneresis มีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจากแป้งข้าวตัดแปรที่ใช้ในการทดแทนมีสมบัติในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง แต่ค่า  $a_w$  ปริมาตรจำเพาะและความชื้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) และอิทธิพลของระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ร่วมกับระดับการทดแทนแป้งข้าวตัดแปร พบว่า เมื่อระดับการทดแทนแป้งข้าวตัดแปรเพิ่มขึ้น ขนมสาลีมีค่า % syneresis มีแนวโน้มลดลง อาจเนื่องมาจากแป้งข้าวตัดแปรที่ใช้ทดแทนมีสมบัติในการช่วยให้คงตัวต่อการแช่เยือก-ละลายน้ำแข็งโดยมี hardness และ gumminess ต่ำที่สุด (ตารางที่ 27, 28)

เมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 29) พบว่า ขนมสาลีที่ทดแป้งแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรที่ 20 % ร่วมกับการเติม AE 0.50 % มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\leq 0.05$ ) ซึ่งค่ากลิ่น รส และเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ดังนั้นจึงเลือกสูตรดังกล่าวไปทดลองในขั้นต่อไป

ตารางที่ 27 สมบัติทางเคมี กายภาพและหน้าที่ของขนมสาลีที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิทดแปรที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ

ปัจจัย		ค่าสี			a <sub>w</sub>	ปริมาตรจำเพาะ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	ความชื้น (%)	syneresis (%)
		L	a*	b*				
ปัจจัยเดี่ยว								
สารไฮโดรคอลลอยด์	HPMC	68.31 <sup>b</sup> ±1.36	0.21 <sup>ns</sup> ±0.99	18.07 <sup>b</sup> ±1.66	0.906 <sup>b</sup> ±0.01	3.56 <sup>a</sup> ±0.64	34.11 <sup>ns</sup> ±1.27	0.67 <sup>ns</sup> ±0.19
	AE	73.14 <sup>a</sup> ±3.38	-0.02 <sup>ns</sup> ±0.79	19.61 <sup>a</sup> ±2.73	0.923 <sup>a</sup> ±0.01	2.55 <sup>b</sup> ±0.52	36.37 <sup>ns</sup> ±2.06	0.76 <sup>ns</sup> ±0.21
ปัจจัยเดี่ยว								
ระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ (%)	0.25	72.29 <sup>a</sup> ±4.10	0.00 <sup>ns</sup> ±0.86	20.25 <sup>a</sup> ±2.17	0.907 <sup>b</sup> ±0.01	3.18 <sup>ns</sup> ±1.11	34.22 <sup>b</sup> ±1.85	0.73 <sup>ns</sup> ±0.24
	0.50	71.24 <sup>a</sup> ±3.68	0.21 <sup>ns</sup> ±0.63	19.11 <sup>a</sup> ±1.88	0.918 <sup>a</sup> ±0.01	2.91 <sup>ns</sup> ±0.57	35.72 <sup>a</sup> ±1.73	0.70 <sup>ns</sup> ±0.14
	0.75	69.00 <sup>b</sup> ±1.17	0.06 <sup>ns</sup> ±1.15	17.46 <sup>b</sup> ±2.07	0.917 <sup>a</sup> ±0.01	3.08 <sup>ns</sup> ±0.49	35.62 <sup>a</sup> ±2.22	0.72 <sup>ns</sup> ±0.23
ปัจจัยเดี่ยว								
ระดับการทดแทนแป้งข้าวสาลี (%)	10	71.41 <sup>ns</sup> ±3.89	0.24 <sup>ns</sup> ±0.57	18.12 <sup>ns</sup> ±2.41	0.914 <sup>ns</sup> ±0.01	3.07 <sup>ns</sup> ±0.57	35.16 <sup>ns</sup> ±1.64	0.83 <sup>b</sup> ±0.15
	20	70.94 <sup>ns</sup> ±3.66	0.18 <sup>ns</sup> ±0.68	18.73 <sup>ns</sup> ±2.41	0.916 <sup>ns</sup> ±0.01	3.06 <sup>ns</sup> ±0.95	35.15 <sup>ns</sup> ±2.23	0.71 <sup>a</sup> ±0.19
	30	69.83 <sup>ns</sup> ±2.98	-0.14 <sup>ns</sup> ±1.27	19.66 <sup>ns</sup> ±2.41	0.913 <sup>ns</sup> ±0.01	3.04 <sup>ns</sup> ±0.79	35.41 <sup>ns</sup> ±2.31	0.61 <sup>a</sup> ±0.21
ปัจจัยร่วม								
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ (%)	HPMC×0.25	68.55 <sup>c</sup> ±1.53	0.74 <sup>a</sup> ±0.31	18.47 <sup>c</sup> ±1.27	0.901 <sup>c</sup> ±0.01	3.92 <sup>a</sup> ±0.97	34.11 <sup>b</sup> ±1.33	0.72 <sup>ab</sup> ±0.22
	HPMC×0.50	68.38 <sup>c</sup> ±1.63	0.45 <sup>ab</sup> ±0.36	17.81 <sup>cd</sup> ±1.53	0.909 <sup>b</sup> ±0.01	3.26 <sup>b</sup> ±0.3	34.30 <sup>b</sup> ±0.76	0.73 <sup>ab</sup> ±0.13
	HPMC×0.75	67.99 <sup>b</sup> ±0.89	-0.57 <sup>cd</sup> ±1.37	17.93 <sup>cd</sup> ±2.18	0.909 <sup>b</sup> ±0.01	3.50 <sup>ab</sup> ±0.28	33.92 <sup>b</sup> ±1.68	0.56 <sup>a</sup> ±0.17

ตารางที่ 27 (ต่อ)

ปัจจัย		ค่าสี			$a_w$	ปริมาณจำเพาะ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	ความชื้น (%)	syneresis (%)
		L	a*	b*				
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับความ เข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ (%)	AE×0.25	76.04 <sup>a</sup> ±1.31	-0.74 <sup>d</sup> ±0.47	22.04 <sup>a</sup> ±1.12	0.912 <sup>b</sup> ±0.01	2.45 <sup>c</sup> ±0.68	34.33 <sup>b</sup> ±2.35	0.75 <sup>ab</sup> ±0.26
	AE×0.50	73.99 <sup>a</sup> ±2.90	0.00 <sup>bc</sup> ±0.77	20.28 <sup>b</sup> ±33	0.929 <sup>a</sup> ±0.00	2.53 <sup>c</sup> ±0.58	37.30 <sup>a</sup> ±0.87	0.65 <sup>a</sup> ±0.15
	AE×0.75	69.40 <sup>c</sup> ±1.00	0.67 <sup>ab</sup> ±0.25	16.51 <sup>d</sup> ±1.80	0.927 <sup>a</sup> ±0.01	2.67 <sup>c</sup> ±0.19	37.48 <sup>a</sup> ±0.75	0.89 <sup>c</sup> ±0.16
ปัจจัยร่วม								
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับการ ทดแทนแป้งข้าวดีดแปรร (%)	HPMC×10	68.62 <sup>c</sup> ±1.45	0.56 <sup>a</sup> ±0.39	17.28 <sup>b</sup> ±1.11	0.907 <sup>bc</sup> ±0.01	3.42 <sup>a</sup> ±0.34	34.00 <sup>cd</sup> ±1.16	0.75 <sup>bc</sup> ±0.10
	HPMC×20	68.17 <sup>c</sup> ±1.24	0.47 <sup>ab</sup> ±0.27	17.84 <sup>b</sup> ±1.47	0.910 <sup>b</sup> ±0.01	3.60 <sup>a</sup> ±0.94	34.86 <sup>bcd</sup> ±1.00	0.73 <sup>b</sup> ±0.16
	HPMC×30	68.13 <sup>c</sup> ±1.64	-0.41 <sup>b</sup> ±1.51	19.09 <sup>ab</sup> ±1.91	0.900 <sup>c</sup> ±0.01	3.66 <sup>a</sup> ±0.55	33.47 <sup>d</sup> ±1.35	0.52 <sup>a</sup> ±0.21
	AE×10	74.19 <sup>a</sup> ±3.56	-0.08 <sup>ab</sup> ±0.56	18.96 <sup>ab</sup> ±3.09	0.921 <sup>a</sup> ±0.01	2.71 <sup>b</sup> ±0.53	36.33 <sup>ab</sup> ±1.14	0.91 <sup>c</sup> ±0.15
	AE×20	73.71 <sup>ab</sup> ±3.11	-0.12 <sup>ab</sup> ±0.85	19.63 <sup>ab</sup> ±2.90	0.921 <sup>a</sup> ±0.01	2.52 <sup>b</sup> ±0.62	35.43 <sup>bc</sup> ±3.06	0.68 <sup>ab</sup> ±0.23
	AE×30	71.53 <sup>b</sup> ±3.21	0.13 <sup>ab</sup> ±0.97	20.24 <sup>a</sup> ±2.30	0.925 <sup>a</sup> ±0.00	2.41 <sup>b</sup> ±0.40	37.34 <sup>a</sup> ±1.07	0.70 <sup>ab</sup> ±0.18
ปัจจัยร่วม								
ระดับความเข้มข้นของสารไฮโดร คอลลอยด์ (%) × ระดับการทดแทน แป้งข้าวดีดแปรร (%)	0.25×10	73.54 <sup>a</sup> ±4.22	0.34 <sup>a</sup> ±0.69	19.81 <sup>ab</sup> ±2.02	0.907 <sup>bc</sup> ±0.01	3.02±0.72	34.92 <sup>ab</sup> ±1.50	0.87 <sup>b</sup> ±0.13
	0.25×20	71.44 <sup>ab</sup> ±4.45	-0.11 <sup>ab</sup> ±0.87	19.71 <sup>ab</sup> ±2.16	0.903 <sup>c</sup> ±0.00	3.53±1.45	32.97 <sup>c</sup> ±1.87	0.68 <sup>ab</sup> ±0.29
	0.25×30	71.90 <sup>ab</sup> ±4.07	-0.23±1.02	21.25 <sup>a</sup> ±2.34	0.910 <sup>abc</sup> ±0.01	3.00 <sup>ns</sup> ±1.18	34.78 <sup>ab</sup> ±1.75	0.65 <sup>ab</sup> ±0.23
	0.50×10	71.60 <sup>ab</sup> ±4.56	-0.11 <sup>ab</sup> ±0.55	18.90 <sup>b</sup> ±1.77	0.918 <sup>ab</sup> ±0.01	3.02 <sup>ns</sup> ±0.59	35.40 <sup>ab</sup> ±1.63	0.78 <sup>ab</sup> ±0.14
	0.50×20	72.29 <sup>ab</sup> ±4.30	0.14 <sup>ab</sup> ±0.70	20.18 <sup>ab</sup> ±1.98	0.924 <sup>a</sup> ±0.01	2.68 <sup>ns</sup> ±0.62	36.04 <sup>a</sup> ±1.34	0.67 <sup>ab</sup> ±0.08
	0.50×30	69.67 <sup>ab</sup> ±1.53	0.65 <sup>a</sup> ±0.44	18.04 <sup>bc</sup> ±1.49	0.915 <sup>abc</sup> ±0.02	2.99 <sup>ns</sup> ±0.53	35.96 <sup>a</sup> ±2.33	0.63 <sup>ab</sup> ±0.16

ตารางที่ 27 (ต่อ)

ปัจจัย		ค่าสี			$a_w$	ปริมาณจำเพาะ (กรัม/ชม. <sup>3</sup> )	ความชื้น (%)	syneresis (%)
		L	a*	b*				
ระดับความเข้มข้นของสารไฮโดร	0.75×10	69.08 <sup>ab</sup> ±0.95	0.48 <sup>a</sup> ±0.32	15.64 <sup>d</sup> ±1.04	0.918 <sup>ab</sup> ±0.01	3.16 <sup>ns</sup> ±0.46	35.17 <sup>ab</sup> ±2.01	0.85 <sup>b</sup> ±0.19
คอลลอยด์ (%) × ระดับการทดแทน	0.75×20	69.09 <sup>ab</sup> ±0.91	0.50 <sup>a</sup> ±0.31	16.32 <sup>cd</sup> ±0.73	0.922 <sup>ab</sup> ±0.01	2.97 <sup>ns</sup> ±0.37	36.44 <sup>a</sup> ±1.71	0.77 <sup>ab</sup> ±0.17
แป้งข้าวตัดแปร (%)	0.75×30	67.92 <sup>b</sup> ±1.35	-0.83 <sup>b</sup> ±1.70	19.70 <sup>ab</sup> ±1.30	0.914 <sup>abc</sup> ±0.02	3.13 <sup>ns</sup> ±0.66	35.48 <sup>ab</sup> ±2.97	0.55 <sup>a</sup> ±0.26
ปัจจัยร่วม								
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับความ	HPMC×0.25×10	69.77 <sup>bc</sup> ±0.78	0.90 <sup>a</sup> ±0.45	18.12 <sup>efg</sup> ±1.22	0.899 <sup>e</sup> ±0.01	3.57 <sup>abc</sup> ±0.47	34.45 <sup>def</sup> ±1.77	0.76 <sup>def</sup> ±0.02
เข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ (%)	HPMC×0.25×20	67.54 <sup>cd</sup> ±1.77	0.66 <sup>a</sup> ±0.19	17.82 <sup>efg</sup> ±0.85	0.903 <sup>e</sup> ±0.00	4.35 <sup>a</sup> ±1.47	34.48 <sup>def</sup> ±1.29	0.94 <sup>fg</sup> ±0.03
ระดับการทดแทนแป้งข้าวตัดแปร	HPMC×0.25×30	68.34 <sup>bcd</sup> ±1.33	0.67 <sup>a</sup> ±0.29	19.47 <sup>cde</sup> ±1.40	0.301 <sup>e</sup> ±0.01	3.83 <sup>ab</sup> ±0.98	33.41 <sup>ef</sup> ±1.09	0.45 <sup>ab</sup> ±0.11
(%)	HPMC×0.50×10	67.60 <sup>cd</sup> ±1.89	0.37 <sup>ab</sup> ±0.21	17.35 <sup>fgh</sup> ±0.56	0.910 <sup>de</sup> ±0.00	3.13 <sup>bcd</sup> ±0.09	34.21 <sup>def</sup> ±1.09	0.79 <sup>def</sup> ±0.19
	HPMC×0.50×20	68.55 <sup>bcd</sup> ±1.42	0.51±0.33	18.95 <sup>cdef</sup> ±1.90	0.917 <sup>cd</sup> ±0.00	3.21 <sup>bcd</sup> ±0.21	34.84 <sup>cdef</sup> ±0.35	0.64 <sup>cd</sup> ±0.08
	HPMC×0.50×30	68.99 <sup>bcd</sup> ±1.88	0.47 <sup>a</sup> ±0.58	17.12 <sup>fgh</sup> ±1.58	0.900 <sup>e</sup> ±0.01	3.44 <sup>abc</sup> ±0.26	33.86 <sup>ef</sup> ±0.53	0.77 <sup>def</sup> ±0.05
	HPMC×0.75×10	68.50 <sup>bcd</sup> ±0.86	0.41 <sup>ab</sup> ±0.31	16.36 <sup>ghi</sup> ±0.91	0.913 <sup>cd</sup> ±0.00	3.56 <sup>abc</sup> ±0.24	33.34 <sup>ef</sup> ±0.29	0.71 <sup>de</sup> ±0.01
	HPMC×0.75×20	68.41 <sup>bcd</sup> ±0.32	0.25 <sup>ab</sup> ±0.11	16.75 <sup>ghi</sup> ±0.82	0.912 <sup>cd</sup> ±0.01	3.24 <sup>abcd</sup> ±0.19	35.27 <sup>bcde</sup> ±1.31	0.62 <sup>bcd</sup> ±0.05
	HPMC×0.75×30	67.06 <sup>d</sup> ±0.62	-2.73 <sup>e</sup> ±0.30	20.68 <sup>bc</sup> ±0.62	0.901 <sup>cd</sup> ±0.01	3.17 <sup>ab</sup> ±0.23	33.14 <sup>fg</sup> ±2.33	0.35 <sup>a</sup> ±0.13
	AE×0.25×10	77.31 <sup>a</sup> ±1.12	-0.22 <sup>bc</sup> ±0.26	21.50 <sup>ab</sup> ±0.41	0.915 <sup>e</sup> ±0.00	2.47 <sup>cd</sup> ±0.41	35.39 <sup>bcde</sup> ±1.37	0.99 <sup>g</sup> ±0.06
	AE×0.25×20	75.35 <sup>a</sup> ±0.70	-0.88 <sup>d</sup> ±0.26	21.59 <sup>ab</sup> ±0.60	0.902 <sup>e</sup> ±0.00	2.70 <sup>bcd</sup> ±1.02	31.45 <sup>g</sup> ±0.44	0.41 <sup>a</sup> ±0.02
	AE×0.25×30	75.46 <sup>a</sup> ±1.22	-1.13 <sup>d</sup> ±0.30	23.03 <sup>a</sup> ±1.49	0.920 <sup>bc</sup> ±0.00	2.17 <sup>d</sup> ±0.67	36.14 <sup>abcd</sup> ±0.96	0.84 <sup>efg</sup> ±0.06

ตารางที่ 27 (ต่อ)

ปัจจัย	ค่าสี			$a_w$	ปริมาณจำเพาะ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	ความชื้น (%)	syneresis (%)
	L	a*	b*				
AE×0.50×10	75.60 <sup>a</sup> ±0.64	-0.59 <sup>cd</sup> ±0.09	20.46 <sup>bcd</sup> ±0.54	0.927 <sup>ab</sup> ±0.00	2.90 <sup>bcd</sup> ±0.90	36.60 <sup>abc</sup> ±1.09	0.77 <sup>def</sup> ±0.11
AE×0.50×20	76.02 <sup>a</sup> ±1.48	-0.24 <sup>bc</sup> ±0.85	21.41 <sup>ab</sup> ±1.31	0.931 <sup>a</sup> ±0.01	2.16 <sup>d</sup> ±0.31	37.24 <sup>ab</sup> ±0.28	0.70 <sup>de</sup> ±0.08
AE×0.50×30	70.35 <sup>b</sup> ±0.97	0.83 <sup>a</sup> ±0.23	18.97 <sup>cdef</sup> ±0.69	0.929 <sup>ab</sup> ±0.00	2.53 <sup>cd</sup> ±0.12	38.05 <sup>a</sup> ±0.38	0.50 <sup>abc</sup> ±0.10
AE×0.75×10	69.66 <sup>bc</sup> ±0.73	0.55 <sup>a</sup> ±0.38	14.92 <sup>i</sup> ±0.54	0.922 <sup>abc</sup> ±0.01	2.76 <sup>bcd</sup> ±0.05	36.99 <sup>ab</sup> ±0.17	0.98 <sup>g</sup> ±0.17
AE×0.75×20	69.77 <sup>bc</sup> ±0.76	0.76 <sup>a</sup> ±0.20	15.88 <sup>hi</sup> ±0.28	0.931 <sup>a</sup> ±0.00	2.70 <sup>bcd</sup> ±0.29	37.61 <sup>a</sup> ±1.20	0.93 <sup>fg</sup> ±0.00
AE×0.75×30	68.77 <sup>bcd</sup> ±1.41	0.71 <sup>a</sup> ±0.21	18.71 <sup>def</sup> ±0.96	0.927 <sup>ab</sup> ±0.00	2.55 <sup>cd</sup> ±0.16	37.82 <sup>a</sup> ±0.48	0.75 <sup>def</sup> ±0.17

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 28 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมสาหร่ายที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ

ปัจจัย		Hardness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
ปัจจัยเดี่ยว						
สารไฮโดรคอลลอยด์	HPMC	1070.41 <sup>ns</sup> ±167.08	4.47 <sup>ns</sup> ±0.61	0.84 <sup>ns</sup> ±0.03	889.61 <sup>ns</sup> ±107.99	3967.67 <sup>ns</sup> ±592.06
	AE	1094.97 <sup>ns</sup> ±212.03	4.60 <sup>ns</sup> ±0.58	0.84 <sup>ns</sup> ±0.03	912.12 <sup>ns</sup> ±157.06	4221.27 <sup>ns</sup> ±821.51
ปัจจัยเดี่ยว						
ระดับความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ (%)	0.25	1015.98 <sup>a</sup> ±160.09	4.51 <sup>ns</sup> ±0.61	0.84 <sup>ab</sup> ±0.04	841.46 <sup>a</sup> ±101.05	3797.66 <sup>ns</sup> ±459.91
	0.50	1053.91 <sup>ab</sup> ±207.59	4.71 <sup>ns</sup> ±0.56	0.85 <sup>b</sup> ±0.03	901.90 <sup>ab</sup> ±141.80	4210.78 <sup>ns</sup> ±369.22
	0.75	1161.96 <sup>b</sup> ±168.84	4.40 <sup>ns</sup> ±0.59	0.82 <sup>a</sup> ±0.02	947.45 <sup>b</sup> ±136.70	4227.24 <sup>ns</sup> ±1063.69
ปัจจัยเดี่ยว						
ระดับการทดแทนแป้งข้าวสาลี (%)	10	1046.42 <sup>a</sup> ±142.96	4.33 <sup>b</sup> ±0.56	0.82 <sup>a</sup> ±0.03	860.11 <sup>a</sup> ±89.57	3745.92 <sup>a</sup> ±438.01
	20	1175.44 <sup>b</sup> ±156.06	4.46 <sup>ab</sup> ±0.49	0.83 <sup>ab</sup> ±0.03	978.47 <sup>b</sup> ±93.81	4319.15 <sup>b</sup> ±585.07
	30	1026.21 <sup>a</sup> ±230.78	4.82 <sup>a</sup> ±0.64	0.85 <sup>b</sup> ±0.03	864.01 <sup>a</sup> ±171.95	4218.35 <sup>b</sup> ±941.75
ปัจจัยร่วม						
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับ	HPMC×0.25	1022.59 <sup>a</sup> ±188.46	4.68 <sup>ab</sup> ±0.69	0.86 <sup>b</sup> ±0.04	850.24 <sup>a</sup> ±108.94	4028.86 <sup>ab</sup> ±435.67
ความเข้มข้นของสารไฮโดรคอลลอยด์ (%)	HPMC×0.50	1106.32 <sup>ab</sup> ±169.84	4.63 <sup>ab</sup> ±0.38	0.84 <sup>ab</sup> ±0.02	952.92 <sup>ab</sup> ±110.59	4354.41 <sup>b</sup> ±441.07
คอลลอยด์ (%)	HPMC×0.75	1082.32 <sup>a</sup> ±148.93	4.10 <sup>b</sup> ±0.60	0.82 <sup>a</sup> ±0.03	865.66 <sup>a</sup> ±83.08	3519.75 <sup>a</sup> ±597.26



ตารางที่ 28 (ต่อ)

ปัจจัย		Hardness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับ	AE×0.25	1009.38 <sup>a</sup> ±137.28	4.33 <sup>ab</sup> ±0.48	0.83 <sup>a</sup> ±0.02	832.69 <sup>a</sup> ±98.27	3566.46 <sup>a</sup> ±373.36
ความเข้มข้นของสารไฮโดร	AE×0.50	1005.72 <sup>a</sup> ±238.83	4.82 <sup>a</sup> ±0.71	0.86 <sup>b</sup> ±0.03	857.59 <sup>a</sup> ±159.33	4113.05 <sup>b</sup> ±249.75
คอลลอยด์ (%)	AE×0.75	1269.82 <sup>b</sup> ±136.45	4.66 <sup>ab</sup> ±0.46	0.82 <sup>a</sup> ±0.02	1046.08 <sup>a</sup> ±120.40	4984.29 <sup>c</sup> ±917.11
ปัจจัยร่วม						
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับการ	HPMC×10	1047.41 <sup>ns</sup> ±155.24	4.14 <sup>b</sup> ±0.68	0.82 <sup>a</sup> ±0.03	859.28 <sup>a</sup> ±85.26	3584.94 <sup>a</sup> ±568.03
ทดแทนแป้งข้าวดีดแปร (%)	HPMC×20	1145.47 <sup>ns</sup> ±166.87	4.61 <sup>ab</sup> ±0.55	0.85 <sup>ab</sup> ±0.03	948.28 <sup>ab</sup> ±101.01	4302.19 <sup>b</sup> ±688.05
	HPMC×30	1018.34 <sup>ns</sup> ±169.70	4.66 <sup>ab</sup> ±0.52	0.85 <sup>ab</sup> ±0.03	861.25 <sup>a</sup> ±120.89	4015.88 <sup>ab</sup> ±223.35
	AE×10	1045.43 <sup>ns</sup> ±139.03	4.52 <sup>ab</sup> ±0.34	0.83 <sup>ab</sup> ±0.02	860.94 <sup>a</sup> ±98.88	3906.90 <sup>ab</sup> ±163.44
	AE×20	1205.41 <sup>ns</sup> ±147.94	4.32 <sup>b</sup> ±0.42	0.82 <sup>a</sup> ±0.02	1008.66 <sup>b</sup> ±80.29	4336.10 <sup>b</sup> ±503.32
	AE×30	1034.08 <sup>ns</sup> ±290.24	4.97 <sup>a</sup> ±0.74	0.86 <sup>b</sup> ±0.03	866.76 <sup>a</sup> ±219.54	4420.82 <sup>b</sup> ±1320.04
ปัจจัยร่วม						
ระดับความเข้มข้นของสารไฮโดร	0.25×10	1059.70 <sup>abc</sup> ±177.97	4.38 <sup>ab</sup> ±0.61	0.83±0.03	852.92 <sup>abc</sup> ±91.89	3753.64 <sup>a</sup> ±113.76
คอลลอยด์ (%) × ระดับการ	0.25×20	1083.42 <sup>abc</sup> ±122.43	4.50 <sup>ab</sup> ±0.62	0.84±0.04	933.69 <sup>bcd</sup> ±45.37	4171.06 <sup>ab</sup> ±482.44
ทดแทนแป้งข้าวดีดแปร (%)	0.25×30	904.83 <sup>a</sup> ±133.78	4.64 <sup>ab</sup> ±0.67	0.86 <sup>b</sup> ±0.03	737.79 <sup>a</sup> ±30.84	3468.28 <sup>a</sup> ±416.71

ตารางที่ 28 (ต่อ)

ปัจจัย		Hardness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
ระดับความเข้มข้นของสารไฮโดร	0.50×10	1013.91 <sup>ab</sup> ±118.98	4.58 <sup>ab</sup> ±0.15	0.84±0.01	865.06 <sup>abc</sup> ±79.30	4031.17 <sup>ab</sup> ±228.55
คอลลอยด์ (%) × ระดับการ	0.50×20	10221.51 <sup>bc</sup> ±162.16	4.60 <sup>ab</sup> ±0.47	0.85±0.02	1038.94 <sup>a</sup> ±83.23	4644.73 <sup>bc</sup> ±302.06
ทดแทนแป้งข้าวัดดแปร (%)	0.50×30	932.63 <sup>a</sup> ±229.81	5.00 <sup>a</sup> ±0.83	0.86 <sup>b</sup> ±0.04	811.76 <sup>ab</sup> ±145.85	4025.29 <sup>ab</sup> ±126.23
	0.75×10	1065.64 <sup>abc</sup> ±147.42	4.03 <sup>b</sup> ±0.69	0.81 <sup>a</sup> ±0.03	862.35 <sup>abc</sup> ±111.57	3452.94 <sup>a</sup> ±621.61
	0.75×20	1221.40 <sup>bx</sup> ±162.09	4.30 <sup>ab</sup> ±0.40	0.82 <sup>a</sup> ±0.01	962.80 <sup>cd</sup> ±117.65	4141.64 <sup>ab</sup> ±805.30
	0.75×30	1241.18 <sup>c</sup> ±163.50	4.81 <sup>a</sup> ±0.42	0.84 <sup>ab</sup> ±0.01	1042.47 <sup>d</sup> ±133.01	5161.48 <sup>c</sup> ±1019.12
ปัจจัยรวม						
สารไฮโดรคอลลอยด์ × ระดับ	HPMC×0.25×10	1183.31 <sup>cdefg</sup> ±181.97	3.89 <sup>fg</sup> ±0.42	0.81 <sup>ab</sup> ±0.03	920.08 <sup>def</sup> ±86.93	3678.57 <sup>c</sup> ±72.62
ความเข้มข้นของสารไฮโดร	HPMC×0.25×20	1062.39 <sup>abcde</sup> ±73.31	4.99 <sup>bc</sup> ±0.18	0.88 <sup>def</sup> ±0.00	906.94 <sup>cde</sup> ±48.72	4582.15 <sup>h</sup> ±148.66
คอลลอยด์ (%) ระดับการทดแทน	HPMC×0.25×30	822.07 <sup>ab</sup> ±46.31	5.15 <sup>ab</sup> ±0.54	0.88 <sup>ef</sup> ±0.02	723.69 <sup>a</sup> ±37.10	3825.86 <sup>cde</sup> ±163.69
แป้งข้าวัดดแปร (%)	HPMC×0.50×10	987.00 <sup>bcde</sup> ±128.31	4.71 <sup>bcde</sup> ±0.07	0.85 <sup>bcde</sup> ±0.02	871.82 <sup>bcd</sup> ±68.98	4170.90 <sup>fg</sup> ±176.79
	HPMC×0.50×20	1203.91 <sup>defg</sup> ±217.68	4.87 <sup>bcd</sup> ±0.41	0.85 <sup>cde</sup> ±0.03	1055.27 <sup>gh</sup> ±92.22	4908.63 <sup>i</sup> ±137.44
	HPMC×0.50×30	1128.03 <sup>cdef</sup> ±123.23	4.30 <sup>cdefg</sup> ±0.38	0.83 <sup>abc</sup> ±0.01	931.66 <sup>defg</sup> ±96.97	3938.69 <sup>def</sup> ±103.02
	HPMC×0.75×10	971.91 <sup>bcd</sup> ±71.34	3.81 <sup>g</sup> ±0.95	0.81 <sup>ab</sup> ±0.05	785.94 <sup>abc</sup> ±53.99	2905.36 <sup>a</sup> ±182.23
	HPMC×0.75×20	877.59 <sup>cdefg</sup> ±205.50	2.97 <sup>fg</sup> ±0.15	0.81 <sup>ab</sup> ±0.01	661.98 <sup>bcd</sup> ±61.12	3415.80 <sup>b</sup> ±70.02
HPMC×0.75×30	1104.93 <sup>ccdef</sup> ±103.86	4.54 <sup>bcdefg</sup> ±0.25	0.84 <sup>bc</sup> ±0.01	928.42 <sup>defg</sup> ±71.34	4238.09 <sup>fg</sup> ±179.84	

ตารางที่ 28 (ต่อ)

ปัจจัย		Hardness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
สารไฮโดรคอลลอยด์ x ระดับ	AEx0.25x10	963.09 <sup>abc</sup> ±15.26	4.87 <sup>bcd</sup> ±0.16	0.85 <sup>bcd</sup> ±0.01	785.75 <sup>abc</sup> ±4.38	3828.71 <sup>cde</sup> ±100.85
ความเข้มข้นของสารไฮโดร	AEx0.25x20	1104.45 <sup>cdef</sup> ±175.42	4.00 <sup>efg</sup> ±0.44	0.80 <sup>a</sup> ±0.01	960.43 <sup>defg</sup> ±25.03	3759.97 <sup>cd</sup> ±229.76
คอลลอยด์ (%) ระดับการทดแทน	AEx0.25x30	987.60 <sup>bcde</sup> ±148.49	4.13 <sup>defg</sup> ±0.23	0.83 <sup>abc</sup> ±0.02	751.89 <sup>ab</sup> ±20.13	3110.71 <sup>a</sup> ±154.09
แป้งข้าวตัดแปร (%)	AEx0.50x10	1040.81 <sup>abcde</sup> ±129.43	4.45 <sup>bcdefg</sup> ±0.04	0.83 <sup>abc</sup> ±0.00	858.30 <sup>bcd</sup> ±104.04	3891.45 <sup>cde</sup> ±201.91
	AEx0.50x20	1239.11 <sup>efg</sup> ±132.01	4.32 <sup>cdefg</sup> ±0.39	0.84 <sup>bcd</sup> ±0.01	1022.61 <sup>efg</sup> ±89.53	4380.83 <sup>gh</sup> ±16.96
	AEx0.50x30	737.23 <sup>a</sup> ±47.97	5.69 <sup>a</sup> ±0.36	0.90 <sup>f</sup> ±0.01	691.87 <sup>a</sup> ±25.59	4066.89 <sup>ef</sup> ±155.01
	AEx0.75x10	1159.38 <sup>cdefg</sup> ±151.28	4.25 <sup>cdefg</sup> ±0.38	0.81 <sup>ab</sup> ±0.02	938.76 <sup>defg</sup> ±103.38	4000.53 <sup>de</sup> ±182.30
	AEx0.75x20	1272.67 <sup>fg</sup> ±124.77	4.64 <sup>bcdef</sup> ±0.17	0.82 <sup>abc</sup> ±0.01	1042.94 <sup>fgh</sup> ±107.69	4867.49 <sup>i</sup> ±189.28
	AEx0.75x30	1377.42 <sup>s</sup> ±18.75	5.09 <sup>ab</sup> ±0.39	0.84 <sup>bc</sup> ±0.01	1156.53 <sup>h</sup> ±10.67	6084.86 <sup>j</sup> ±79.14

ตารางที่ 29 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมสาหร่ายที่ทดแทนแป้งข้าวสาลีด้วยแป้งข้าว  
กล้องหอมมะลิที่ดัดแปรที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ

ตัวอย่างขนมสาหร่าย	สี <sup>ns</sup>	กลิ่น <sup>ns</sup>	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
HPMC×0.25×10	6.20±1.45	5.80±1.61	6.00 <sup>ab</sup> ±1.53	5.63 <sup>abc</sup> ±1.54	6.03 <sup>b</sup> ±1.16
HPMC×0.25×20	6.53±1.31	5.70±1.44	5.73 <sup>b</sup> ±1.34	5.30 <sup>c</sup> ±1.62	5.83 <sup>b</sup> ±1.26
HPMC×0.25×30	6.47±1.20	5.60±1.67	6.03 <sup>ab</sup> ±1.56	5.83 <sup>abc</sup> ±1.46	6.27 <sup>b</sup> ±1.17
HPMC×0.50×10	6.50±1.41	6.23±1.57	6.33 <sup>ab</sup> ±1.69	5.73 <sup>abc</sup> ±2.00	6.23 <sup>b</sup> ±1.89
HPMC×0.50×20	6.67±1.30	6.27±1.55	6.70 <sup>ab</sup> ±1.70	5.93 <sup>abc</sup> ±1.55	6.73 <sup>b</sup> ±1.87
HPMC×0.50×30	6.60±1.25	6.03±1.61	6.57 <sup>ab</sup> ±1.48	6.20 <sup>abc</sup> ±1.92	6.87 <sup>b</sup> ±1.48
HPMC×0.75×10	6.30±1.44	6.40±1.16	6.47 <sup>ab</sup> ±1.61	5.73 <sup>abc</sup> ±1.57	6.63 <sup>b</sup> ±1.13
HPMC×0.75×20	6.13±1.38	6.50±1.04	6.60 <sup>ab</sup> ±1.43	5.80 <sup>abc</sup> ±1.37	6.53 <sup>b</sup> ±0.97
HPMC×0.75×30	6.47±1.28	6.03±1.73	6.20 <sup>ab</sup> ±1.75	6.03 <sup>abc</sup> ±1.54	6.33 <sup>b</sup> ±1.42
AE×0.25×10	6.53±1.78	6.40±1.50	6.07 <sup>ab</sup> ±1.68	5.53 <sup>bc</sup> ±1.50	6.10 <sup>b</sup> ±1.45
AE×0.25×20	6.50±1.57	5.93±1.95	6.57 <sup>ab</sup> ±1.74	5.90 <sup>abc</sup> ±1.60	6.31 <sup>b</sup> ±1.58
AE×0.25×30	6.40±1.63	6.27±1.78	6.40 <sup>ab</sup> ±1.81	5.70 <sup>abc</sup> ±1.51	6.20 <sup>b</sup> ±1.52
AE×0.50×10	6.67±1.54	6.40±1.43	6.60 <sup>ab</sup> ±1.40	6.30 <sup>abc</sup> ±1.73	6.57 <sup>b</sup> ±1.55
AE×0.50×20	6.47±1.59	6.13±1.61	6.83 <sup>a</sup> ±1.29	6.40 <sup>ab</sup> ±1.45	7.57 <sup>a</sup> ±1.17
AE×0.50×30	6.73±1.34	6.17±1.09	6.30 <sup>ab</sup> ±1.39	6.30 <sup>abc</sup> ±1.60	6.43 <sup>b</sup> ±1.22
AE×0.75×10	6.57±1.17	6.00±1.26	6.43 <sup>ab</sup> ±1.19	6.07 <sup>abc</sup> ±1.44	6.57 <sup>b</sup> ±1.17
AE×0.75×20	6.77±1.28	6.10±1.32	6.47 <sup>ab</sup> ±1.36	6.60 <sup>a</sup> ±1.48	6.77 <sup>b</sup> ±1.28
AE×0.75×30	6.53±1.55	6.23±1.50	6.53 <sup>ab</sup> ±1.57	6.37 <sup>ab</sup> ±1.56	6.47 <sup>b</sup> ±1.48

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างในแนวสดมภ์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ผลของชนิดบรรจุภัณฑ์ รูปแบบของการบรรจุต่อสมบัติของ  
ขนมสาลีที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ  
จำนวน 5 รอบ

เมื่อนำขนมสาลีที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมมะลิทดแทน 20 % ของน้ำหนักแป้ง ร่วมกับสาร แอลจิเนต 0.5% และแป้งข้าวกล้องหอมมะลิทดแทน 20 % ของน้ำหนักแป้ง ร่วมกับสาร HPMC 0.75% ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งจำนวน 5 รอบ มาบรรจุในถุงโพลีเอทิลีน (PE) และถุง โพลีโพรพิลีน (PP) ภายใต้สภาวะแบบมีอากาศและสุญญากาศ แล้วแช่เยือกแข็งในตู้ไอศกรีม พบว่า การบรรจุขนมสาลีในถุง PP ทำให้ขนมสาลีมีค่า hardness และ chewiness เพิ่มขึ้นเนื่องจาก ถุง PP มีการซึมผ่านของออกซิเจนได้ง่ายกว่าอีกทั้งการปิดผนึกแบบใช้ความร้อนไม่สามารถปิดผนึกถุงได้ (สมโภช, 2547) และการบรรจุในสภาวะสุญญากาศช่วยลดการเกิด % syneresis และเมื่อศึกษา คุณภาพทางจุลชีววิทยาของขนมสาลีที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จำนวน 5 รอบ พบว่ามี ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $0.13-7.30 \times 10^3$  cfu/g และมีปริมาณยีสต์และรา  $0.5-4.75 \times 10^2$  cfu/g โดยชนิดของบรรจุภัณฑ์และสภาวะในการเก็บรักษาไม่มีผลต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราของขนมสาลีแช่เยือกแข็ง ซึ่งค่าปริมาณจุลินทรีย์ในขนมสาลีไม่เกินมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของขนมไทยที่มีเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน  $1 \times 10^4$  cfu/g ปริมาณยีสต์ต้องไม่เกิน  $1 \times 10^4$  cfu/g และปริมาณต้องไม่เกิน 500 cfu/g (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552)

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ขนมสาลีที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมมะลิผู้บริโภคนำให้ คะแนนความชอบทางด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า ชนิดบรรจุภัณฑ์ สภาวะการเก็บรักษาไม่ส่งผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค

ตารางที่ 30 สมบัติทางเคมีกายภาพและหน้าที่ของขนมสาลีที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำจำนวน 5 รอบ โดยบรรจุในถุง PE หรือ PP แบบสภาวะมีอากาศและสุญญากาศ

ตัวอย่าง	รูปแบบการบรรจุ	บรรจุภัณฑ์	ค่าสี			$a_w$	ความชื้น (%)	ปริมาตรจำเพาะ (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )	Syneresis (%)
			$L^*$ <sup>ns</sup>	$a^*$	$b^*$				
ข้าวหอมมะลิ	non vac	PE	75.15±2.93	0.32 <sup>a</sup> ±0.18	17.46 <sup>a</sup> ±1.53	0.911 <sup>c</sup> ±0.00	37.04 <sup>ns</sup> ±1.37	2.76 <sup>a</sup> ±0.22	0.71 <sup>a</sup> ±0.44
		PP	72.37±1.44	-0.31 <sup>b</sup> ±0.06	15.12 <sup>b</sup> ±0.33	0.920 <sup>b</sup> ±0.00	36.12 <sup>ns</sup> ±0.07	2.33 <sup>b</sup> ±0.07	3.02 <sup>b</sup> ±0.31
	vac	PE	75.18±1.97	-0.24 <sup>b</sup> ±0.05	15.80 <sup>ab</sup> ±0.49	0.928 <sup>a</sup> ±0.00	37.06 <sup>ns</sup> ±0.48	1.98 <sup>c</sup> ±0.20	0.51 <sup>a</sup> ±0.34
		PP	74.58±0.81	0.15 <sup>a</sup> ±0.04	15.44 <sup>b</sup> ±1.01	0.927 <sup>a</sup> ±0.00	36.76 <sup>ns</sup> ±0.83	1.70 <sup>c</sup> ±0.11	0.35 <sup>a</sup> ±0.12
ข้าวกล้องหอมมะลิ	non vac	PE	70.41±1.22	-0.33 <sup>b</sup> ±0.04	12.53 <sup>b</sup> ±0.98	0.93 <sup>b</sup> ±0.00	37.00 <sup>a</sup> ±0.95	2.80 <sup>ns</sup> ±0.16	2.77 <sup>c</sup> ±0.79
		PP	70.09±0.62	-0.16 <sup>a</sup> ±0.01	12.77 <sup>b</sup> ±0.51	0.91 <sup>a</sup> ±0.00	35.34 <sup>b</sup> ±0.52	3.23 <sup>ns</sup> ±0.90	1.02 <sup>b</sup> ±0.17
	Vac	PE	71.99±0.95	-0.37 <sup>b</sup> ±0.12	13.01 <sup>b</sup> ±0.62	0.92 <sup>a</sup> ±0.00	37.03 <sup>a</sup> ±0.68	3.29 <sup>ns</sup> ±0.25	0.08 <sup>a</sup> ±0.01
		PP	72.32±0.21	-0.27 <sup>ab</sup> ±0.06	15.31 <sup>a</sup> ±0.33	0.92 <sup>a</sup> ±0.00	36.23 <sup>ab</sup> ±0.17	2.50 <sup>ns</sup> ±0.94	0.91 <sup>b</sup> ±0.05

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างในแนวสดมภ์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 31 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมสาลีที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำจำนวน 5 รอบ โดยบรรจุในถุง PE หรือ PP แบบสภาวะมีอากาศและสุญญากาศ

ตัวอย่าง	รูปแบบการบรรจุ	บรรจุภัณฑ์	Hardness	Springiness	Cohesiveness	Gumminess	Chewiness
ข้าวหอมมะลิ	non vac	PE	1219.43 <sup>a</sup> ±97.32	4.55 <sup>c</sup> ±0.34	0.80 <sup>a</sup> ±0.00	979.77 <sup>a</sup> ±75.76	4472.83 <sup>a</sup> ±627.12
		PP	1475.97 <sup>ab</sup> ±134.52	4.75 <sup>c</sup> ±0.15	0.81 <sup>a</sup> ±0.00	1189.03 <sup>ab</sup> ±109.06	5653.58 <sup>ab</sup> ±670.75
	vac	PE	1574.00 <sup>b</sup> ±274.38	5.24 <sup>b</sup> ±0.29	0.83 <sup>b</sup> ±0.01	1297.40 <sup>bc</sup> ±218.05	6467.49 <sup>b</sup> ±644.36
		PP	1778.71 <sup>b</sup> ±135.28	5.79 <sup>a</sup> ±0.07	0.84 <sup>c</sup> ±0.01	1501.09 <sup>c</sup> ±107.31	8700.36 <sup>c</sup> ±692.94
ข้าวกล้องหอมมะลิ	non vac	PE	1146.77 <sup>a</sup> ±108.09	4.79 <sup>b</sup> ±0.23	0.84 <sup>b</sup> ±0.01	963.54 <sup>a</sup> ±88.08	4958.93 <sup>a</sup> ±220.98
		PP	1263.76 <sup>a</sup> ±35.71	4.36 <sup>b</sup> ±0.43	0.81 <sup>a</sup> ±0.01	1023.35 <sup>a</sup> ±22.29	4462.87 <sup>a</sup> ±410.75
	Vac	PE	990.56 <sup>a</sup> ±107.68	4.87 <sup>ab</sup> ±0.19	0.87 <sup>c</sup> ±0.00	858.42 <sup>a</sup> ±90.92	4190.78 <sup>a</sup> ±596.71
		PP	1869.83 <sup>a</sup> ±230.77	5.56 <sup>a</sup> ±0.27	0.85 <sup>bc</sup> ±0.02	1590.57 <sup>b</sup> ±161.33	8829.59 <sup>b</sup> ±546.24

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 32 คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของขนมสาลี่ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำจำนวน 5 รอบ โดยบรรจุในถุง PE หรือ PP แบบ สภาวะมีอากาศและสุญญากาศ

ตัวอย่าง	รูปแบบการบรรจุ	บรรจุภัณฑ์	สี <sup>ns</sup>	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส <sup>ns</sup>	ความชอบโดยรวม <sup>ns</sup>
ข้าวหอมมะลิ	non vac	PE	6.33±1.72	6.07 <sup>ns</sup> ±1.58	5.73 <sup>b</sup> ±1.28	6.13±1.60	6.47 <sup>ns</sup> ±1.30
		PP	6.60±1.45	5.80 <sup>ns</sup> ±1.86	6.07 <sup>ab</sup> ±2.15	5.87±2.10	6.07 <sup>ns</sup> ±1.39
	vac	PE	6.60±1.30	6.27 <sup>ns</sup> ±1.22	7.33 <sup>a</sup> ±1.45	6.13±1.36	6.60 <sup>ns</sup> ±1.30
		PP	6.80±1.32	6.60 <sup>ns</sup> ±1.72	6.27 <sup>ab</sup> ±1.75	5.60±1.64	6.27 <sup>ns</sup> ±1.03
ข้าวกล้องหอมมะลิ	non vac	PE	5.80±1.86	5.13 <sup>b</sup> ±1.51	5.80 <sup>ns</sup> ±1.70	5.64 <sup>ab</sup> ±1.45	6.40 <sup>ab</sup> ±1.18
		PP	6.13±1.68	6.40 <sup>a</sup> ±1.31	6.60 <sup>ns</sup> ±1.06	6.73 <sup>a</sup> ±1.39	7.07 <sup>a</sup> ±1.22
	vac	PE	6.53±1.85	6.53 <sup>a</sup> ±1.19	6.20 <sup>ns</sup> ±1.08	6.20 <sup>ab</sup> ±1.26	6.20 <sup>ab</sup> ±1.08
		PP	6.73±1.33	6.13 <sup>a</sup> ±1.19	6.07 <sup>ns</sup> ±1.22	6.20 <sup>ab</sup> ±0.94	6.07 <sup>b</sup> ±1.28

หมายเหตุ อักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวสดมภ์แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างในคอลัมน์เดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

#### สรุป

1. แป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรและแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปรมีค่าความหนาแน่นจำเพาะเพิ่มขึ้น แต่ค่าดัชนีการละลายน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมันและความสามารถในการพองตัวลดลง ส่วนความสามารถในการดูดซับน้ำในแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรมีค่าลดลง แต่แป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปรมีค่าสูงขึ้น
2. แป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรและแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปรมีแนวโน้มค่า peak viscosity เพิ่มขึ้น และมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่ไม่ผ่านการตัดแปร แต่มีค่า setback ต่ำกว่าแป้งที่ไม่ผ่านการตัดแปร
3. แป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการตัดแปรโดยใช้ STMP ที่ 0.1 % นาน 3 ชั่วโมง และแป้งข้าวกล้องที่ผ่านการตัดแปรด้วย STMP ที่ 0.5 % ร่วมกับ STPP ที่ 4 % นาน 5 ชั่วโมง มีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งดีที่สุด และมีคุณสมบัติทางหน้าที่ใกล้เคียงกับแป้งข้าวสาลีชนิดแป้งเค้ก
4. ขนมสาลีแช่เยือกแข็งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวหอมมะลิตัดแปรที่ 20 % ร่วมกับการเติม HPMCO.75 % ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด และในขนมสาลีแช่เยือกแข็งที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวกล้องหอมมะลิตัดแปรที่ 20 % ร่วมกับการเติม AE0.5 % ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด จะช่วยลดการเกิด % syneresis และมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด
5. การบรรจุขนมสาลีในถุง PP ทำให้มีแนวโน้มค่า hardness Springiness Gumminess และ chewiness เพิ่มขึ้น และการบรรจุแบบสุญญากาศช่วยลดการเกิด % syneresis

#### ข้อเสนอแนะ

1. การทดแทนแป้งข้าวตัดแปรในขนมสาลี ไม่มีกลิ่นเฉพาะของขนมสาลี ดังนั้นควรพัฒนาให้ขนมสาลีมีลักษณะเด่น
2. ควรพัฒนาสูตรต่อไปให้สามารถทดแทนได้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

## บรรณานุกรม

- กมลวรรณ อิศราคาร. 2548. ผลของการเติมสตาร์ชตัดแปรและไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยวแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. 2549. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิตธนา แจ่มเมฆ, สายสนม ประดิษฐ์ดวง, ทนง ภัครชพันธ์ุ, ปรียา วิบูลย์เศรษฐ์, เนื้อทอง วนานวัธ, มาลัยวรรณ อารยะสกุล, ศิวาพร ศิวเวช, สมจิต สุรพัฒน์, สุนทรชীন ศรีงาม และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2546. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิรนาถ บุณคง. 2555. การศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของสตาร์ชพอสฟตจากเมล็ดขนุน. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 7(1), 40-50.
- ชุตินา มโนธรรม. 2549. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมสาลีจากแป้งสาลีและแป้งข้าวหอมมะลิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชูเกียรติ กิจคุณาเสถียร. 2550. อิทธิพลของเกลือ น้ำตาล ความเป็นกรด-ต่างและอุณหภูมิในการทำให้สุกต่อสมบัติความหนืดของแป้งเปียกจากมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังตัดแปร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นภัสชล สมธิปักย์. 2547. การตัดแปรแป้งข้าวเหนียวเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมกึ่งสำเร็จรูปแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- นันทพร สมัครรัตน์. 2546. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดนัทแป้งข้าวหอมมะลิตดแทนแป้งสาลีหน้าพิชซ่าแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิธยา รัตนานนท์. 2553. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- นุชฤดี ศิริบุญ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2535. การตัดแปรสตาร์ชข้าวเจ้าแบบโครสลิงกิงด้วยอิพิคลอโรไฮดริน. ใน รายงานการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 30 สาขาเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ สังคมศาสตร์ ศึกษาศาสตร์ มนุษยศาสตร์ สิ่งแวดล้อม คหกรรมศาสตร์ อุตสาหกรรมเกษตร วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์. 29 มกราคม – 1 กุมภาพันธ์ 2535. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- พจนีย์ พงศ์พงษ์. 2546. การพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตปาท่องโก๋จากแป้งข้าวหอมมะลิ  
ไทยผสมแป้งสาลี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พรวิมล ปันหยง. 2544. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งสาลีผสมแป้งข้าวหอมมะลิ.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เพ็ญแข ผิวบาง. 2545. คู่มือทำกิน สูตรทำขนมหวานไทย. นนทบุรี: วี.ที.เอส.
- ยิ่งศักดิ์ จงเลิศเจษฎาวงศ์. 2543. ขนมสาลี. กรุงเทพฯ: ฟู้ดส์ แอนด์ คอนแพคชั่นเนอร์.
- รุจิรา ปรีชา, สุนันทา วงศ์ปิยชน และ งามชื่น คงเสรี. 2543. การใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีใน  
ผลิตภัณฑ์ขนมเค้กและคุกกี้. น. 48-85. ใน เอกสารประกอบการประชุมวิชาการข้าวและ  
ธัญพืชเมืองหนาว ประจำปี 2543. ปทุมธานี: กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยข้าว  
ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี.
- วิลาสินี เกิดเกลื่อน. 2553. การเตรียมและการนำแป้งครอสลิงค์ชนิดฟอสเฟตไปใช้ประโยชน์.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วิไล รังสาดทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สมโภชน์ โกลมณี. 2547. การแช่แข็งและการแช่เยือกแข็งอาหาร. [ระบบออนไลน์].  
แหล่งที่มา [http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/  
section2/ft446/lass0507.html](http://coursewares.mju.ac.th:81/e-learning47/section2/ft446/lass0507.html) (20 เมษายน 2560).
- สุธยา พิมพ์พิไล. 2555. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีขนมอบ. เชียงใหม่: ภาควิชา  
เทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2535. แป้งดัดแปรสำหรับอุตสาหกรรมอาหาร.  
(มอก. 1073-2535). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- \_\_\_\_\_. 2552. ขนมไทย. (มผช. 1/2546). กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐาน  
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- อบเชย อิมสบาย. 2553. ขนมไทย. กรุงเทพฯ: แสงแดด.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ:  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
- อิสราภรณ์ เอ็มรัตน์. 2550. การดัดแปรแป้งพุทธรักษาพันธุ์ไทยเขียวด้วยวิธีฟอสเฟต-  
ครอสลิงกิงค์โดยใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

- อิสรากรณ์ เอ็มรัตน์, ยุรี วันดี, สันตณีย์ ปัญจอนนท์ และ ดุชนฎิ อุตภาพ. 2554. การดัดแปรแป้งพุทธรักษาด้วยวิธีโครสลิงกิงโดยใช้โซเดียมไตรเมตาฟอสเฟต. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*, 34 (4), 357-368.
- AACC. 2000. *Approved Methods of The American Association of Cereal Chemists*. 10<sup>th</sup> ed. St. Paul, Minnesota: The American Association of Cereal Chemists.
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, Maryland: The Association of Analytical Chemists.
- \_\_\_\_\_. 2005. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18<sup>th</sup> ed. Gaithersburg, Maryland: The Association of Analytical Chemists.
- Barcenas, M. E., Beditob, C. & Rosellb, C. M. 2004. Use of hydrocolloids as bread improvers in interrupted baking process with frozen storage. *Journal of Food Hydrocolloids*, 18, 769–774.
- Bello-Perez, L. A., Agama-Acevedo, E., Sanchez-Hernandez, L. & Paredes-Lopez, O. 1999. Isolation and partial characterization of banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(3), 854-857.
- Jongsutjarittam, N. & Charoenrein, S. 2013. Influence of waxy rice flour substitution for wheat flour on characteristics of batter and freeze-thawed cake. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 97, 306– 314.
- Juliano, B. O. 1993. *Rice : in Human Nutrition*. FAO Food and Nutrition Series, No.26. Rome: FAO.
- Juliano, B. O., Perez, C. M., Blakeney, A., Castillo, B., D. T., Kongseree, N., Laignelet, B., Lapis, E. T., Murty, V. V. S., Paule, C. M. & Webb, B. D. 1981. International cooperative testing on the amylose content of milled rice. *Journal of Starch/Starke*, 33, 157-162.
- Kaur, M., Sandhu, S. K. & Singh, N. 2007. Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisumsativum* L.) and pigeon pea (*Cajanuscajan* L.) cultivars. *Journal of Food Chemistry*, 104(1), 259-267.

- Kim, M. & Lee, S. J. 2002. Characteristics of cross-linked potato starch and starch-filled linear low-density polyethylene films. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 50, 331-337.
- Koo, S. H., Lee, K. Y. & Lee, H. G. 2010. Effect of cross-linking on the physicochemical and physiological properties of corn starch. *Journal of food hydrocolloids*, 24, 331-337.
- Liu, J., Wang, B., Lin, L., Zhang, J., Liu, W., Xie, J. & Ding, Y. 2014. Functional, physicochemical properties and structure of cross-linked oxidized maize starch. *Journal of Food Hydrocolloids*, 36, 45-52.
- Mua, J. P. & Jackson, D. S. 1998. Retrogradation and gel textural attributes of corn starch amylose and amylopectine fractions. *Journal of Cereal Science*, 27, 157-166.
- Muadklay, J. & Charoenrein, S. 2008. Effect of Hydrocolloids and Freezing Rates on Freeze-Thaw Stability of Tapioca Starch Gels. *Journal of Food Hydrocolloids*, 22, 1268-1272.
- Newport Scientific Pty. Ltd. 1998. **Applications Manual for the Rapid Visco™ Analyzer**. Warriewood: Newport Scientific.
- Pawinee, D., Shobsngob, S., Varayanond, W., Chinachoti, P., Naivikul, O. & Varavinit, S. 2007. Preparation, pasting properties and freeze-thaw stability of dual modified crosslink-phosphorylated rice starch. *Journal of Food Carbohydrate Polymers*, 73, 351-358.
- Phillips, G. O. & Williams, P. A. 2000. **Handbook of hydrocolloids**. New York: CRC press Inc.
- Phimolsiripola, Y., Siripatrawana, U., Tulyathana, V. & Cleland, J. D. 2008. Effects of freezing and temperature fluctuations during frozen storage on frozen dough and bread quality. *Journal of Food Engineering*, 84, 48-56.
- Rutenberg, M. W. & Solarek, D. 1986. Starch derivatives: Production and uses. pp. 311-388. In Whistler, R. L., BeMiller, J. N. & Paschall, E. F. (Eds.). **Starch Chemistry and Technology**. Florida: Academic Press.

- Sae-kang, V. & Supphantharika, M. 2006. Influence of pH and xanthan gum addition on freeze-thaw stability of tapioca starch pastes. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 65, 371–380.
- Sharadanant, R. & Khan, K. 2003a. Effect of hydrophilic gums on frozen dough. I. Dough quality. *Journal of Cereal Chem*, 80, 764-772.
- \_\_\_\_\_. 2003b. Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: II. Bread characteristics. *Journal of Cereal Chem*, 80, 773-780.
- Solarek, D. R. 1986. Cationic starch. pp.113-124. In Wurzburg, O. B. (Ed). *Modified starch properties and uses*. Florida: CRC press Inc.
- Stephen, A. M. 1995. *Food polysaccharides and their application*. New York: Marcel Inc.
- Waly, A., Abdel-Mondy, F. A., Higaxy, A. & Hebeish. 1994. Synthesis and properties of starch phosphate monomers. *Starch/starke*, 46(2), 59-63.
- Woo, K. & Seib, P. A. 1997. Cross-linking of wheat starch and hydroxypropylated wheat starch in alkaline slurry with sodium trimetaphosphate. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 33, 263-271.
- Wu, Y. & Seib, P. A. 1990. Acetylated and hydroxypropylated distarch phosphates from waxy barley: paste properties and freeze-thaw stability. *Journal of Cereal Chem*, 67, 202–208.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ



## การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

### 1. ค่าสี

โดยใช้เครื่องวัดสี (Colorimeter, Hunter Lab) ยี่ห้อ Hunter Lab รุ่น Miniscan XE plus เปิดอุ่นเครื่องก่อนใช้งานประมาณ 30 นาที ปรับมาตรฐานของเครื่องโดยใช้ standard white plate และ standard black plate ทำการวัดค่าสี บันทึกค่าที่อ่านได้จากจอแสดงผล

### 2. ค่ากิจกรรมของน้ำ ( $a_w$ )

โดยใช้เครื่องวัดค่ากิจกรรมของน้ำ (water activity meter) ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น 3SE อุ่นเครื่องก่อนใช้งานประมาณ 30 นาที ปรับมาตรฐานของเครื่องโดยใช้น้ำต้มตราสิงห์ บรรจุตัวอย่างลงในถ้วยวัดประมาณครึ่งถ้วย นำไปวางในช่องใส่ตัวอย่าง ทำการวัดค่ากิจกรรมของน้ำ บันทึกค่าที่อ่านได้จากจอแสดงผล

### 3. ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology)

โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5410LV ติดเทปคาร์บอนลงบนแท่นติดตัวอย่าง (stub) โรยตัวอย่างลงบนเทปคาร์บอน นำไปฉาบเคลือบด้วยทองคำบริสุทธิ์โดยใช้เครื่องเคลือบทอง (fine coater) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JFC-1200 ถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่ความต่างศักย์ 10 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 1,000 เท่า

### 4. สมบัติด้านความหนืด (pasting properties) (Newport Scientific Pty. Ltd., 1998)

โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบรวดเร็ว (rapid visco analyzer; RVA) ยี่ห้อ Newport Scientific รุ่น RVA-4SA ตามวิธีการ RVA<sup>TM</sup> rice method อุ่นเครื่อง RVA และเครื่องหล่อเย็นก่อนใช้งานประมาณ 30 นาที เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เข้าซอฟต์แวร์โปรแกรม ThermoLine for Windows (TCW) ตั้งสภาวะในการทำงานของเครื่องดังแสดงในตารางผนวกที่ 1

ตารางผนวกที่ 1 สภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA

Time	Type	Value
00:00:00	Temp	50 °C
00:00:00	Speed	960 rpm
00:00:10	Speed	160 rpm
00:01:00	Temp	50 °C
00:04:42	Temp	95 °C
00:07:12	Temp	95 °C
00:11:00	Temp	50 °C

Idle temperature: 50 ± 1 °C  
 End of test: 13 min.  
 Time between readings: 4 sec.

คำนวณน้ำหนักตัวอย่างและปริมาณน้ำที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยเทียบจากตัวอย่างที่มีความชื้น 14 % จากสมการ

$$M_2 = \frac{(100 - 14) \times M_1}{100 - W_1}$$

$$W_2 = 25.0 + (M_1 - M_2)$$

เมื่อ  $M_1$  = น้ำหนักตัวอย่างเมื่อมีความชื้น 14 %  
 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3.50 กรัม

$M_2$  = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

$W_1$  = ปริมาณความชื้นของตัวอย่าง (%)

$W_2$  = ปริมาณน้ำกลั่น (มล.)

ชั่งตัวอย่าง ( $M_2$ ) ลงในกระป๋องสำหรับบรรจุตัวอย่าง เติมน้ำกลั่น ( $W_2$ ) ลงในกระป๋อง ใช้ใบพัดกวนผสมตัวอย่างให้เข้ากันและไม่ให้จับเป็นก้อนโดยหมุนไปทวนเข็มนาฬิกา 5 ครั้ง และตามเข็มนาฬิกา 5 ครั้ง

นาฬิกา 5 ครั้ง นำไปต่อเข้ากับเครื่องวัดและทำการวิเคราะห์ บันทึกกราฟความหนืดและค่าต่างๆ ได้แก่ ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำเย็น (holding strength) ความแตกต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำเย็น (breakdown) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายและความหนืดต่ำสุดระหว่างการทำเย็น (setback) และอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature)





ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

## การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

### 1. ปริมาณความชื้น (AOAC, 2005)

อุปกรณ์อะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดในตู้อบลมร้อน (hot air oven) ยี่ห้อ Termaks รุ่น TS4115 ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นจากนั้นชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 2-5 กรัม ( $W_5$ ) ใส่ลงในกระป๋องอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ( $W_2$ ) คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{W_5}$$

### 2. ปริมาณฟอสฟอรัส (ดัดแปลงจาก AOAC, 2000)

#### 2.1 เตรียมกรดสำหรับย่อยตัวอย่าง

ชั่งแอมโมเนียมเมตาวานาเดท 0.06 กรัม ละลายในน้ำ DI เดือด 10 มล. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เทผสมลงในสารละลายผสมกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น 70% 250 มล. และกรดไนตริกเข้มข้น 65% 1,250 มล. จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน เก็บในขวดสีชา

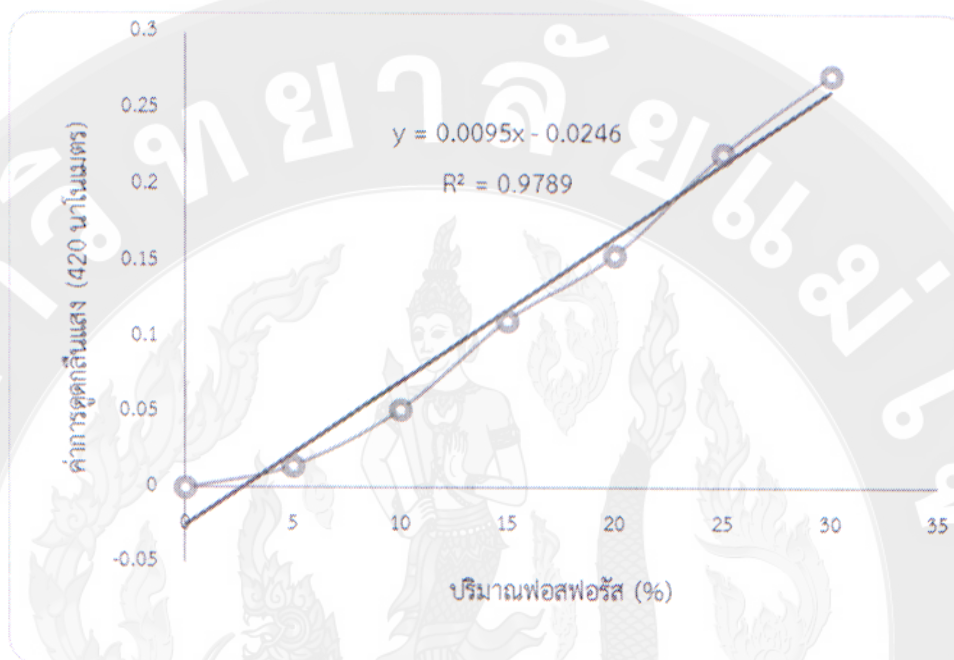
#### 2.2 เตรียมสารละลายวานาเดทโมลิบเดท

ชั่งแอมโมเนียมเมตาวานาเดท 2 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน 300 มล. ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมกรดไนตริกเข้มข้น 65% 160 มล. จากนั้นเทลงในสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดทที่เตรียมโดยละลายแอมโมเนียมโมลิบเดท 40 กรัม ละลายในน้ำ DI เดือด 400 มล. ปรับปริมาตร 1,000 มล. ด้วยน้ำปราศจากไอออน เก็บในขวดสีชาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนใช้เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1:3 (สารละลายวานาเดทโมลิบเดท: น้ำปราศจากไอออน)

#### 2.3 การสร้างมาตรฐาน

ชั่งโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟตที่ผ่านการอบ 105 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง 0.438 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออนและปรับปริมาตรให้เป็น 100 มล. จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสเข้มข้น 1,000 ppm ปิเปตสารละลายมาตรฐานปริมาตร 0 0.05 0.1 0.15 0.2 0.25 และ 0.3 มล. ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มล. เติมกรดเปอร์คลอริกเข้มข้น 20% 2 มล. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายความเข้มข้น 0 5 10 15 20 25 และ 30 ppm ปิเปตสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆ 1 มล. ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มล. เติมสารละลายวานาเดทโมลิบเดท (1:3) 5 มล. ผสมให้เข้ากันโดยเครื่องผสมสารละลาย ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่

ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) ยี่ห้อ RAYLEIGH รุ่น VIS-723G สร้างกราฟมาตรฐานโดยให้ปริมาณฟอสฟอรัสเป็นแกน X และค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกน Y แล้วสร้างสมการเส้นตรงเพื่อแสดงความสัมพันธ์ ดังแสดงใน ภาพผนวกที่ 1



ภาพผนวกที่ 1 กราฟมาตรฐานปริมาณฟอสฟอรัส

#### 2.4 ขั้นตอนการย่อยตัวอย่าง

ซึ่งตัวอย่างที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง 0.2-0.3 กรัม ให้ทราน้ำหนักที่แน่นอนใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มล. เติมกรดย่อยสำหรับย่อยตัวอย่าง 15 มล. ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง นำไปย่อยบนแผ่นให้ความร้อน (hot plate) ยี่ห้อ Framo รุ่น M21/1 ประมาณ 3-4 ชั่วโมง จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีใส ถ่ายสารละลายลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มล. และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน เก็บตัวอย่างใส่ขวด รอวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

#### 2.5 วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส

ปิเปตตัวอย่างที่ผ่านการย่อยแล้ว 1 มล. ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มล. เติมสารละลายวานาเดียมโมลิบเดต (1:3) 5 มล. ผสมให้เข้ากันโดยเครื่องผสมสารละลาย ตั้งทิ้งไว้ 20 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัส โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างกับการพามาตรฐาน

เมื่อ  $y =$  ค่าการดูดกลืนแสง  
 $X =$  ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่าง (ppm)

คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสจากสมการ

$$\% \text{ฟอสฟอรัส} = \frac{(X-B) \times V \times 100}{1000 \times W}$$

เมื่อ  $X =$  ปริมาณฟอสฟอรัสในตัวอย่าง (ppm)  
 $B =$  ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำกลั่นปราศจากไอออน (ppm)  
 $V =$  ปริมาณของตัวอย่างที่ปรับปริมาตรหลังจากการย่อย (มล.)  
 $W =$  น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

### 3. ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2005)

ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงในหลอดย่อย ใส่สารเร่งปฏิกิริยาสำเร็จรูปอัดเม็ด (Kjeldahl tablets, 5 g/tablet) 1 เม็ด เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 12 มล. นำไปย่อยในตู้ดูดควันโดยใช้เครื่องย่อย (digestor) ยี่ห้อ Tecator รุ่น 2012 ที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปกลั่นโดยใช้เครื่องกลั่น (distilling unit) ยี่ห้อ Tecator รุ่น 1026 ซึ่งเป็นระบบอัตโนมัติ (น้ำกลั่น 25 มล. และต่าง 20 มล.) ดักจับก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้นโดยใช้สารละลายกรดบอริก 4 % 25 มล. ที่เติมอินดิเคเตอร์ผสมของเมทิลเรดและบรอมกลีซอลกรีนลงไป 2-3 หยด นำสารละลายที่ได้มาไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มอล จนได้สารละลายสีเทาอมน้ำเงิน ทำแบลงค์ (blank) เช่นเดียวกับตัวอย่างแต่ไม่ใส่ตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสมการ

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(V_S - V_B) \times N \times F \times 0.014 \times 100}{W}$$

เมื่อ  $V_S =$  ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง (มล.)  
 $V_B =$  ปริมาตรของกรดที่ใช้ไทเทรตกับแบลงค์ (มล.)  
 $N =$  ความเข้มข้นของกรดที่ใช้ไทเทรต (นอร์มอล)  
 $F =$  ค่าคงที่ในการเปลี่ยนค่าไนโตรเจนเป็นโปรตีน  
 $F = 5.95$   
 $W =$  น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

#### 4. ปริมาณไขมัน (AOAC, 2005)

ชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ( $W_5$ ) ลงบนกระดาษกรอง ท่อให้มิดชิด ใส่ลงในทิมเบลแล้วปิดด้วยสำลีปราศจากไขมัน เติมหะเอิน 50 มล. ลงในถ้วยสกัดที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน ( $W_1$ ) ต่ออุปกรณ์ทุกส่วนเข้ากับชุดสกัด (extraction unit) ยี่ห้อ Tecator รุ่น 1043 ซึ่งจะทำงานร่วมกับหน่วยบริการ (service unit) ยี่ห้อ Tecator รุ่น 1046 ทำการสกัดไขมัน โดยจะใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง นำถ้วยสกัดที่มีไขมันอยู่ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) ทำแปลงค์เช่นเดียวกับตัวอย่างแต่ไม่ใส่ตัวอย่าง ( $W_0$ ) คำนวณหาปริมาณไขมันจากสมการ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{(W_2 - W_1 - W_0) \times 100}{W_5}$$

#### 5. ปริมาณเถ้า (AOAC, 2005)

นำครุชีเบลกระเบื้องไปใส่ในเตาเผาอุณหภูมิสูง (muffle furnace) ยี่ห้อ Lenton รุ่น AWF130-12 ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) ชั่งตัวอย่าง 3-5 กรัม ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ( $W_5$ ) ใส่ลงในครุชีเบล นำไปตั้งบนเตาให้ความร้อน (hot plate) ยี่ห้อ Framo รุ่น M21/1 ที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียส จนหมดควัน นำไปใส่ในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ประมาณ 6 ชั่วโมง จนได้เถ้าสีขาวหรือจนตัวอย่างมีน้ำหนัคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) คำนวณหาปริมาณเถ้าจากสมการ

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{W_5}$$

#### 6. ปริมาณใยอาหาร

ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ( $M_2$ ) ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงใส่ตัวอย่าง นำถุงตัวอย่างต่อเข้าแท่งแก้ว ใส่ในช่องบรรจุตัวอย่าง นำไปต่อเข้าชุดเครื่องวิเคราะห์ ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยหยาบ โดยใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง นำถุงบรรจุตัวอย่างที่ผ่านการสกัดตัวอย่างแล้ว ใส่ในถ้วยครุชีเบลที่ผ่านการอบและทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไปอบในตู้อบลมร้อนจนมีน้ำหนัคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก นำไปเผาในเตาเผาเถ้า นาน 24 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณใยอาหาร



$$\text{ปริมาณใยอาหาร (\%)} = \frac{[(M_3 - M_1 - M_1) - (B_3 - B_1 - B_4)] \times 100}{M_2}$$

เมื่อ	$M_1$	=	น้ำหนักถุง fiber bag (กรัม)
	$M_2$	=	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)
	$M_3$	=	น้ำหนักถุง fiber bag + ตัวอย่าง + ถ้วยครุชชีเบิ้ล + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
	$M_4$	=	น้ำหนักครุชชีเบิ้ล + น้ำหนักถ้ำ (กรัม)
	$B_1$	=	น้ำหนักถุง fiber bag (กรัม)
	$B_3$	=	น้ำหนักถุง fiber bag + ถ้วยครุชชีเบิ้ล + น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
	$B_4$	=	น้ำหนักครุชชีเบิ้ล + น้ำหนักถ้ำ (กรัม)

#### 7. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

นำปริมาณโปรตีน ไขมัน ถ้ำ และใยอาหารของตัวอย่างมาคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตจากสมการ

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (\%)} = 100 - (\text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{ถ้ำ} + \text{ใยอาหาร})$$



ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา

## การวิเคราะห์สมบัติทางจุลชีววิทยา

### 1. ปริมาณแบคทีเรียทั้งหมด (AOAC, 2005)

สุ่มตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายเปปโตน 9 มล. ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ผสมให้เข้ากันโดยเครื่องผสมสารละลาย ทำการเจือจางตัวอย่างจนได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายเปปโตน จากนั้นทำการ pour plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ PCA นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตรวจสอบโคโลนีบนจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนอยู่ระหว่าง 30-300 โคโลนี หากค่าเฉลี่ย รายงานผลในหน่วยจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง 1 กรัม (cfu/g)

### 2. ปริมาณยีสต์และรา (AOAC, 2005)

สุ่มตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีสารละลายเปปโตน 9 มล. ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ผสมให้เข้ากันโดยเครื่องผสมสารละลาย ทำการเจือจางตัวอย่างจนได้ความเข้มข้นที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายเปปโตน จากนั้นทำการ spread plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ PDA นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72-120 ชั่วโมง ตรวจสอบโคโลนีบนจานเพาะเชื้อ หากค่าเฉลี่ย แล้ว รายงานค่าเป็นจำนวนโคโลนีของยีสต์และราทั้งหมดต่อตัวอย่าง 1 กรัม (cfu/g)



ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์สมบัติทางหน้าที่

### การวิเคราะห์สมบัติทางหน้าที่

1. ความสามารถในการดูดซับน้ำ (water absorption capacity; WAC) และความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (oil absorption capacity; OAC) (ดัดแปลงจาก AACC, 2000)

ชั่งน้ำหนักปั้นหเวียงขนาด 15 มล. ที่แห้งสนิท ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1 กรัม ( $W_1$ ) ใส่ลงในหลอดปั่นหเวียง เติมน้ำกลั่น (สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำ) หรือน้ำมันถั่วเหลือง (สำหรับการวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน) 10 มล. ผสมให้เข้ากันโดยเครื่องผสมสารละลายนาน 10 วินาที 3 ครั้ง ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที นำไปปั่นหเวียงด้วยความเร็ว 4,500 รอบ/นาที นาน 10 นาที ปิดเปิดดูส่วนที่เป็นของเหลวด้านบนออก คั่วหลอดเอียงทำมุม 45 องศา นาน 5 นาที ชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) คำนวณหาความสามารถในการดูดซับน้ำ และความสามารถในการดูดซับน้ำมันจากสมการ

$$\text{WAC หรือ OAC (\%)} = \frac{[(W_2 - W_1) - W_5] \times 100}{W_5}$$

2. ดัชนีการละลายน้ำ (water solubility index; WSI) และความสามารถในการพองตัว (swelling capacity; SC) (ดัดแปลงจาก Bello-Perez, 1999)

ชั่งน้ำหนักปั้นหเวียงขนาด 15 มล. ที่แห้งสนิท ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1 กรัม ( $W_1$ ) ใส่ลงในหลอดปั่นหเวียง เติมน้ำกลั่น 10 มล. ผสมให้เข้ากันโดยเครื่องผสมสารละลายนาน 10 วินาที 3 ครั้ง นำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที โดยนำออกมาเขย่าทุกๆ 5 นาที โดยใช้เครื่องผสมสารละลาย นำไปปั่นหเวียงด้วยความเร็ว 4,500 รอบ/นาที นาน 15 นาที ปิดเปิดดูส่วนที่เป็นของเหลวด้านบนใส่ในกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมฝาปิดที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักแน่นอน ( $W_2$ ) ชั่งน้ำหนักหลอดปั่นหเวียงพร้อมตัวอย่างที่พองตัว ( $W_3$ ) นำกระป๋องอะลูมิเนียมพร้อมส่วนที่เป็นของเหลวไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ทำให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_4$ ) คำนวณหาดัชนีการละลายน้ำ และความสามารถในการพองตัวจากสมการ

$$\text{WSI (\%)} = \frac{(W_4 - W_2) \times 100}{W_5}$$

$$\text{SC} = \frac{(W_3 - W_1) \times 100}{W_5 \times (100 - \text{WSI})}$$

### 3. ความหนาแน่นจำเพาะ (Bulk density; BD) (ดัดแปลงจาก Kaur et al., 2007)

ชั่งน้ำหนักกระบอกตวงขนาด 10 มล. ที่แห้งสนิท ( $W_1$ ) บรรจุตัวอย่างลงในกระบอกตวงประมาณ 10 มล. แล้วชั่งน้ำหนัก ( $W_2$ ) จากนั้นกระแทกกระบอกตวงกับโต๊ะพื้นเรียบ โดยยกกระบอกตวงให้สูงจากพื้นโต๊ะประมาณ 10 ซม. จนระดับของตัวอย่างไม่เปลี่ยนแปลง บันทึกปริมาตรของตัวอย่างในกระบอกตวง ( $V$ ) คำนวณหาความหนาแน่นจำเพาะโดยเทียบจากปริมาตร 1 มล. เท่ากับ 1 ซม.<sup>3</sup> จากสมการ

$$BD \text{ (กรัม/ซม.}^3\text{)} = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

### 4. ปริมาตรจำเพาะ (ดัดแปลงจาก AACC, 2000)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ( $W_s$ ) หาปริมาตรของตัวอย่างโดยใช้วิธีการแทนที่ด้วยเมล็ดงาดอย (*Perilla frutescens*) โดยวัดปริมาตรของภาชนะที่มีรูปรทงแน่นอน บรรจุเมล็ดงาดอยให้เต็มภาชนะ ปาดผิวหน้าให้เรียบ วัดปริมาตรของเมล็ดงาดอยที่เหลือในภาชนะโดยใช้กระบอกตวงขนาดต่างๆ บันทึกเป็นปริมาตรของภาชนะ ( $V_1$ ) บรรจุเมล็ดงาดอยลงในภาชนะใบเดิมประมาณ ¼ นำตัวอย่างใส่ลงไป บรรจุเมล็ดงาดอยให้เต็มภาชนะ ปาดผิวหน้าให้เรียบ เทเมล็ดงาดอยและตัวอย่างออกจากภาชนะ วัดปริมาตรของเมล็ดงาดอยด้วยกระบอกตวง บันทึกเป็นปริมาตรของอากาศในภาชนะ ( $V_2$ ) คำนวณหาปริมาตรจำเพาะของตัวอย่างโดยเทียบจากปริมาตร 1 มล. เท่ากับ 1 ซม.<sup>3</sup> จากสมการ

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ (ซม.}^3\text{/กรัม)} = \frac{V_1 - V_2}{W_s}$$

### 4. ลักษณะเนื้อสัมผัส

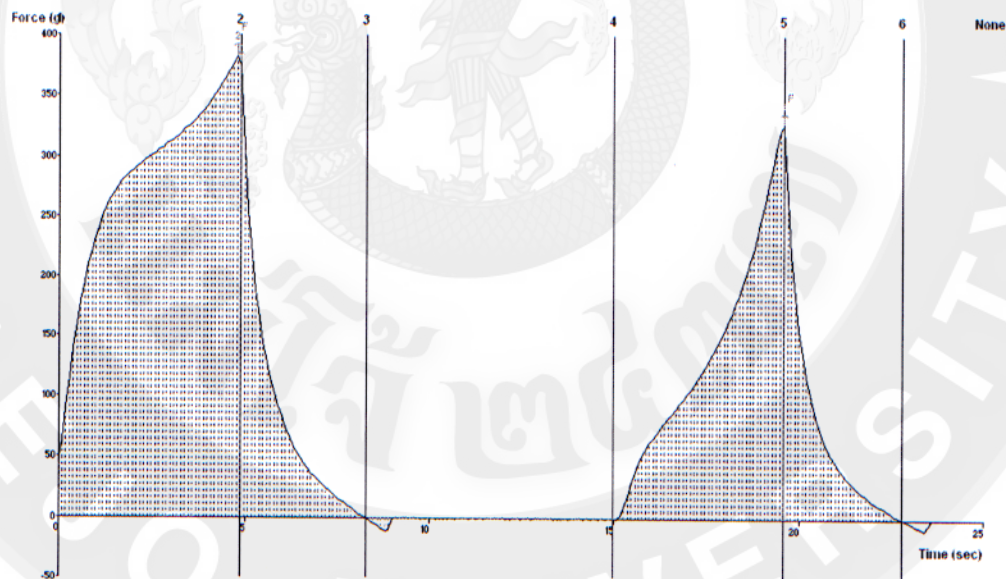
ใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ยี่ห้อ Stable Microsystems รุ่น TA.XT Plus และซอฟต์แวร์ Texture Exponent 32 โดยใช้วิธีการวัดแบบ texture profile analysis (TPA)

หั่นตัวอย่างขนมสาเล่ให้มีขนาด 25×25×25 มม. (กว้าง×ยาว×สูง) ต่อหัววัดทรงกระบอก (cylindrical probe) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มม. เข้ากับเครื่องวัด กำหนดสภาวะในการทำงานของเครื่องดังแสดงในตารางผนวกที่ 2

ตารางผนวกที่ 2 สภาวะในการทำงานของเครื่อง texture analyzer

Caption	Value	Units
Pre-Test Speed	10.00	mm/sec
Test Speed	10.00	mm/sec
Post-Test Speed	10.00	mm/sec
Strain	50.00	%
Time	5.00	sec
Trigger Force	50.0	g

ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่าง ซึ่งจะได้กราฟ TPA ดังแสดงในภาพผนวกที่ 2 คำนวณค่าความแข็ง (hardness) การคืนตัว (springiness) การเกาะตัวกัน (cohesiveness) และความยากในการเคี้ยว (chewiness) ความเหนียว (Gumminess) ดังนี้



ภาพผนวกที่ 2 กราฟ TPA ของตัวอย่างขนมสาลีที่ทำจากแป้งสาลี

$$\begin{aligned}
 \text{Hardness (g)} &= \text{Force } 2 \\
 \text{Adhesiveness (g.s)} &= \text{Area } 3:4 \\
 \text{Cohesiveness} &= \frac{\text{Area } 4:6}{\text{Area } 1:3} \\
 \text{Chewiness} &= \frac{\text{Force } 2 \times \text{Area } 4:6 \times \text{Time difference } 4:5}{\text{Area } 1:3 \times \text{Time difference } 1:2} \\
 &\text{หรือ} = \text{Hardness} \times \text{Cohesiveness} \times \text{Springiness}
 \end{aligned}$$

5. ความสามารถในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็งโดยการวัดการแยกตัวของน้ำจากเจลแป็ง (syneresis) (freeze-thaw stability) (ดัดแปลงจาก Wu and Seib, 1990)

ซึ่งตัวอย่างแบ่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 2.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 50 มล. ต้มให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ตั้งทิ้งไว้รอให้น้ำแป็งเย็น 30 นาที ซึ่งตัวอย่างน้ำแป็งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 5 กรัม ( $W_5$ ) ใส่หลอดปั่นเหวี่ยงขนาด 15 มล. ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ( $W_1$ ) นำไปแช่เยือกแข็งในช่องแช่แข็งนาน 24 ชั่วโมง ละลายน้ำแข็งโดยแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4600 รอบ/นาที นาน 15 นาที ปิดฝาสวนใสออก ซึ่งน้ำหนักหลอดปั่นเหวี่ยงพร้อมตัวอย่างที่ผ่านการละลายน้ำแข็ง ( $W_2$ ) คำนวณหาค่าความสามารถในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง (การแยกตัวของน้ำจากเจลแป็ง; % syneresis) จากสมการ

$$\text{\% syneresis (Freeze -thaw stability)} = \frac{(W_2 - W_1) \times 100}{W_5}$$

6. ความสามารถในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็งของขนมสาลี (freeze-thaw stability) (ดัดแปลงจาก Phimolsiripola et al., 2008)

หั่นขนมสาลี ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 3 กรัม ( $W_5$ ) บรรจุในถุง PE ทำการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำ จำนวน 5 รอบ นำออกมาละลายน้ำแข็งนาน 90 นาที ที่อุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส เมื่อถึงการละลายในรอบที่ 5 ให้นำตัวอย่าง วางบนกระดาษกรองที่ผ่านการอบไล่ความชื้น ในกล่องภาชนะปิดสนิท เมื่อครบเวลา นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก ( $W_1$ ) คำนวณหาค่าความสามารถในการทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งจากสมการ

$$\text{\% syneresis (Freeze -thaw stability)} = \frac{(W_5 - W_1) \times 100}{W_5}$$





ภาคผนวก จ

แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

### แบบทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส

ผลิตภัณฑ์.....ขนมสาลีแช่เยือกแข็ง..... วันที่.....เพศ..... อายุ.....

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่างต่อไปนี้อย่างต่อเนื่องตามลำดับจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนตามระดับความชอบของท่าน

(กรุณาบ้วนปากด้วยน้ำที่เตรียมไว้ก่อนการชิมตัวอย่างทุกครั้ง)

คะแนนความชอบ: 1 = ไม่ชอบมากอย่างยิ่ง 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย

5 = เฉยๆ 6 = ชอบเล็กน้อย 7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากอย่างยิ่ง

ลักษณะ ทางประสาทสัมผัส	รหัสตัวอย่าง						
	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
สี							
กลิ่น							
รสชาติ							
เนื้อสัมผัส							
ความชอบโดยรวม							

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

“ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ”



ภาคผนวก ฉ

ภาพประกอบการวิจัย



ภาพผนวกที่ 3 เครื่องบดถั่วเหลือง ยี่ห้อ Lita



ภาพผนวกที่ 4 ตู้เย็น 2 ประตู ยี่ห้อ SHARP รุ่น รุ่น SJ-48H/D48H



ภาพผนวกที่ 5 ตู้แช่เยือกแข็ง ยี่ห้อ SANYO รุ่น SF-C995 (GYN)



ภาคผนวก ช

ตารางภาคผนวก

ตารางผนวกที่ 3 สมบัติทางหน้าที่ของแป้งข้าวสาลี

ตัวอย่าง	WAC (%)	OAC (%)	WSI (%)	SC	BD (กรัม/ซม. <sup>3</sup> )
แป้งสาลีชนิดทำเค้ก	125.57±9.10	93.89±6.54	8.70±1.16	8.65±0.94	0.82±0.12

ตารางผนวกที่ 4 สมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวสาลี

ตัวอย่าง	Peak viscosity (cP)	Holding strength (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)	Pasting temperature (องศาเซลเซียส)
แป้งสาลีชนิดทำเค้ก	2598.80±102.91	1584.23±8.67	936.14±34.56	3109.33±57.82	1462.20±63.79	67.42±0.52



ภาคผนวก ซ

ประวัติผู้วิจัย

## ประวัตินักศึกษา

ชื่อ – นามสกุล                      นางสาวมิ่งขวัญ ทองกลาง  
เกิดเมื่อ                                5 พฤศจิกายน 2532  
ประวัติการศึกษา                      พ.ศ. 2551 วิทยาศาสตรบัณฑิต  
   สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร  
   มหาวิทยาลัยแม่โจ้  
   พ.ศ. 2545 มัธยมศึกษาตอนปลาย  
   โรงเรียนสวนบุญโญปกรณ์ จังหวัดลำพูน  
อีเมล                                      kaa\_pong@hotmail.com

