



โครงการ การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ	การลดการเกิดรีโทรเกรดชั้นของเม็ดไขมันในชานมโดยใช้ แป้งข้าวเหนียวดำ แชนแทนกัม และน้ำตาลทรีฮาโลส	
ชื่อนิสิต	นายอรุณ วีระสกุลชัย นายชานน ลิขิตพงศธร นางสาวสองฝัน บุญทอง	
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร	
ปีการศึกษา	2563	

การลดการเกิดรีโทรเกรดชันของเม็ดไข่มุกในชาวมโดยใช้แป้งข้าวเหนียวดำ แชนแทนกัม และ
น้ำตาลทรีฮาโลส

โดย

นายอรุณ วีระสกุลชัย

นายชานน ลิขิตพงศธร

นางสาวสองฝัน บุญกอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.จิรรัตน์ อนันตกุล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประจำปีการศึกษา 2563

Reduction of retrogradation of tapioca pearl in bubble milk tea by using
black glutinous rice flour, xanthan gum and trehalose

Arun Werasakulchai

Chanon Likitpongsatorn

Songfun Boonkong

Project Advisor

Assoc. Prof. Jirarat Anuntagool, Ph.D.

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
For the Degree of Bachelor of Science Program in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

หัวข้องานวิจัย การลดการเกิดรีโทรเกรเดชันของเม็ดไขมันในขนมโดยใช้แป้งข้าวเหนียวดำ แชนแทนกัม และ น้ำตาลทรียาโลส

โดย นายอรุณ วีระสกุลชัย
นายชานน ลิขิตพงศธร
นางสาวสองฝัน บุญกอง

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.จिरารัตน์ อนันตกุล

ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อนุมัติให้รายงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
ประจำปีการศึกษา 2563



.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนิษฐา ชนานวงศ์)
หัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร



.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จिरารัตน์ อนันตกุล)
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้อวิจัย	การลดการเกิดริ้วรอยเรขาคณิตของเม็ดไขมันในไขมันโดยใช้แป้งข้าวเหนียวดำ แชนแทนกัม และน้ำตาลทรีฮาโลส
โดย	นายอรุณ วีระสกุลชัย นายชานน ลิขิตพงศธร นางสาวสองฝัน บุญกอง
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. จิรรัตน์ อนันตกุล
ปีการศึกษา	2563

บทคัดย่อ

เม็ดไขมันที่รับประทานกับไขมันไขมันทำจากแป้งมันสำปะหลัง น้ำตาลทราย ผงโกโก้และน้ำ เมื่อแช่เย็นเป็นเวลานานเกิดการริ้วรอยเรขาคณิตของแป้ง ส่งผลทำให้เม็ดไขมันมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้าง ไม่เหนียวนุ่ม ซึ่งผู้บริโภคไม่ยอมรับ ทำให้ไม่สามารถเตรียมไขมันนุ่มรสหวาน และไม่สามารถผลิตไขมันไขมันพร้อมขายได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของเม็ดไขมันที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวดำ น้ำตาลทรีฮาโลส และแชนแทนกัม เพื่อได้สูตรที่มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงสูตรควบคุม รวมถึงหาปริมาณของส่วนผสมที่เหมาะสมต่อการลดการเกิดริ้วรอยเรขาคณิตของเม็ดไขมันและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งศึกษาจากเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านความหนืด เนื้อสัมผัส และคุณภาพของการหุงต้ม เปรียบเทียบระหว่างเม็ดไขมันสูตรควบคุมหลังต้มสุกทันทีและเม็ดไขมันสูตรพัฒนาที่ผ่านการแช่เย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากการทดลองทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำในปริมาณร้อยละ 20 ถึง 100 พบว่าการทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำร้อยละ 20 สามารถลดค่า setback ของแป้งผสมลงได้ถึงร้อยละ 40.52 และยังคงลักษณะทางเนื้อสัมผัสของเม็ดไขมันได้ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด จึงนำสูตรดังกล่าวมาศึกษาต่อโดยการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลสในปริมาณร้อยละ 20 ถึง 100 พบว่าทรีฮาโลสสามารถชะลอการริ้วรอยเรขาคณิตได้ แต่ส่งผลให้โด้มีลักษณะแห้งและแข็ง ซึ่งยากต่อการขึ้นรูปเป็นเม็ดไขมัน การใช้ทรีฮาโลสจึงไม่เหมาะต่อการพัฒนาเม็ดไขมัน ดังนั้นจึงนำสูตรควบคุมและสูตรทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวปริมาณร้อยละ 20 มาศึกษาต่อด้วยการเติมแชนแทนกัมในปริมาณร้อยละ 0.1 ถึง 0.9 พบว่าปริมาณแชนแทนกัมร้อยละ 0.1 สามารถลดค่า setback ของแป้งผสมลงได้ถึงร้อยละ 51.61 และยังคงลักษณะทางเนื้อสัมผัสได้ใกล้เคียงสูตรข้าวเหนียวดำร้อยละ 20 มากที่สุด และการเติมแชนแทนกัมร้อยละ 0.1 ในสูตรควบคุมสามารถลดค่า setback ของแป้งผสมลงได้ถึงร้อยละ 29.68 โดยที่ยังมีลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงสูตรควบคุม ดังนั้น จึงนำเม็ดไขมัน 4 สูตร ได้แก่ สูตรทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำร้อยละ 20 สูตรควบคุมที่เติมแชนแทนกัมร้อยละ 0.1 สูตรทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำร้อยละ 20 และเติมแชนแทนกัมร้อยละ 0.1 และสูตรควบคุม มาทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยผู้ทดสอบจำนวน 40 คน พบว่า สูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด คือ สูตรที่เติมแชนแทนกัมร้อยละ 0.1 ($p < 0.05$) เมื่อนำเม็ดไขมันสูตรดังกล่าวไปทดสอบเพื่อหาความแตกต่างระหว่างเม็ดไขมันหลังต้มสุกทันที กับหลังจากแช่เย็น 2 ชั่วโมงพบว่าผู้ทดสอบไม่สามารถแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้ จึงสรุปได้ว่า สูตรที่มีเนื้อสัมผัสใกล้เคียงสูตรควบคุมมากที่สุดจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ รวมถึงมีปริมาณของส่วนผสมที่เหมาะสมกับการลดริ้วรอยเรขาคณิตของเม็ดไขมันและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากที่สุด คือ สูตรที่เติมแชนแทนกัมร้อยละ 0.1

Project Title	Reduction of retrogradation of tapioca pearl in bubble milk tea by using black glutinous rice flour, xanthan gum and trehalose
Student	Arun Werasakulchai Chanon Likitpongsatorn Songfun Boonkong
Student Program	Bachelor of Science in Food Technology
Advisor	Project Advisor Associate Professor Jirarat Anuntagool, Ph.D.
Academic	2020

ABSTRACT

Tapioca pearls in milk tea are made from tapioca starch, sugar, cocoa powder, and water. When refrigerated for a long time, the retrogradation of starch occurs, resulting in tapioca pearl with a hard texture and reduced elasticity that consumers do not accept. Nowadays, ready-to-eat tapioca pearl as well as ready-for-sale milk tea with tapioca pearls cannot be prepared due to this problem. Therefore, this research aimed to produce ready-to-eat tapioca pearls and to study physical properties of tapioca pearls containing black glutinous rice flour, trehalose, and xanthan gum comparing to the control formula. The effect of ingredients to reduce the retrogradation of the tapioca pearl after 2-hour refrigeration was studied by following the changes in pasting properties, texture, and cooking quality of tapioca pearls. In replacing tapioca starch with black glutinous rice flour at 20% to 100% substitution level, it was found that the replacement of tapioca starch with 20% black glutinous rice flour yielded tapioca pearls with comparable texture with the control formula while reducing the setback by 40.52%. Therefore, the formulation was selected for subsequent studies by replacing sucrose with trehalose at 20% to 100% substitution level. It was found that trehalose retards retrogradation but resulting in dough dryness that caused difficulties in forming tapioca pearls. Therefore, the use of trehalose is not suitable for the development of tapioca pearls. Thus, the control formula and the formula with 20% glutinous rice flour was selected for further studies by adding 0.1 to 0.9% xanthan gum. It was found that 0.1% xanthan gum in the 20% glutinous rice flour formula was able to reduce the setback value by 51.61% with comparable texture. The addition of 0.1% xanthan gum in the control formula could reduce the setback value of the mixed starch up to 29.68% with comparable texture to the control formula. Therefore, 4 formulas, namely the 20% black glutinous rice flour formula, the control formula with 0.1% xanthan gum, the 20% black glutinous rice flour formula with 0.1% xanthan gum, and the control formula, were selected for subsequent studies. Sensory testing by 40 panelists showed that the most accepted formula was the formula containing 0.1% xanthan gum ($p < 0.05$). The panelists could not differentiate the pearl beads after boiling immediately and after 2-hour refrigeration. It can be concluded that the formula with the texture closest to the control formula with reduced retrogradation after 2-hour refrigeration was the control formula containing 0.1% xanthan gum.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการเรียนการสอนตามหลักสูตรในระดับปริญญาตรีของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้รับเงินอุดหนุนจากงบประมาณของโครงการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์ ปีการศึกษา 2563 โดยมี รศ.ดร. จิราวัฒน์ อนันตกุล เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

คณะผู้วิจัยสามารถดำเนินโครงการการเรียนการสอนเพื่อส่งเสริมประสบการณ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณ รศ.ดร. จิราวัฒน์ อนันตกุล เป็นอย่างสูงที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิด และคำติชมต่าง ๆ ในระหว่างการดำเนินการวิจัย รวมทั้งแก้ไขตรวจทานรายงานวิจัยเล่มนี้ในสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่ให้คำปรึกษา แนะนำในทุก ๆ ด้านที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนผู้ทรงคุณวุฒิ เจ้าของตำราทุกเล่มที่ผู้ทำการวิจัยนำมาอ้างอิงประกอบในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำและช่วยอำนวยความสะดวกด้านสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีตลอดระยะเวลาที่ดำเนินการวิจัย

ผู้ดำเนินงานวิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้เป็นประโยชน์ เป็นข้อมูลพื้นฐานต่อการศึกษาและพัฒนาในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเม็ดไข่มุก และงานวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป

ด้วยความเคารพอย่างสูง

นายอรุณ วีระสกุลชัย

นายชานน ลิขิตพงศธร

นางสาวสองฝัน บุญกอง

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
1.3 ขอบเขต/กรอบแนวคิดของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 เม็ดไข่มุก	3
2.1.1 แป้งมันสำปะหลัง	3
2.1.1.1 สมบัติทางเคมี	3
2.1.1.2 สมบัติทางกายภาพ	5
2.1.1.3 การเกิดเจลลาตินในเซชัน	6
2.1.1.4 รีโทรเกรเดชัน	7
2.1.2 ซูโครส	8
2.2 สารที่ช่วยลดการเกิดรีโทรเกรเดชัน	9
2.2.1 แป้งข้าวเหนียวดำ	9
2.2.2 ไฮโดรคอลลอยด์	10
2.2.2.1 แชนแทนกัม	11
2.2.3 ทรีฮาโลส	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	14
3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมี และอุปกรณ์	14
3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำ	14
3.2.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยใช้ drying method ตามวิธีของ AOAC (2000)	14
3.2.3 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนหยาบทั้งหมดโดยวิธี kjeldahl ตามวิธีของ AOAC (2000)	14
3.2.4 วิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (2000)	14
3.2.5 วิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธี AOAC (2000)	14
3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำ	14

3.3.1	ศึกษารูปร่างและลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100X	14
3.3.2	ผลของการศึกษาสมบัติทางการเกิดเพสต์ของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อนจนถึงขั้นตอนการทำให้เย็นลงโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)	14
3.4	การเตรียมตัวอย่าง	14
3.4.1	สูตรควบคุมเม็ดไข่มุก	14
3.4.2	วิธีการทำเม็ดไข่มุก	14
3.5	ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลัง กับแป้งข้าวเหนียวดำที่ใช้ในการผลิตเม็ดไข่มุก	15
3.5.1	ผลการศึกษาสมบัติทางการเกิดเพสต์ขององค์ประกอบเม็ดไข่มุกโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)	15
3.5.2	ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังต้มทันทีและแช่เย็น 2 ชั่วโมง ด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA)	15
3.5.3	ศึกษาคุณภาพการหุงต้มของเม็ดไข่มุก	15
3.6	ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างซูโครส และทรีฮาโลสที่ใช้ในการผลิตเม็ดไข่มุกในชานม	16
3.7	ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเติมแซนแทนกัมที่ใช้ในการผลิตเม็ดไข่มุกในชานม	17
3.8	การทดสอบทางประสาทสัมผัสเม็ดไข่มุกสูตรปรับปรุง	17
3.8.1	การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกในชานม	17
3.8.2	การทดสอบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างเม็ดไข่มุกหลังต้มทันทีและแช่เย็น 2 ชั่วโมง	17
3.9	การวิเคราะห์ทางสถิติ	18
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล	19
4.1	ผลของการศึกษาสมบัติทางเคมี	19
4.1.1	องค์ประกอบทางเคมี	19
4.2	ผลของการศึกษาสมบัติทางกายภาพ	19
4.2.1	รูปร่างลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำ	19
4.2.2	สมบัติการเกิดเพสต์ของแป้งและส่วนประกอบอื่น	20
4.3	ผลของการทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ	23

4.3.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก	23
4.3.1.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังจากต้มทันที	23
4.3.1.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังจากผ่านการแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง	24
4.3.1.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกของสูตรควบคุมที่ตรวจสอบทันที หลังต้มเทียบกับสูตรปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ และแป้งมันสำปะหลังที่ตรวจสอบหลังแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง	24
4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางการเกิดเฟสดีโดยปรับอัตราส่วน แป้งมันสำปะหลังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ	25
4.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพการหุงต้ม	26
4.4 ผลของการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลส	27
4.4.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก	27
4.4.1.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังจากต้มทันที	27
4.4.1.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังจากผ่านการแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง	28
4.4.1.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกของสูตรควบคุม ที่ตรวจสอบทันทีหลังต้มเทียบกับสูตรปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ และแป้งมันสำปะหลังที่ตรวจสอบหลังแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง	29
4.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางการเกิดเฟสดีโดยปรับอัตราส่วนซูโครสที่ทดแทนด้วยทรีฮาโลส	30
4.4.3 ร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการต้ม ของเม็ดไข่มุกที่ปรับอัตราส่วนซูโครสต่อทรีฮาโลส	31
4.5 ผลของการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลสในเม็ดไข่มุก	32
4.5.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก	32
4.5.1.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังจากต้มทันที	32
4.5.1.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังจากผ่านการแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง	33
4.5.1.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกของสูตรควบคุมที่ ตรวจสอบทันทีหลังต้มเทียบกับสูตรปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ และแป้งมันสำปะหลังที่ตรวจสอบหลังแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง	34
4.5.2 การวิเคราะห์สมบัติทางการเกิดเฟสดีโดยปรับเพิ่มสัดส่วนแทนแทนกัมต่อ แป้งในเม็ดไข่มุก	35
4.5.3 ร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการต้มของเม็ดไข่มุก	36

ที่ปรับเพิ่มสัดส่วนแซนแทนกัมต่อแป้งในเม็ดไ้ม่ก

4.6 ผลการศึกษาสูตรของเม็ดไ้ม่กที่เหมาะสมที่สุด	37
4.6.1 การเลือกสูตรเม็ดไ้ม่กที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากค่าเนื้อสัมผัส	37
4.6.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส	38
4.6.2.1 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เม็ดไ้ม่กในชานม	38
4.6.2.2 ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างเม็ดไ้ม่กหลังต้มและแช่เย็น	39
4.6.2.2.1 ผลการทดสอบเพื่อหาความแตกต่างในผลิตภัณฑ์เม็ดไ้ม่ก สูตรควบคุมหลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์เม็ดไ้ม่ก สูตรควบคุมหลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง	39
4.6.2.2.2 ผลการทดสอบเพื่อหาความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์เม็ดไ้ม่ก ไ้ม่ก สูตรเติมแซนแทนกัม 0.1% หลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์ เม็ดไ้ม่ก สูตรเติมแซนแทนกัม 0.1% หลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	42
เอกสารอ้างอิง	44

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่า pasting property ของแป้งสาลีและแป้งข้าวเหนียวดำ	10
3.1 ตารางสูตรเม็ดไข่มุกที่มีการใช้แป้งข้าวเหนียวดำทดแทนแป้งมันสำปะหลัง	15
3.2 ตารางสูตรเม็ดไข่มุกที่มีการใช้ทรีฮาโลสทดแทนซูโครส	16
3.3 ตารางสูตรเม็ดไข่มุกที่มีการเติมแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นต่างๆ	17
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำ	19
4.2 สมบัติทางการเกิดเพสต์ของน้ำแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำและผงโกโก้	21
4.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางการเกิดเพสต์ของน้ำแป้งผสมที่สัดส่วนต่างๆ	22
4.4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกที่ปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังหลังจากต้มทันที	23
4.5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกตรวจสอบหลังแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง	24
4.6 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกสูตรควบคุมที่ตรวจสอบทันทีหลังต้มเทียบกับสูตรปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ และแป้งมันสำปะหลังที่ตรวจสอบหลังแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง	25
4.7 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางการเกิดเพสต์ของน้ำแป้งที่ปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำต่อแป้งมันสำปะหลัง	26
4.8 ระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม ร้อยละการดูดน้ำ และร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการต้มของเม็ดไข่มุกที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ	27
4.9 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกจากการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลสหลังจากต้มทันที	28
4.10 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกที่ปรับอัตราส่วนซูโครสต่อทรีฮาโลสหลังจากแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง	29
4.11 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกสูตรควบคุมที่ตรวจสอบทันทีหลังต้มเทียบกับสูตรปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ และแป้งมันสำปะหลังที่ตรวจสอบหลังแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง	30
4.12 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางการเกิดเพสต์ของน้ำแป้งจากการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลส	31
4.13 ระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม ร้อยละการดูดน้ำ และร้อยละการสูญเสียของแข็ง	32

	ในระหว่างการต้มของเม็ดไผ่ที่ปรับอัตราส่วนซูโครสต่อทรีฮาโลส	
4.14	การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไผ่ที่ปรับอัตราส่วนแซนแทนกัม ต่อแป้งหลังจากต้มทันที	33
4.15	การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไผ่ที่ปรับอัตราส่วนแซนแทนกัม ต่อแป้งหลังจากแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง	34
4.16	การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไผ่สูตรควบคุม ที่ตรวจสอบทันทีหลังต้มทันทีเทียบกับสูตรเพิ่มอัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้ง ที่ตรวจสอบหลังแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง	35
4.17	การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางการเกิดเฟสของน้ำแป้งที่เพิ่มแซนแทนกัม	36
4.18	ระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม ร้อยละการดูดน้ำ และร้อยละการสูญเสียของแข็ง ในระหว่างการต้ม ของเม็ดไผ่ที่เพิ่มแซนแทนกัม	37
4.19	ผลการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เม็ดไผ่สูตรต่างๆ	39
4.20	การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์เม็ดไผ่ สูตรควบคุมหลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์เม็ดไผ่ สูตรควบคุมหลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง	40
4.21	การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์เม็ดไผ่ สูตรเติมแซนแทนกัม 0.1% หลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์เม็ดไผ่ สูตรเติมแซนแทนกัม 0.1% หลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง	41

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างแอมิโลส	4
2.2 โครงสร้างแอมิโลเพคติน	4
2.3 แบบจำลองของแอมิโลเพคตินบนพื้นฐานโครงสร้างแบบ Cluster	5
2.4 ระยะเวลาในการเกิดเจลลาติไนเซชันของเม็ดสตาร์ช	6
2.5 Pasting properties of tapioca starch (TS) (6% w/w).	7
2.6 โครงสร้างซูโครส	8
2.7 โครงสร้างแซนแทนกัม	11
2.8 โครงสร้างทรีฮาโลส	12
4.1 รูปร่างและลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำ	20
4.2 กราฟความหนืดที่ได้จากเครื่อง RVA ของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำ	21

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ขานมไข่มุกเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน โดยเม็ดไข่มุก (tapioca Pearl) ทำมาจากแป้งมันสำปะหลังผสมกับน้ำร้อน นวดให้เข้ากันแล้วปั้นเป็นก้อนกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร จากนั้นนำไปต้มให้สุกและผสมกับน้ำเชื่อม สำหรับสีที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของเม็ดไข่มุก คือ สีดำ ซึ่งเกิดจากการใช้ผงโกโก้ คาราเมล หรือสีผสมอาหาร ผสมร่วมกับแป้งมันสำปะหลัง (บุศรารภา สิละวัฒน์, 2561)

เนื่องจากเม็ดไข่มุกในขานมเมื่อถูกทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง หรือในอุณหภูมิห้องจะทำให้เกิดการคืนตัวของแป้ง เพราะโครงสร้างทางเคมีของเม็ดไข่มุกประกอบด้วยแอมิโลส 18.35% (ปริญพร ชุนดี, 2546) ซึ่งเป็นสาเหตุหลักทำให้เกิดการคืนตัวของแป้งสูงเพราะมีโครงสร้างที่มีกิ่งน้อยจึงสามารถจับโมเลกุลแอมิโลสกันเองได้ดี ดังนั้นการปรับอัตราส่วนของแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำซึ่งมีประมาณแอมิโลส 4.8% (Itthivadhanapong et al., 2015) จะมีผลทำให้การคืนตัวของเม็ดไข่มุกเกิดขึ้นได้ช้าลง และให้สีที่น่ารับประทานจากรงควัตถุแอนโทไซยานิน (Lacerda et al., 2019) นอกจากนั้นการเติมทรีฮาโลส และสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น แชนแทนกัม คาราจีแนน ก็มีผลในการลดการเกิดการคืนตัวของแป้งในเม็ดไข่มุก

นอกจากนี้ตลาดขานมไข่มุกในไทยมีการเติบโตไม่น้อยกว่า 40% ในปี 2563 (ณัฐชานน วงศสวัสดิ์, 2563) หากสามารถยืดอายุการเก็บรักษาเม็ดไข่มุกโดยคงสภาพที่ผู้บริโภคยอมรับ อาจสามารถเพิ่มมูลค่าการตลาดของขานมไข่มุกในไทยได้มากขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของเม็ดไข่มุกที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวดำ ทรีฮาโลส และแซนแทนกันเพื่อสูตรที่เนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรควบคุม
2. เพื่อหาปริมาณของส่วนผสมต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการลดการเกิดริ้วรอยเหี่ยวย่นของเม็ดไข่มุกและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของเม็ดไข่มุกที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวดำ ทรีฮาโลส และแซนแทนกัน
2. หาปริมาณแป้งข้าวเหนียวดำ ทรีฮาโลส และแซนแทนกันที่เหมาะสมในการลดการเกิดริ้วรอยเหี่ยวย่นของเม็ดไข่มุกและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงผลและปริมาณที่เหมาะสมของการเติมสารต่างๆ เพื่อลดการเกิดการคิ่นตัวของเม็ดไข่มุก
2. ได้เม็ดไข่มุกสูตรใหม่ที่คงคุณภาพทางเนื้อสัมผัสได้นานขึ้น

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 เม็ดแป้ง

ขานมแป้งเป็นเครื่องต้มที่มีต้นกำเนิดจากประเทศไต้หวันช่วงปี ค.ศ.1980 ซึ่งปัจจุบันมีความนิยม และเป็นที่ยอมรับทั่วโลกโดยเฉพาะในทวีปเอเชีย โดยเครื่องต้มชนิดนี้จะมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวคือ มีเม็ดแป้งเป็นองค์ประกอบซึ่งเม็ดแป้งทำมาจากแป้งมันสำปะหลัง น้ำตาลทราย และน้ำ

2.1.1 แป้งมันสำปะหลัง

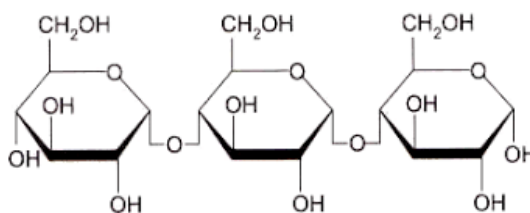
มันสำปะหลังมีชื่อภาษาอังกฤษว่า Cassava เมื่อนำมาทำแป้งเรียกว่า tapioca starch ชื่อวิทยาศาสตร์คือ Manihot Esculenta Cranz (Cifferi, 1938) โดยในประเทศไทยนิยมปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นพืชที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง และปริมาณโปรตีนต่ำ

2.1.1.1 สมบัติทางเคมี

เม็ดแป้งประกอบด้วยแอมิโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์สายยาวที่เชื่อมด้วยพันธะแอลฟา-1, 4-ไกลโคซิดิก และแอมิโลเพคตินเป็นกิ่งที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1, 4-ไกลโคซิดิก ซึ่งในแป้งที่ได้จากพืชต่างชนิดกันจะมีสัดส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพคตินต่างกันทำให้มีสมบัติที่ต่างกันเช่นการคืนตัวของสตาร์ช (วุฒิ ลีลายุทธเลิศ, 2545)

1.แอมิโลส

แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์สายยาวของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-1, 4-ไกลโคซิดิกมีหน่วยกลูโคสประมาณ 250 -2000 หน่วย แอมิโลสไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อเติมน้ำลงไป แอมิโลสจะเกาะตัวกันเป็นตะกอนที่ไม่ละลาย และเนื่องจากแอมิโลสเป็นโมเลกุลสายยาว จึงสามารถจับโมเลกุลแอมิโลสอีกโมเลกุลได้ทำให้มีความสามารถในการอุ้มน้ำลดลง และตกตะกอนได้ เรียกว่าปรากฏการณ์โทรเกรเดชัน แต่ในแป้งที่ไม่มีแอมิโลสหรือมีน้อยมาก จะไม่เกิดโทรเกรเดชัน (วุฒิ ลีลายุทธเลิศ, 2545)

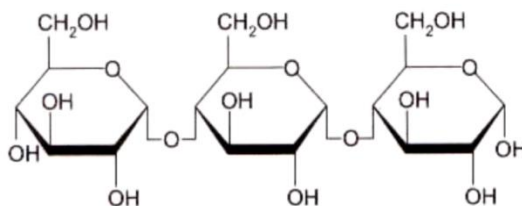


รูปที่ 2.1 โครงสร้างแอมิโลส แหล่งที่มา: Visser (1996)

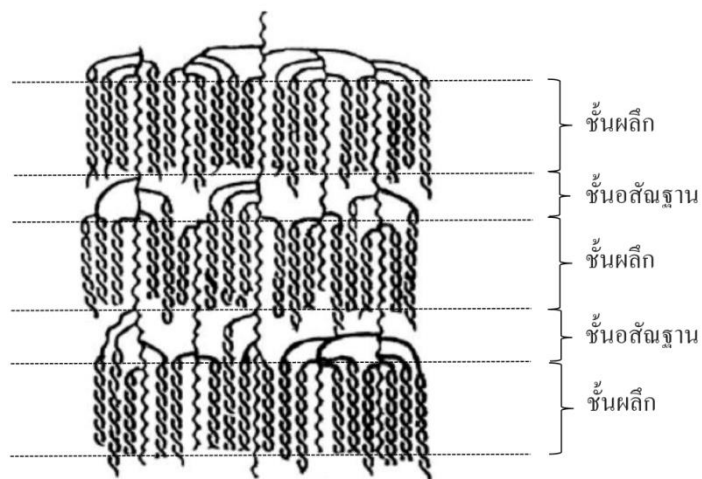
2. แอมิโลเพคติน

แอมิโลเพคติน เป็นโพลิเมอร์ที่มีกิ่งหน่วยของกลูโคสเชื่อมด้วยพันธะแอลฟา-1, 4-ไกลโคซิดิก และส่วนกิ่งเชื่อมกันด้วยแอลฟา-1, 6-ไกลโคซิดิก เนื่องจากแอมิโลเพคตินเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีกิ่งก้านสาขามากทำให้โมเลกุลมีโอกาสจับกันเองได้น้อยลง การเกิดการคั่นตัวของสตาร์ซจึงเกิดได้ยาก (นลินี อุดมทวี, 2540)

แป้งมันสำปะหลังมีน้ำหนักโมเลกุลของแอมิโลส และแอมิโลเพคตินประมาณ 2.10×10^5 และ 3.0×10^6 (Peat, 1954) การจัดเรียงตัวของเม็ดแป้งจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นบริเวณผลึกเรียงตัวกันเป็นระเบียบประกอบด้วยแอมิโลสเป็นส่วนใหญ่ การดูดน้ำ และการพองตัวเกิดได้น้อย ส่วนสองเป็นบริเวณที่แป้งจัดเรียงแบบไม่เป็นระเบียบ เรียกว่าอสัญฐานซึ่งในส่วนนี้จะประกอบด้วย แอมิโลเพคตินเป็นส่วนใหญ่ เป็นส่วนที่ดูดน้ำได้ดี



รูปที่ 2.2 โครงสร้างแอมิโลเพคติน แหล่งที่มา: Visser (1996)



รูปที่ 2.3 แบบจำลองของแอมิโลเพคตินบนพื้นฐานโครงสร้างแบบ Cluster

แหล่งที่มา: ดัดแปลงจาก Perez et al. (2009)

2.1.1.2 สมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง

1. การพองตัว และการละลาย

แป้งจะไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซับน้ำไว้ประมาณ 25-30% และพองตัวได้น้อยมาก เพราะจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของแอมิโลส และแอมิโลเพคตินภายในเม็ดแป้ง โมเลกุลที่เป็นผลึกจะอยู่กันหนาแน่น ดังนั้นจะป้องกันการกระจายตัว และไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนโมเลกุลที่เป็นอสัณฐานซึ่งเกาะกันอยู่แบบหลวมๆ จะมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงสามารถดูดน้ำได้บ้าง แต่เมื่อนำแป้งไปให้ความร้อนตั้งแต่ 60 องศาเซลเซียสขึ้นไปส่วนอสัณฐานจะดูดซับน้ำได้มาก และการจัดตัวอย่างเป็นระเบียบของชั้นผลึกจะคลายลงทำให้มีการดูดซับน้ำได้เม็ดแป้งจึงพองตัวมากขึ้น ในส่วนชั้นผลึกที่เหลืออยู่เกิดสภาพร่างแหซึ่งยึดเหนี่ยวกันให้ยังคงสภาพแป้งอยู่ได้ เมื่อให้อุณหภูมิน้ำแป้งสูงขึ้นส่วนผลึกที่เหลืออยู่จะคลายตัว ทำให้เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่จนแตกทำให้เกิดสภาพการละลายมาก (Swinkinle, 1985)

ในการพองตัวของเม็ดแป้งแบ่งได้เป็น 3 ช่วงคือ

ช่วงที่ 1 การพองตัวเนื่องจากชั้นอสัณฐานอย่างเดียว

ช่วงที่ 2 การพองตัวเนื่องจากอสัญฐานเดิม และอสัญฐานใหม่ที่เกิดขึ้นจากส่วนชั้นผลึกตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

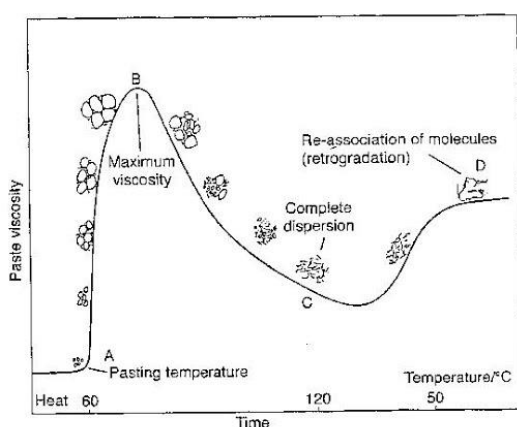
ช่วงที่ 3 การพองตัวเนื่องจากชั้นอสัญฐานเดิม และอสัญฐานใหม่ที่เกิดจากส่วนชั้นผลึกทั้งหมด

2.1.1.3 การเกิดเจลลิตินเซชัน

เมื่อให้ความร้อนกับแขวนลอยแป้ง พันธะไฮโดรเจนในโมเลกุลจะแตกออก ทำให้น้ำสามารถเข้าไปและทำให้เกิดการพองตัวได้ น้ำจะมีความหนืดมากขึ้นเพราะโมเลกุลของน้ำอิสระจะลดลง เรียกจุดนี้ว่า pasting temperature ซึ่งอุณหภูมินี้จะขึ้นกับชนิดของแป้ง

การเจลลิตินเซชันสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะคือ

1. ระยะแรก เม็ดแป้งจะดูดน้ำเข้าได้อย่างจำกัด เกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ ความหนืดยังไม่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ยังคงสามารถเบี่ยงเบนแสงโพลาไรส์ได้ซึ่งเรียกว่า birefringence
2. ระยะที่สอง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงจนถึง pasting temperature เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว เพราะจากการดูดซึมของน้ำ และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ ทำให้เกิดรูปร่างลักษณะ birefringence เมื่อส่องจากกล้องจุลทรรศน์
3. ระยะที่สาม เมื่อปล่อยให้อุณหภูมิลดต่ำลงจนเย็นจะทำให้เกิดการคืนตัว และเป็นเจล

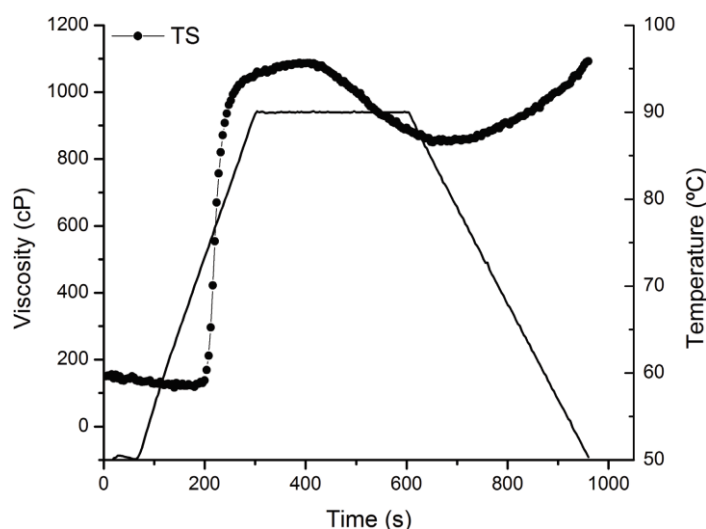


รูปที่ 2.4 ระยะในการเกิดเจลลิตินเซชันของเม็ดสตาร์ช แหล่งที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด (2542)

2.1.1.4 รีโทรเกรดชัน

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เจลาตินไนเซชันแล้วทำให้เม็ดแป้งแตกออก โมเลกุลของแอมิโลสจะกระจายออกมา เมื่อปล่อยให้อุณหภูมิลดลงโมเลกุลของแอมิโลสจะเข้าใกล้กันมากขึ้น จัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเป็นโครงสร้างที่สามารถอุ้มน้ำได้ เกิดเป็นลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึก การคืนตัวของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง อุณหภูมิ ระยะเวลา ปริมาณแอมิโลส และแอมิโลเพคติน ในแอมิโลเพคตินจะเกิดการคืนตัวได้ยาก และช้ากว่าแอมิโลส เพราะเนื่องจากโครงสร้างกึ่งก้านขัดขวางการเกิดอัตรกิริยาระหว่างโมเลกุล (ปรียาพร ชุนดี, 2546)

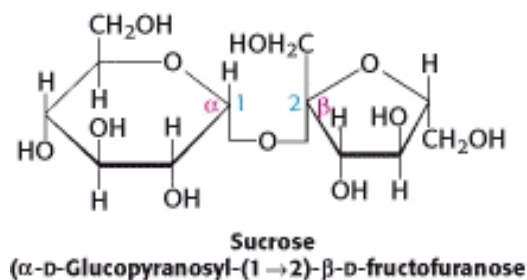
สำหรับแป้งมันสำปะหลัง มีอัตราการคืนตัวที่มากกว่าแป้งแป้งข้าวเหนียว และแป้งข้าวเหนียวดำเนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสที่สูงกว่า



รูปที่ 2.5 Pasting properties of tapioca starch (TS) (6% w/w). แหล่งที่มา : Medrano (2017)

2.1.2 ซูโครส (sucrose)

ซูโครส หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าน้ำตาลทราย เป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทคาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นหลัก ซูโครสโดยทั่วไปจะใช้ประโยชน์ในอาหาร โดยใช้เป็นสารให้ความหวาน (sweetener) ซูโครสจัดเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด คือ น้ำตาลฟรักโทส และน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ ซูโครสเป็น non reduction sugar (กฤษฎิ์เกษม ชันดีโสภณ, 2561)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างซูโครส แหล่งที่มา : ชุติวัด อรรถบุรณวงศ์ (2558)

การเติมซูโครสลงไปในกระบวนการทำเม็ดไข่มุกนอกจากมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดรสหวานแล้ว เมื่อซูโครสได้รับความร้อนแล้วยังให้กลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์อีกด้วย ซึ่งกลิ่นและสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่น้ำตาลเกิดการออกซิเดชันทำให้เกิดเป็นสีน้ำตาลออกมา โดยไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ซึ่งเมื่อสารจำพวกน้ำตาลได้รับความร้อนสูง จะทำให้โมเลกุลของน้ำตาลเกิดการสลายตัวและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ของสารประกอบคาร์บอนขึ้น เกิดเป็นสารใหม่ที่มีกลิ่นและรสเฉพาะตัวขึ้น คือ Caramelan ($C_{24}H_{36}O_{18}$), Caramelen ($C_{36}H_{50}O_{25}$) และ Caramelin ($C_{125}H_{188}O_{80}$) (ชุติวัด อรรถบุรณวงศ์, 2558)

2.2 สารที่ช่วยลดการเกิดรีโทรเกรเดชัน

2.2.1 แป้งข้าวเหนียวดำ

ข้าวเหนียวดำ (*Oryza sativa*, Glutinous) เป็นข้าวที่มีเมล็ดสีม่วงดำ มีลักษณะค่อนข้างแข็ง และมีหลายสายพันธุ์ เปลือกหุ้มเมล็ด คือ สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ที่มีชื่อ แอนโทยานิน เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์ในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ช่วยในการหมุนเวียนของกระแสเลือด ชะลอการเสื่อมของเซลล์ โดยชนิดของแอนโทไซยานินที่พบมากในข้าวเหนียวดำ คือ Cyanidin 3-glucoside และ Peonidin 3-glucoside (Sompong et al., 2011)

ข้าวเหนียวดำนิยมบริโภคมากในภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยข้าวเหนียวดำสามารถบริโภคในแบบไม่ผ่านการแปรรูป และการนำไปแปรรูปโดยการไม่แป้ง คนไทยนิยมใช้แป้งข้าวเหนียวดำในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน เช่น ขนมเทียน ขนมแข่ง เป็นต้น (Itthivadhanapong et al., 2015)

จากการศึกษาของ Itthivadhanapong และคณะ (2015) ได้ศึกษาการแทนแป้งข้าวเหนียวดำแทนแป้งสาลีในขนมเค้ก พบว่า แป้งข้าวเหนียวดำประกอบด้วย โปรตีน 8%, ไขมัน 0.4%, เถ้า 1.5%, ไฟเบอร์หยาบ 0.9% และคาร์โบไฮเดรต 89% โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณแอมิโลส 4.8% และปริมาณแอมิโลเพคติน 92.5%

ข้าวถูกแบ่งออกเป็น 5 ประเภทตามปริมาณแอมิโลสที่ข้าวชนิดนั้นมี : ข้าวเหนียว (1-2%) , ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำมาก (2-9%) , ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ (10-20%) ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง (20-25%) และข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง (25-33%) (Sompong et al., 2011) ดังนั้นข้าวเหนียวดำถูกจัดเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำมาก

แป้งข้าวเหนียวดำ มีค่า pasting property ดังนี้ ค่า peak, trough และ final viscosity 1300 cP, 1120 cP และ 1390 cP ตามลำดับ และมี pasting temperature 73.7 องศาเซลเซียส (Sompong et al., 2011) ปริมาณค่า trough ถึง final viscosity มีความเกี่ยวข้องกับสัดส่วนแอมิโลส และแสดงถึงความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช (Ragae and Abdel-Aal ,2006) ค่า setback ของแป้งข้าวเหนียวดำมีค่าน้อยกว่าแป้งสาลี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แป้งสาลีเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าแป้งข้าวเหนียวดำ (Sompong et al., 2011)

ตารางที่ 2.1 ค่า pasting property ของแป้งสาลีและแป้งข้าวเหนียวดำ

ชนิดแป้ง	pasting temperature(°C)	peak time (min)	peak viscosity(cP)	trough (cP)	final viscosity (cP)	breakdown (cP)	setback (cP)
แป้งสาลี	86.27±0.89	6.30±0.03	2111.00±71.13	1444.33±73.76	2811.00±39.85	666.67±4.16	1366.67±10.82
แป้งข้าวเหนียวดำ	73.68±0.06	4.13±0.01	1300.33±80.65	1119±36.29	1390.33±40.38	180.66±15.37	270.66±37.45

แหล่งที่มา: ดัดแปลงจาก Itthivadhanapong et al. (2015)

2.2.2 ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids)

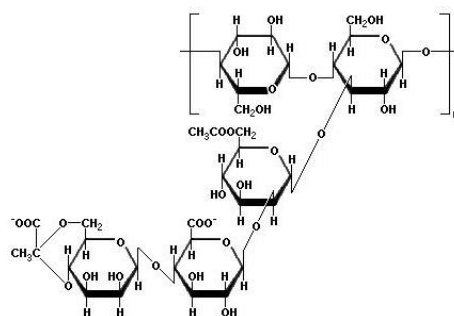
ไฮโดรคอลลอยด์ คือ โพลีเมอร์ชนิดชอบน้ำ (hydrophilic) ที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์ รวมถึงโพลิเมอร์ดัดแปรจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ โดยทั่วไปจะเป็นโมเลกุล ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และอาจจะเป็นสารโพลีอิเล็กโทรไลต์อื่น ๆ โพลีเมอร์เหล่านี้จะแสดงหน้าที่ที่สำคัญในอาหาร เช่น เป็นสารให้ความหนืด ทำให้เกิดเจล เป็นอิมัลซิไฟเออร์ และเป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว เป็นต้น (Phillips and Williams, 2000)

ไฮโดรคอลลอยด์แบ่งตามแหล่งที่มาเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มาจากธรรมชาติ (natural hydrocolloids) ซึ่งได้จากส่วนต่างๆของพืชได้แก่เมล็ดฝ้าย เช่น โลกัสพีนกัม (Locust bean gum) กัมอาราบิก (Gum arabic) ราก ลำต้น เช่น แป้ง หรือได้จากสาหร่ายทะเล เช่น คาร์ราจีแนน (Carrageenan) หรือได้มาจากสัตว์ เช่น ไคติน (chitin) หรือจากกระบวนการหมักโดยเชื้อจุลินทรีย์ เช่น แชนแทนกัม (Xanthan gum)
2. ไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids) ได้แก่อนุพันธ์ของเซลลูโลส เช่น carboxymethyl cellulose (CMC)
3. ไฮโดรคอลลอยด์สังเคราะห์ (synthetic hydrocolloids) เช่น โพลีเอทิลีนออกไซด์โพลิเมอร์ (polyethylene oxide polymers) (พัชรพร ศรีชัยนาท, 2561)

2.2.2.1 แขนแทนกัม (Xanthan gum)

แขนแทนกัม เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดหนึ่งที่ได้สกัดได้จากเมือก (slime) ซึ่งสังเคราะห์จากแบคทีเรีย *Xanthomonas campestris* ในกระบวนการหมักแบบใช้อากาศ โมเลกุลของแขนแทนกัมเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) มีโครงสร้างเป็น heteropolysaccharide ที่ประกอบด้วย Glucose, Mannose และ Glucuronic acid เป็นสายพอลิเมอร์ของ β -D-glucose มีโครงสร้างคล้ายเซลลูโลส (Cellulose) ทุก ๆ 2 โมเลกุล ของกลูโคส (Glucose) จะเชื่อมต่อกับกิ่งของไตรแซ็กคาไรด์ ซึ่งเกิดจากน้ำตาลแมนโนส (Mannose) 2 โมเลกุล และ กรดกลูคูโรนิก (Glucuronic acid) 1 โมเลกุล โมเลกุลของแมนโนสที่อยู่ติดกับสายหลักจะมีเอสเทอร์ของกรดแอสติติกเกาะที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 และแมนโนสที่ตำแหน่งปลายของไตรแซ็กคาไรด์ ซึ่งมีกรดไพรูวิกเชื่อมต่อกันอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 4 (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ ,ม.ป.ป)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างแขนแทนกัม แหล่งที่มา: พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ (ม.ป.ป)

แขนแทนกัมไม่สามารถเกิดเจลเนื่องจากมีโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา (branching) แต่สามารถเกิดเจลได้เมื่อใช้ร่วมกับกัมบางชนิด เช่น กัวกัม (Guar gum) หรือโลคัสปินกัม (Locust bean gum)

แขนแทนกัมถูกใช้ในอาหารเพื่อเป็นสารปรุงแต่งอาหาร (food additive) เพื่อให้อาหารมีความชุ่ม มีความหนืด ทนความร้อนได้สูงทำให้อาหารคงรูป (stabilizer) นำรับประทาน มันวาว สามารถใช้ทดแทนไขมัน (fat replacer) ในอาหารที่ต้องการแคลอรีต่ำๆ ได้ใช้ เป็นสารที่ทำให้เกิดโฟม (foaming reagent) และใช้ป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง

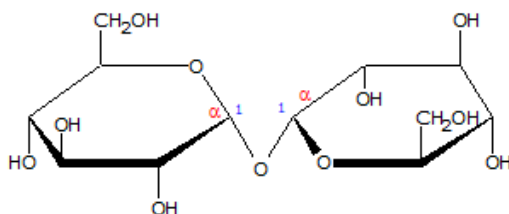
แขนแทนกัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีการนำมาใช้ค่อนข้างมากเนื่องจากสามารถละลายได้ง่ายทั้งในน้ำอุ่นและน้ำเย็น มีความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างและอุณหภูมิ และมีค่าความหนืดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ ในระหว่างการให้ความร้อนแขนแทนกัมเปลี่ยนจากโครงสร้างที่เป็นระเบียบ (rigid ordered structure) ไปอยู่ในสถานะที่ไม่เป็นระเบียบ (flexible disordered

coil) ซึ่งทำให้ง่ายต่อการเกิดอันตรกิริยาของสายโมเลกุลแซนแทนกัมกับสายโพลีเมอร์ชนิดอื่นๆ (Mandala et al., 2002)

จากการศึกษาผลของแซนแทนกัมต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของเจลสตาร์ชมันสำปะหลังทั้งก่อน และหลังการแช่เยือกแข็ง ในระบบของเจลสตาร์ชแช่เยือกแข็ง แซนแทนกัมช่วยเพิ่มความคงตัวของเจลได้โดย การลดการเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลสโดยเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของสตาร์ชหรือโดยเข้าไปแทรกอยู่ในเฟสต่อเนื่องโดยไม่เกิดอันตรกิริยาซึ่งกีดขวางการจับกันของสายโมเลกุลแอมิโลส และแอมิโลเพคตินภายในระบบ การเกิดรีโทรเกรเดชันจึงลดลง (Muadklay J. and Charoenrein S., 2008)

2.2.3 ทรีฮาโลส (Trehalose)

ทรีฮาโลสเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ $\alpha 1 - \alpha 1$ glucosidic มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{12}H_{22}O_{11}$ ทรีฮาโลสเป็น non reduction sugar



รูปที่ 2.8 โครงสร้างทรีฮาโลส แหล่งที่มา : อัจฉรา มาติยา (2552)

ทรีฮาโลสเป็นสารที่มีความเสถียรสูง ไม่เป็นพิษ ย่อยได้ด้วยเอนไซม์ Trehalase ที่มีอยู่ในระบบย่อยอาหารของคน และไม่มีผลต่อระดับกลูโคสในเลือด (อัจฉรา มาติยา, 2552) โดยทรีฮาโลสมีความหวานสัมพัทธ์เพียง 0.45 ของสารละลายซูโครสเข้มข้นร้อยละ 10 (เขมวัลย์ เพชรฤทธิ์, 2545) จากงานวิจัยที่พบเกี่ยวกับทรีฮาโลสทำให้มีการเสนอทฤษฎี water replacement

ทฤษฎี water replacement กล่าวว่า โดยทั่วไปความเสถียรของรูปร่าง 3 มิติของโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecules) ในสารละลายขึ้นกับน้ำที่ล้อมรอบ โดยน้ำจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับผิวของโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งจากหลักฐานบางอย่างพบว่า โมเลกุลน้ำตาลมีความสามารถในการให้ความเสถียรแก่โมเลกุลขนาดใหญ่จากการแทนน้ำที่อยู่บริเวณผิวโครงสร้างของโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ โดยสันนิษฐานว่า น้ำตาลมีความสามารถในการเกิดพันธะไฮโดรเจน แต่ทรีฮาโลส แตกต่างจากน้ำตาลโมเลกุลคู่อื่น ๆ คือไม่มีพันธะไฮโดรเจนภายนอก

โดยตรง พันธะภายนอกทั้ง 4 พันธะเกิดจากโมเลกุลน้ำ 2 โมเลกุล ที่อยู่ในโครงสร้าง dihydrate การจัดเรียงตัวเช่นนี้ทำให้โมเลกุลมีความคล่องตัวมากกว่าพันธะของน้ำตาลโมเลกุลคู่อื่น ๆ และปรับตัวเข้ากับผิวที่ไม่สม่ำเสมอของโมเลกุลขนาดใหญ่ได้ดีกว่าน้ำตาลโมเลกุลคู่ชนิดอื่นที่มีพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงสูงระหว่างวงแหวน (Murray and Liang, 1999) และน้ำตาลเป็นตัว anti - plasticizer ทำให้โมเลกุลแอมิโลสมีความคล่องตัวน้อยลง จึงเกิดการคั่นตัวของแป้งสุกได้ช้าลง (อนลลักษณ์ โอบาริโกวิท, 2546) ซึ่งตรงกับงานวิจัยที่มีการสรุปผลว่า ทรีฮาโลสมีผลในการลดการเกิดรีโทรเกรดชันในแป้งมัน (Babic et al., 2009)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมี และอุปกรณ์

แป้งมันสำปะหลังตราปลาไทย ซูโครส แป้งข้าวเหนียวดำตราบัวลอย แชนแทนกัม และทรีฮาโลส

3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวดำ

3.2.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้นโดยใช้ drying method ตามวิธีของ AOAC (2000)

3.2.2 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนหยาบทั้งหมดโดยวิธี kjeldahl ตามวิธีของ AOAC (2000)

3.2.3 วิเคราะห์ปริมาณไขมันโดยวิธี Soxhlet extraction ตามวิธีของ AOAC (2000)

3.2.4 วิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (2000)

3.2.5 วิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธี AOAC (2000)

3.3 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวดำ

3.3.1 ศึกษารูปร่างและลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100X

3.3.2 ศึกษาสมบัติทางการเกิดเพสต์ของน้ำแป้งในระหว่างการให้ความร้อน จนถึงขั้นตอนการทำให้เย็นลงโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

3.4 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างเม็ดไข่มุกทำโดยการเตรียมส่วนผสมตามข้อ 3.4.1 และขึ้นรูปตามขั้นตอนในข้อ 3.4.2 ก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

3.4.1 ส่วนผสมสำหรับเม็ดไข่มุกสูตรควบคุม

- แป้งมันสำปะหลัง 122.5 กรัม

- น้ำเปล่า 95 มิลลิลิตร

- ซูโครส 60 กรัม

- ผงโกโก้ 5 กรัม

3.4.2 วิธีการทำเม้ดไข่มุก

1. ละลายซูโครส 60 กรัม และละลายแป้งมันสำปะหลัง 50 กรัมในน้ำเปล่า 95 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง
2. ให้ความร้อนผ่านน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เพื่อให้แป้งเกิดเจลลาติโนซ์ทั้งหมด จากนั้นลดอุณหภูมิตัวแป้งจนเหลือ 42 องศาเซลเซียส
3. นำแป้งที่ได้ไปตีปั่นเป็นเวลา 7 นาที พร้อมทยอยใส่ส่วนผสมที่เหลือจนหมด
4. นำแป้งที่ได้ไปปั่นเป็นทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 เซนติเมตร
5. นำเม้ดไข่มุกที่ได้ไปต้มในน้ำเดือดประมาณ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้ไฟกลาง นำใส่กระชอนล้างผ่านน้ำเย็น

3.5 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวเหนียวดำที่ใช้ในการผลิตเม้ดไข่มุก

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมสำหรับเม้ดไข่มุกสูตรควบคุมและสูตรเม้ดไข่มุกที่มีการใช้แป้งข้าวเหนียวดำทดแทนแป้งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองนี้ เตรียมส่วนผสมสำหรับการศึกษาในขั้นตอนนี้ตามตารางที่ 3.1 นำส่วนผสมไปศึกษาสมบัติทางการเกิดเพสต์ตามข้อ 3.5.1 และขึ้นรูปเม้ดไข่มุกตามวิธีในข้อ 3.4.2 นำเม้ดไข่มุกไปศึกษาสมบัติตามข้อ 3.5.2-3.5.3 เลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตเม้ดไข่มุกเพื่อนำไปศึกษาในขั้นต่อไป โดยพิจารณาค่าเนื้อสัมผัสและคุณภาพการหุงต้ม

ตารางที่ 3.1 สูตรเม้ดไข่มุกที่มีการใช้แป้งข้าวเหนียวดำทดแทนแป้งมันสำปะหลัง

ร้อยละของแป้งข้าวเหนียวดำ	แป้งมันสำปะหลัง (g)	แป้งข้าวเหนียวดำ (g)
0	122.5	0
20	98	24.5
40	73.5	49
60	49	73.5
80	24.5	98
100	0	122.5

3.5.1 ผลการศึกษาสมบัติทางการเกิดเพสต์ขององค์ประกอบเม็ดไข่มุกโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) แสดงวิธีในภาคผนวก ข1

3.5.2 ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังต้มทันทีและแช่เย็น 2 ชั่วโมง ด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) แสดงวิธีในภาคผนวก ข2

3.5.3 ศึกษาคุณภาพการหุงต้มของเม็ดไข่มุก แสดงวิธีในภาคผนวก ข3

3.6 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างซูโครสและทรีฮาโลสที่ใช้ในการผลิตเม็ดไข่มุกในขานม

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลส โดยแทนทรีฮาโลสให้มีความหวานสัมพัทธ์เท่าเดิม (ทรีฮาโลสให้ความหวาน 0.45 เท่าของซูโครส) เตรียมส่วนผสมสำหรับการศึกษาในขั้นตอนนี้ตามตารางที่ 3.2 นำส่วนผสมไปศึกษาสมบัติทางการเกิดเพสต์ตามข้อ 3.5.1 และขึ้นรูปเม็ดไข่มุกตามวิธีในข้อ 3.4.2 นำเม็ดไข่มุกไปศึกษาสมบัติตามข้อ 3.5.2-3.5.3 เลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตเม็ดไข่มุกเพื่อนำไปศึกษาในขั้นต่อไป โดยพิจารณาค่าเนื้อสัมผัสและคุณภาพการหุงต้ม

ตารางที่ 3.2 สูตรเม็ดไข่มุกที่มีการใช้ทรีฮาโลสทดแทนซูโครส

ร้อยละของทรีฮาโลส	ซูโครส (g)	ทรีฮาโลส (g)
0	60	0
20	48	17.4
40	36	34.8
60	24	52.2
80	12	69.6
100	0	87

3.7 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเติมแซนแทนกัมที่ใช้ในการผลิตเม็ดไข่มุกในชานม

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเติมแซนแทนกัมที่ใช้ในการผลิตเม็ดไข่มุกในชานมโดยเตรียมส่วนผสมสำหรับการศึกษาในขั้นตอนนี้ตามตารางที่ 3.3 นำส่วนผสมไปศึกษาสมบัติทางการเกิดเฟสตามข้อ 3.5.1 และขึ้นรูปเม็ดไข่มุกตามวิธีในข้อ 3.4.2 นำเม็ดไข่มุกไปศึกษาสมบัติตามข้อ 3.5.2-3.5.3 เลือกสูตรที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตเม็ดไข่มุกเพื่อนำไปศึกษาในขั้นต่อไปโดยพิจารณาค่าเนื้อสัมผัส และคุณภาพการหุงต้ม

ตารางที่ 3.3 สูตรเม็ดไข่มุกที่มีการเติมแซนแทนกัมที่ความเข้มข้นต่างๆ

ปริมาณแซนแทนกัมที่เติมต่อแป้ง ทั้งหมด 100 กรัม	ปริมาณแซนแทนกัมที่เติม(g)
0.00	0
0.10	0.123
0.30	0.368
0.50	0.613
0.70	0.858
0.90	1.103
0.10 (เติมในสูตรควบคุม)	0.123

3.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัสเม็ดไข่มุกสูตรปรับปรุง

นำเม็ดไข่มุกสูตรปรับปรุงที่คัดเลือกได้จากข้อ 3.5-3.7 และสูตรควบคุมมาทดสอบทางประสาทสัมผัส แบ่งการทดสอบ ดังนี้

3.8.1 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกในชานมสูตรปรับปรุง ใช้แบบทดสอบการยอมรับ 7- point hedonic scale ดังแสดงในภาคผนวก ค ใช้ผู้ทดสอบ 40 คน

3.8.2 การทดสอบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างเม็ดไข่มุกสูตรที่ได้รับคะแนนการยอมรับมากที่สุดแก่เย็น 2 ชั่วโมงและสูตรควบคุมหลังต้มทันทีโดยใช้การทดสอบแบบ Triangle test ดังแสดงในภาคผนวก ค ใช้ผู้ทดสอบ 35 คน (โดยผู้ทดสอบจะได้ทดสอบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างเม็ดไข่มุกสูตรที่ผู้ทดสอบให้คะแนนการยอมรับมากที่สุดแก่เย็นกับสูตรควบคุมหลังต้มทันที)

3.9 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวางแผนการทดลองที่ 3.5 ถึง 3.7 แบบ Completely Randomized Design (CRD) โดยทดลอง 10 ซ้ำ สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของการทดลองที่ 3.8.1 ถึง 3.8.2 วางแผนการทดลองแบบ Randomized completely block design (RCBD) โดยใช้โปรแกรม SPSS 22.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) ในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ การวัดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ $P \leq 0.05$ โดยใช้ Duncan's new multiple range test โดยอักษรในตารางแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ผลของการศึกษาสมบัติทางเคมี

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำด้วยวิธี AOAC (2000) แสดงในตารางที่ 4.1

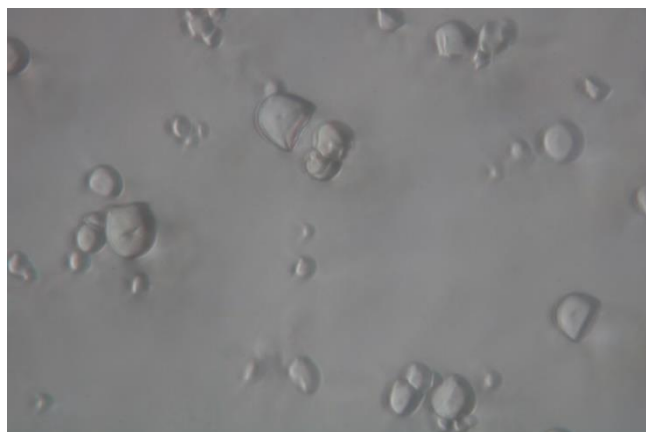
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำ

ชนิดของแป้ง	ความชื้น (%wb)	โปรตีน (%wb)	ไขมัน (%wb)	เถ้า (%wb)	เส้นใยหยาบ (%wb)	คาร์โบไฮเดรต (%wb)
แป้งมันสำปะหลัง	13.73	0.34	3.56	0.02	0.30	82.18
แป้งข้าวเหนียวดำ	11.50	6.25	4.18	1.35	0.67	76.05

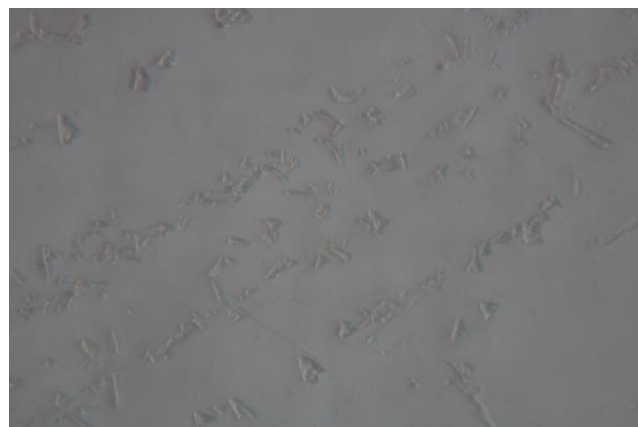
4.2 ผลของการศึกษาสมบัติทางกายภาพ

4.2.1 รูปร่างและลักษณะของเม็ดแป้งมันสำปะหลังและแป้งข้าวเหนียวดำ

ลักษณะเม็ดแป้งจากกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100x พบว่าเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังมีรูปร่างค่อนข้างกลม ผิวเรียบ ขนาดใหญ่ แสดงในภาพที่ 4.1(ก) และเม็ดสตาร์ชข้าวเหนียวดำจะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอค่อนข้างเป็นเหลี่ยม ผิวไม่เรียบ และขนาดเล็ก แสดงในภาพที่ 4.1(ข)



(ก)



(ข)

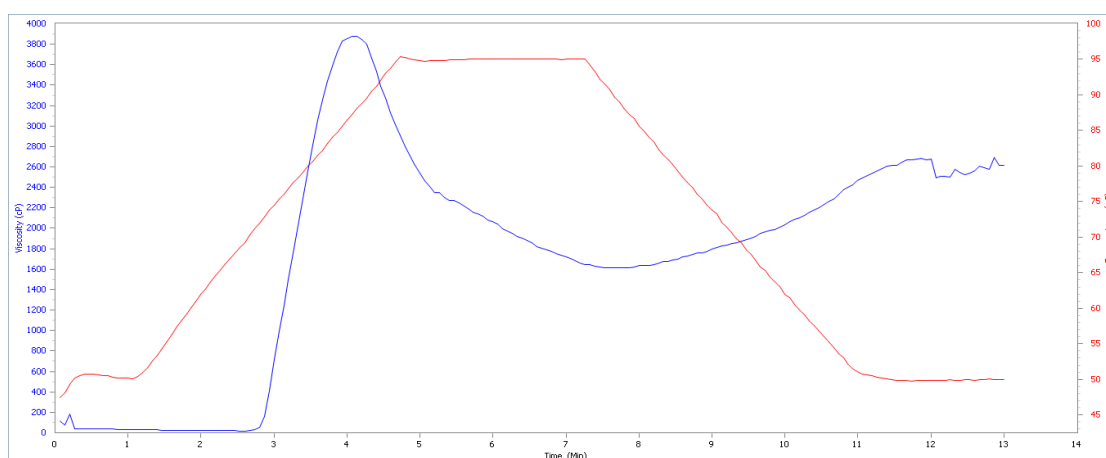
รูปที่ 4.1 เม็ดแป้งมันสำปะหลัง กำลังขยาย 100x (ก) และเม็ดแป้งข้าวเหนียวดำกำลังขยาย 100x (ข)

4.2.2 สมบัติทางการเกิดเฟสส์ของแป้งและส่วนประกอบอื่น

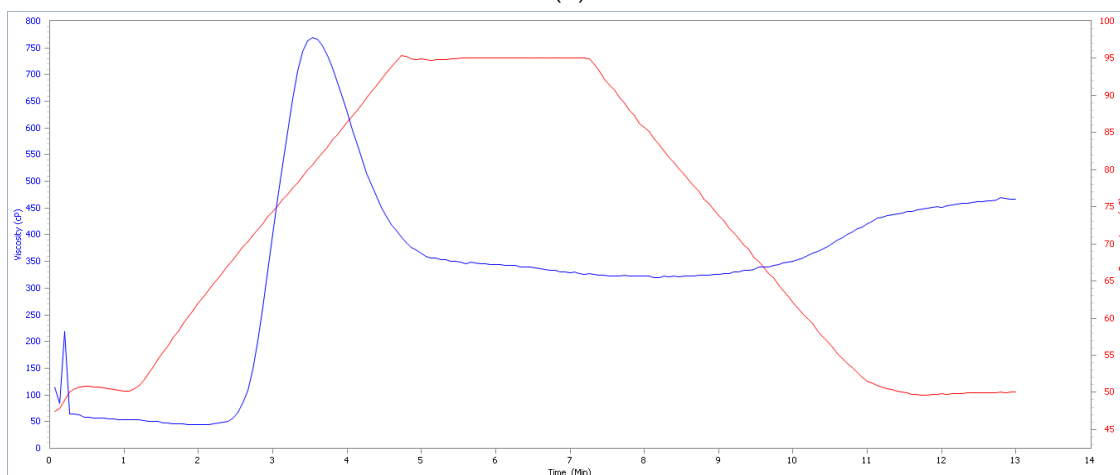
จากการศึกษาสมบัติทางการเกิดเฟสส์ของแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวเหนียวดำ โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer (RVA) ของน้ำแป้งเข้มข้น 14% ความเร็วรอบ 160 rpm จากตารางที่ 4.3 พบว่าแป้งมันสำปะหลังมี setback 1062.5 cP และแป้งข้าวเหนียวดำมี setback 150 cP ซึ่งน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลังมาก แสดงว่าแป้งข้าวเหนียวดำมีความสามารถในการลดการเกิดรีโทรเกรเดชันได้โดยการทดแทน เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวดำมีปริมาณอะไมโลเพกตินที่สูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง เมื่อได้รับรับความร้อนจึงทำให้เม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเหนียวดำเกิดการพองตัวและแตกได้เร็วกว่า ส่งผลให้ค่า peak viscosity ของแป้งในสูตรที่มีการแทนแป้งข้าวเหนียวดำต่ำกว่าสูตรควบคุม (แป้งข้าวเหนียวดำร้อยละ 0) สอดคล้องกับ งานวิจัยของ บุศราภา (2018) และ ผงโกโก้มีค่าน้อยมากจึงไม่มีผลต่อ setback จึงสามารถสันนิษฐานว่าไม่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของเม็ดแป้ง

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางการเกิดเฟสของน้ำแป้งมันสำปะหลัง น้ำแป้งข้าวเหนียวดำและผงโกโก้

ชนิดแป้ง	peak viscosity (cP)	trough (cP)	breakdown (cP)	final viscosity (cP)	setback (cP)	peak time (min)	pasting temperature (°C)
แป้งมัน สำปะหลัง	3853	1615	2238	2677.5	1062.5	4.07	71.175
แป้งข้าว เหนียวดำ	778.5	313	465.5	463	150	3.53	69.875
ผงโกโก้	21±4.2	7.5±0.7	13.5±3.5	6±1.4	-1.5±0.7	2.1±0.0	error



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 กราฟความหนืดที่ได้จากเครื่อง RVA ของแป้งมันสำปะหลัง (ก) และแป้งข้าวเหนียวดำ (ข)

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางการเกิดเพสต์ของน้ำแป้งผสมที่สัดส่วนต่างๆ

สัดส่วนแป้ง ที่ทดแทน (ข้าวเหนียว ดำ:แป้งมัน สำปะหลัง)	peak (cP)	trough (cP)	breakdown (cP)	final Visc (cP)	setback (cP)	peak time (min)	pasting temp (°c)
0:100	3853±39.60	1615±7.07	2238±46.67	2677.5±92.63	1062.5±85.56	4.07±0.00	71.175±0.04
20:80	2385±21.21	969.5±21.92	1415.5±0.71	1601.5±3.54	632±18.38	4.2±0.00	71.9±0.00
40:60	1898.5±6.36	817±8.49	1081.5±2.12	1405.5±0.71	588.5±7.78	4.13±0.00	72.7±0.04
60:40	1331.5±6.36	638.5±6.36	693±0.00	1083.5±12.02	445±5.66	4.13±0.00	72.8±0.04
80:20	879.5±12.02	453.5±7.78	426±4.24	734.5±7.78	281±0.00	3.93±0.00	71.1±0.00
100:0	778.5±12.02	313±9.90	465.5±21.92	463±5.66	150±4.24	3.5±0.00	69.9±0.60

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ
ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.3 ผลของการทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ

4.3.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดยา (Texture Analysis)

4.3.1.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดยาหลังจากต้มทันที

จากผลการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่า hardness ลดลงเมื่ออัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้น เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวดำมีส่วนของแอมิโลเพคตินมากกว่าแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งแอมิโลเพคตินมีโครงสร้างเป็นโซ่กิ่ง จึงทำให้มี pasting temperature ต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง ในการเกิดเจลลิตินในเซชันนั้น เกิดจากการให้ความร้อนทำให้พันธะไฮโดรเจนคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว ทำให้เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นเจลเกิดขึ้น ดังนั้นสูตรที่มีการทดแทนสัดส่วนแป้งข้าวเหนียวดำมากกว่าแป้งมันสำปะหลังจะมีความเป็นเจลมากกว่า ส่งผลให้ค่า hardness ลดลง และพบว่าค่า adhesiveness เพิ่มขึ้นหมายถึงเมื่อเพิ่มการทดแทนสัดส่วนแป้งข้าวเหนียวดำมากขึ้นทำให้ต้องใช้แรงที่ทำให้หลุดจากผิวสัมผัสมากขึ้น แสดงถึงทำให้ยึดติดกับภายนอกได้แข็งแรงขึ้น ตรงข้ามกับค่า cohesiveness gumminess และ chewiness ลดลง เนื่องจากการเกาะตัวภายในแย่งลงทำให้ไม่เกาะกันเอง บ่งบอกถึงการกัดแล้วขาดง่ายกว่า สูตรควบคุมซึ่งมีพันธะภายในมีความแข็งแรงมากกว่า แสดงถึงการมีลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างจากสูตรควบคุม

ตารางที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดยาที่ปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำและแป้งมันสำปะหลังหลังจากต้มทันที

อัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ : แป้งมันสำปะหลัง	hardness (g-force)	Adhesiveness (g.sec)	springiness	cohesiveness	gumminess (g-force)	chewiness (g-force)
0 : 100	1514.94 ^a ± 140.5	-15.51 ^a ± 5.6	0.83 ^a ± 0.03	0.62 ^a ± 0.02	943.29 ^a ± 87.34	784.60 ^a ± 85.9
20 : 80	634.92 ^b ± 69.0	-45.81 ^c ± 14.7	0.53 ^{de} ± 0.08	0.45 ^c ± 0.03	287.02 ^b ± 35.85	152.40 ^b ± 33.9
40 : 60	310.70 ^{de} ± 43.2	-39.51 ^{bc} ± 5.7	0.72 ^b ± 0.13	0.54 ^b ± 0.04	168.83 ^{cd} ± 24.07	121.13 ^b ± 28.5
60 : 40	401.08 ^c ± 54.1	-37.23 ^b ± 11.3	0.65 ^{bc} ± 0.14	0.47 ^c ± 0.06	190.73 ^c ± 41.5	129.14 ^b ± 48.5
80 : 20	354.52 ^{cd} ± 34.1	-16.29 ^a ± 3.6	0.50 ^e ± 0.10	0.37 ^d ± 0.03	129.89 ^{de} ± 18.9	65.41 ^c ± 20.9
100 : 0	253.93 ^e ± 15.9	-11.88 ^a ± 3.4	0.61 ^{cd} ± 0.11	0.36 ^d ± 0.10	92.64 ^e ± 10.6	57.61 ^c ± 16.4

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสมคม์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.3.1.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดยาใหม่หลังจากผ่านการแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง

จากผลการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA จากตารางที่ 4.5 พบว่าค่า hardness เพิ่มขึ้นในแต่ละสูตรหลังจากการแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง ซึ่งสูตรที่มีการทดแทนแป้งข้าวเหนียวดำ 100% มีค่า hardness น้อยที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับค่า setback ที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางการเกิดเฟสด้วยเครื่อง RVA ที่มีค่าต่ำที่สุด ส่วนค่า adhesiveness ลดลง และค่า cohesiveness เพิ่มขึ้นหลังจากการแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงของพันธะภายใน ซึ่งทั้งหมดเป็นผลจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งทั้งสองชนิด

ตารางที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดยาใหม่ตรวจสอบหลังแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง

อัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ : แป้งมันสำปะหลัง	hardness (g-force)	adhesiveness (g.sec)	springiness	cohesiveness	gumminess (g-force)	chewiness (g-force)
0 : 100	1154.06 ^a ± 104.57	-46.14 ^c ± 12.9	0.89 ^a ± 0.02	0.66 ^a ± 0.02	765.52 ^a ± 69.1	681.94 ^a ± 50.7
20 : 80	734.94 ^b ± 44.4	-48.36 ^{bc} ± 5.9	0.69 ^b ± 0.05	0.59 ^b ± 0.01	433.97 ^b ± 29.8	297.21 ^b ± 27.6
40 : 60	695.71 ^b ± 38.5	-44.13 ^{bc} ± 6.0	0.68 ^b ± 0.05	0.59 ^b ± 0.02	408.23 ^b ± 25.6	277.83 ^{bc} ± 33.3
60 : 40	555.68 ^c ± 52.3	-44.12 ^{bc} ± 9.8	0.64 ^b ± 0.06	0.53 ^c ± 0.02	297.14 ^c ± 32.5	191.98 ^d ± 34.6
80 : 20	552.49 ^c ± 32.4	-38.28 ^{ab} ± 8.3	0.85 ^a ± 1.2	0.55 ^c ± 0.02	303.25 ^c ± 19.8	257.22 ^c ± 41.9
100 : 0	435.58 ^d ± 13.5	-33.44 ^a ± 4.4	0.91 ^a ± 0.06	0.53 ^c ± 0.01	232.06 ^d ± 9.1	210.40 ^d ± 17.3

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสมมติ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.3.1.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดยาใหม่ของสูตรควบคุมที่ตรวจสอบทันทีหลังต้มเทียบกับสูตรปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ และแป้งมันสำปะหลังที่ตรวจสอบหลังแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง

พบว่าสูตรที่มีการทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ 20% เมื่อผ่านการแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง มีค่า hardness ,adhesiveness, springiness , cohesiveness ใกล้เคียงสูตรควบคุมมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกสูตรมีการทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ 20% นำไปศึกษาในขั้นถัดไป

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกสูตรควบคุมที่ตรวจสอบทันทีหลังต้มเทียบกับสูตรปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ และแป้งมันสำปะหลังที่ตรวจสอบหลังแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง

สัดส่วนการเติม แป้งข้าวเหนียวดำ : แป้งมัน สำปะหลัง	hardness (g-force)	adhesiveness (g.sec)	springiness	cohesiveness	gumminess (g-force)	chewiness (g-force)
0 : 100 non-cooling	1154.06 ^a ± 104.57	-46.14 ^b ± 12.89	0.89 ^a ± 0.03	0.66 ^a ± 0.02	765.52 ^a ± 69.1	681.94 ^a ± 50.7
20 : 80	634.93 ^b ± 69.04	-45.81 ^b ± 14.73	0.53 ^{de} ± 0.08	0.45 ^c ± 0.03	287.02 ^b ± 35.9	152.40 ^b ± 33.9
40 : 60	310.70 ^d ± 43.20	-39.51 ^b ± 5.71	0.72 ^b ± 0.13	0.54 ^b ± 0.04	168.83 ^c ± 24.1	121.13 ^b ± 28.5
60 : 40	401.08 ^c ± 54.14	-37.23 ^b ± 11.32	0.65 ^{bc} ± 0.14	0.47 ^c ± 0.06	190.73 ^c ± 41.5	129.14 ^b ± 48.5
80 : 20	354.52 ^{cd} ± 34.06	-16.29 ^a ± 3.60	0.50 ^e ± 0.10	0.37 ^d ± 0.03	129.89 ^d ± 18.9	65.41 ^c ± 20.9
100 : 0	253.93 ^e ± 15.93	-11.88 ^a ± 3.37	0.61 ^{cd} ± 0.11	0.36 ^d ± 0.04	92.64 ^e ± 10.6	57.61 ^c ± 16.35

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.3.2 การวิเคราะห์สมบัติทางการเกิดเพสตัดโดยปรับอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ

จากการศึกษาสมบัติทางการเกิดเพสตัดของส่วนผสมเม็ดไข่มุกที่มีทดแทนสัดส่วนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำที่อัตราส่วนต่างๆ จากตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อทดแทนแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนเพิ่มขึ้นส่งผลให้สมบัติสมบัติทางการเกิดเพสตัดในทุกด้านมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากการที่แป้งข้าวเหนียวดำมีปริมาณแอมิโลเพคตินสูงกว่าแป้งมันสำปะหลัง เมื่อได้รับความร้อนจึงทำให้เม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวเหนียวดำเกิดการพองตัวและแตกตัวได้เร็วกว่าเม็ดสตาร์ชของแป้งมันสำปะหลัง ส่งผลให้ค่า peak viscosity ของแป้งสูตรที่มีทดแทนแป้งข้าวเหนียวดำมีค่าต่ำกว่าสูตรควบคุม และเนื่องจากโมเลกุลของแอมิโลเพคตินมีลักษณะเป็นกึ่งก้านเมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง จึงเกิดการจับเรียงตัวใหม่ได้ยาก ส่งผลให้ค่า final viscosity มีค่าต่ำลง

ตารางที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางการเกิดเพสต์ของน้ำแป้งที่ปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำต่อแป้งมันสำปะหลัง

อัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ : แป้งมัน	peak viscosity (cP)	trough (cP)	breakdown (cP)	final viscosity (cP)	setback (cP) ต่ำลง	peak time (min)	pasting temp (°C)
0 : 100	1279.5 ^a ± 2.1	660.5 ^a ± 4.9	619 ^a ± 7.1	1242 ^a ± 4.2	581.5 ^a ± 0.7	4.5 ^d ± 0.0	73.7 ^c ± 0.04
20 : 80	670 ^b ± 28.3	458 ^b ± 7.1	273 ^b ± 0.0	749 ^b ± 1.4	302.5 ^b ± 10.6	4.3 ^d ± 0.0	76.1 ^b ± 0.00
40 : 60	493 ^c ± 18.4	410 ^c ± 7.6	83 ^c ± 2.8	830 ^c ± 19.8	420 ^c ± 4.2	4.8 ^c ± 0.1	78.4 ^a ± 0.07
60 : 40	326 ^d ± 8.5	309.5 ^d ± 9.2	16.5 ^d ± 0.7	571 ^d ± 11.3	261.5 ^d ± 2.1	5.6 ^b ± 0.1	error
80 : 20	190 ^e ± 1.4	183.5 ^e ± 0.7	6.5 ^e ± 0.7	305.5 ^e ± 2.1	122 ^e ± 2.8	6.1 ^a ± 0.2	error
100 : 0	89.5 ^f ± 13.4	79.5 ^f ± 12.0	10 ^{ed} ± 1.4	139 ^f ± 9.9	59.5 ^f ± 2.1	3.5 ^e ± 0.0	error

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสมคม์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

4.3.3 การวิเคราะห์คุณภาพการหุงต้ม (Cooking property)

จากตารางที่ 4.8 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของแป้งข้าวเหนียวดำเพิ่มขึ้นส่งผลให้ระยะเวลาในการต้มสุกมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากแป้งข้าวเหนียวดำมีปริมาณแอมิโลเพคตินสูงกว่าแป้งมันสำปะหลังโดยโมเลกุลของแอมิโลเพคติน มีลักษณะเป็นกิ่งก้านซึ่งถูกทำลายง่ายด้วยความร้อนโมเลกุลของน้ำจึงเข้าไปแทรกระหว่างสายของแอมิโลเพคตินมากกว่าแอมิโลส ส่งผลให้ระยะเวลาในการต้มสุกของเม็ดไข่มุกลดลง และยังทำให้เม็ดไข่มุกดูดซับน้ำได้น้อยลง มีการสูญเสียของแข็งมากขึ้นเนื่องจากโครงสร้างแป้งไม่แข็งแรงและแตกออกมาได้ง่าย

ตารางที่ 4.8 ระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม ร้อยละการดูดน้ำ และร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการต้มของเม็ดไข่มุกที่ทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ

อัตราส่วนการเติมแป้งข้าวเหนียวดำ : แป้งมันสำปะหลัง	เวลาที่ใช้ในการต้มเม็ดไข่มุก (นาที)	การดูดน้ำ (%)	การสูญเสียของแข็ง (%)
0 : 100	10	61.81 ^a ± 1.5	14.25 ^c ± 1.2
20 : 80	14	52.84 ^{ab} ± 9.8	25.77 ^{ab} ± 2.8
40 : 60	14.5	34.54 ^{ab} ± 20.4	23.98 ^{ab} ± 8.3
60 : 40	14.5	24.06 ^{ab} ± 30.9	37.57 ^a ± 11.8
80 : 20	14	29.51 ^{ab} ± 5.9	40.69 ^a ± 1.9
100 : 0	12	26.95 ^{ab} ± 18.1	41.31 ^a ± 11.0

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.4 ผลของการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลส

4.4.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก (Texture Analysis)

4.4.1.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังจากต้มทันที

จากผลการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA จากตารางที่ 4.9 พบว่า ค่า hardness, gumminess และ chewiness มีแนวโน้มลดลง ค่า adhesiveness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลส ซึ่งการลดลงของค่า hardness สัมพันธ์กับค่า peak viscosity และการลดลงของค่า adhesiveness สัมพันธ์กับการลดลงของค่า setback ซึ่งเป็นผลมาจากทรีฮาโลสมีความสามารถในการลดการดูดน้ำของแป้งลง ซึ่งทำเม็ดแป้งพองตัวน้อยลง โครงสร้างของแป้งเสถียรขึ้น มีแอมิโลสหลุดออกมาเพื่อจัดเรียงตัวกันใหม่ได้ยากขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์นิ่มขึ้น และยืดหยุ่นมากขึ้นตามปริมาณการเติมทรีฮาโลส

ตารางที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกจากการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลสหลังจากต้มทันที

อัตราส่วน ทรีฮาโลสต่อซูโครส	hardness (g-force)	adhesiveness (g.sec)	springiness	cohesiveness	gumminess (g-force)	chewiness (g-force)
0:100 (20% ข้าว เหนียวดำ)	734.94 ^a ±44.39	-48.36 ^b ±5.86	0.69 ^a ±0.05	0.59 ^{ab} ±0.02	433.97 ^a ±29.79	297.21 ^a ±27.63
20:80	660.61 ^b ±32.31	-47.50 ^b ±8.76	0.69 ^{cd} ±0.05	0.59 ^{ab} ±0.01	391.36 ^b ±18.88	268.38 ^b ±19.21
40:60	644.96 ^b ±70.60	-40.21 ^b ±13.13	0.76 ^{ab} ±0.05	0.61 ^a ±0.02	381.94 ^b ±32.80	237.24 ^c ±49.88
60:40	651.89 ^b ±52.88	-48.16 ^b ±9.30	0.65 ^d ±0.05	0.58 ^b ±0.02	391.40 ^b ±45.78	249.98 ^{bc} ±32.76
80:20	631.02 ^b ±48.57	-39.20 ^b ±8.40	0.73 ^{bc} ±0.08	0.61 ^a ±0.02	355.29 ^b ±36.37	220.64 ^d ±56.16
100:0	586.01 ^c ±28.74	-32.44 ^a ±5.87	0.81 ^a ±0.10	0.59 ^{ab} ±0.02	294.67 ^c ±26.98	215.04 ^d ±37.81

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสมคม์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.4.1.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังจากผ่านการแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง

จากผลการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA จากตารางที่ 4.10 พบว่าหลังจากการแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ค่า hardness, gumminess และ chewiness มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลส เนื่องจากทรีฮาโลสมีปริมาณหมู่ไฮดรอกซิลมาก ซึ่งสามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น จากปริมาณน้ำที่น้อยลงทำให้เกิดการเจลาติไนเซชันได้น้อยลงตามไปด้วย ซึ่งทำให้มีแอมิโลสบางส่วนหลุดออกมาน้อยลง ส่งผลให้ลดโอกาสในการทำให้โมเลกุลสตาร์ชเข้ามาใกล้กันจนเกิดอัตรกิริยาด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งทำให้แอมิโลสเกิดเป็นโครงสร้างแบบร่างแห หรือสตาร์ชเกิดการรีโทรเกรดชันได้น้อยลง ซึ่งทำให้เม็ดไข่มุกมีค่าต่าง ๆ ลดลงตามปริมาณการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลส

ตารางที่ 4.10 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกที่ปรับอัตราส่วนซูโครสต่อทรีฮาโลสหลังจากแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง

อัตราส่วน ทรีฮาโลสต่อซูโครส	hardness (g-force)	adhesiveness (g.sec)	springiness	cohesiveness	gumminess (g-force)	chewiness (g-force)
0:100 (20% ข้าว เหนียวดำ)	683.08 ^a ±76.09	-48.90 ^d ±12.06	0.55 ^a ±0.07	0.45 ^a ±0.02	309.56 ^a ±31.66	164.71 ^a ±31.23
20:80	547.17 ^b ±89.43	-39.71 ^c ±11.12	0.47 ^a ±0.02	0.44 ^a ±0.02	240.62 ^b ±41.55	118.57 ^b ±27.04
40:60	538.19 ^b ±62.30	-24.25 ^b ±5.83	0.51 ^a ±0.05	0.44 ^a ±0.02	217.01 ^c ±30.10	116.43 ^b ±19.39
60:40	448.95 ^c ±63.45	-23.47 ^b ±9.52	0.49 ^a ±0.06	0.45 ^a ±0.03	205.34 ^c ±39.69	102.81 ^c ±32.55
80:20	423.33 ^c ±52.62	-29.22 ^b ±5.85	0.51 ^a ±0.04	0.46 ^a ±0.01	194.87 ^d ±25.27	100.93 ^c ±18.34
100:0	356.61 ^d ±30.43	-18.54 ^a ±2.40	0.47 ^a ±0.05	0.40 ^b ±0.02	163.39 ^e ±11.82	91.07 ^d ±6.00

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.4.1.3 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกของสูตรควบคุมที่ตรวจสอบทันทีหลังต้มเทียบกับสูตรปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ และแป้งมันสำปะหลังที่ตรวจสอบหลังแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง

จากผลการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA จากตารางที่ 4.11 พบว่าหลังจากการแช่ในน้ำเย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมงเทียบกับสูตรควบคุมหลังต้มเสร็จทันที ค่า hardness, gumminess และ chewiness มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลส ซึ่งไม่มีสูตรอัตราส่วนที่มีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุมหลังต้มเสร็จทันที นอกจากนี้จากความสามารถในการดูดน้ำของทรีฮาโลสส่งผลให้เกิดความแห้ง และแข็งของโดซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการขึ้นรูปเป็นเม็ดไข่มุกอย่างมาก ดังนั้นจึงเลือกเม็ดไข่มุกสูตรที่มีการทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ 20% และมีอัตราส่วนการเติมทรีฮาโลสต่อซูโครส 0 : 100 เป็นสูตรที่ใช้พัฒนาต่อในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกสูตรควบคุมที่ตรวจสอบทันทีหลังต้มทันทีเทียบกับสูตรปรับอัตราส่วนซูโครสต่อทรีฮาโลส ที่ตรวจสอบหลังแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง

อัตราส่วน ทรีฮาโลสต่อซูโครส	hardness (g-force)	adhesiveness (g.sec)	springiness	cohesiveness	gumminess (g-force)	chewiness (g-force)
0:100 (20% ข้าว เหนียวดำ)	734.94 ^a ±44.39	-48.36 ^d ±5.86	0.69 ^a ±0.05	0.59 ^a ±0.02	433.97 ^a ±29.79	297.21 ^a ±27.63
20:80	547.17 ^b ±89.43	-39.71 ^c ±11.12	0.47 ^a ±0.02	0.44 ^a ±0.02	240.62 ^b ±41.55	116.57 ^b ±27.04
40:60	538.19 ^b ±62.30	-24.25 ^b ±5.83	0.51 ^a ±0.05	0.44 ^a ±0.02	217.01 ^c ±30.10	188.43 ^b ±19.39
60:40	448.95 ^c ±63.45	-23.47 ^b ±9.52	0.49 ^a ±0.06	0.45 ^a ±0.03	205.34 ^c ±39.69	102.81 ^c ±32.55
80:20	423.33 ^c ±52.62	-29.22 ^b ±5.85	0.51 ^a ±0.04	0.46 ^a ±0.01	194.87 ^d ±25.27	100.93 ^b ±18.34
100:0	356.61 ^d ±30.43	-18.54 ^a ±2.40	0.47 ^a ±0.05	0.40 ^b ±0.02	163.39 ^e ±11.82	91.07 ^d ±6.00

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางการเกิดเฟสโดยปรับอัตราส่วนซูโครสที่ทดแทนด้วยทรีฮาโลส

จากผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางการเกิดเฟสของน้ำแป้งจากการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลส ด้วยเครื่อง RVA จากตารางที่ 4.12 พบว่าเมื่อทดแทนทรีฮาโลสในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้สมบัติทางการเกิดเฟสทุกด้านมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากการเติมทรีฮาโลสมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ใช้ในการเจลลิตไนเซชันแป้ง ทำให้การเจลลิตไนเซชันเกิดได้ยาก โครงสร้างแป้งเสถียรขึ้น แอมิโลสหลุดออกมาน้อยลง ทำให้เกิดการจับเรียงตัวใหม่ได้ยากขึ้น ซึ่งเป็นการชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชัน ทำให้ค่า setback ลดลงตามสัดส่วนการเติมทรีฮาโลสที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางการเกิดเพสต์ของน้ำแป้งจากการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลส

อัตราส่วน ทรีฮาโลสต่อซูโครส	peak Viscosity (cP)	trough (cP)	breakdown (cP)	final viscosity (cP)	setback (cP)	peak time (min)	pasting temp (°C)
0:100	742.0 ^a ±11.31	514.5 ^a ±6.4	227.5 ^a ±4.9	851.0 ^a ±4.2	336.5 ^a ±10.6	4.27 ^a ±0.00	76.05 ^b ±0.07
20:80	696.0 ^b ±2.83	493.0 ^{ab} ±12.7	203 ^b ±9.9	818.5 ^a ±7.8	325.5 ^a ±4.9	4.27 ^a ±0.00	76.4 ^{ab} ±0.60
40:60	659.0 ^c ±7.07	468.5 ^{bc} ±3.5	190.5 ^b ±3.5	771.0 ^b ±1.4	302.5 ^b ±2.1	4.27 ^a ±0.00	76.8 ^a ±0.07
60:40	599.0 ^d ±21.21	439.5 ^{cd} ±29.0	159.5 ^c ±7.8	735.5 ^c ±30.4	296.0 ^{bc} ±1.4	4.30 ^a ±0.04	76.8 ^a ±0.04
80:20	573.0 ^d ±11.31	428.0 ^{de} ±7.1	145.0 ^{cd} ±4.2	712.0 ^c ±11.3	284.0 ^{cd} ±4.2	4.30 ^a ±0.04	76.8 ^a ±0.07
100:0	533.0 ^e ±2.83	402.0 ^e ±4.2	131.0 ^d ±1.4	673.0 ^d ±1.4	271.0 ^d ±2.8	4.30 ^a ±0.04	76.8 ^a ±0.04

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.4.3 ร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการต้มของเม็ดไข่มุกที่ปรับอัตราส่วนซูโครสต่อทรีฮาโลส

จากผลการทดสอบตารางที่ 4.13 พบว่าการสูญเสียของแข็งสำหรับสูตรที่มีการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และร้อยละของการดูดน้ำแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากสมบัติการเป็น hydroscopic จึงทำให้แป้งสามารถดูดน้ำได้น้อยลง ทำให้โดแป้งมีลักษณะแข็งและแห้ง นอกจากนี้ค่าร้อยละการดูดน้ำจึงลดน้อยลงตามการเพิ่มอัตราส่วนทรีฮาโลสที่มากขึ้น

ตารางที่ 4.13 ระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม ร้อยละการดูดน้ำ และร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการต้มของเม็ดไข่มุกที่ปรับอัตราส่วนซูโครสต่อทรีฮาโลส

อัตราส่วนซูโครส:ทรีฮาโลส	เวลาที่ใช้ในการต้มเม็ดไข่มุก (นาที)	การดูดน้ำ (%)	การสูญเสียของแข็ง (%)
100:0 (20% ข้าวเหนียวดำ)	14	52.84 ^a ± 9.8	25.77 ^a ± 2.8
80:20	12	53.96 ^a ±1.5	18.60 ^b ±0.57
60:40	12	47.75 ^{bc} ±0.57	17.57 ^b ±4.42
40:60	12	45.28 ^c ±2.38	18.20 ^b ±2.52
20:80	12	44.84 ^c ±2.8	19.89 ^b ±2.03
0:100	12	39.21 ^d ±11.91	16.54 ^b ±12.1

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.5 ผลของการเติมแซนแทนกัมต่อสมบัติทางกายภาพของเม็ดไข่มุก

4.5.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุก (Texture Analysis)

4.5.1.1 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังจากต้มทันที

จากผลการทดลองลักษณะทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี TPA ตารางที่ 4.14 พบว่าหลังต้มเม็ดไข่มุกสูตรเพิ่มอัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้งทันทีพบว่าค่า hardness gumminess และ chewiness มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) แต่แซนแทนกัมไม่ได้ส่งผลต่อค่า adhesiveness springiness cohesiveness อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับแนวโน้มการลดลงของ hardness ที่เพิ่มอัตราส่วนของแซนแทนกัมเกิดขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติไอออนิกมีส่วนเกี่ยวข้องกับสตาร์ชแกรนูลคือ ลดการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ช (Costa et al., 2020) ทำให้ค่า hardness มีค่าลดลง ด้วยเหตุผลนี้ส่งผลเช่นเดียวกับค่า gumminess และ chewiness นอกจากนั้นผลการทดลองยังพบว่าที่สูตรแซนแทนกัมเพิ่มอัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้ง 0.1% มีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุมมากที่สุด

ตารางที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกที่ปรับอัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้งหลังจากต้มทันที

อัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้ง	hardness (g-force)	adhesiveness (g.sec)	springiness	cohesiveness	gumminess (g-force)	chewiness (g-force)
0 (20% ข้าวเหนียวดำ)	734.93 ^a ± 44.39	-48.36 ^{bc} ± 5.87	0.69 ^a ± 0.05	0.59 ^{ab} ± 0.02	433.97 ^a ± 29.79	297.21 ^a ± 27.63
0.1	680.89 ^b ± 24.35	-43.12 ^{abc} ± 6.63	0.64 ^a ± 0.04	0.57 ^b ± 0.02	398.00 ^b ± 16.57	268.38 ^{ab} ± 21.58
0.3	671.76 ^b ± 44.46	-40.33 ^{ab} ± 7.39	0.67 ^a ± 0.04	0.59 ^{ab} ± 0.02	394.72 ^b ± 37.70	265.03 ^{ab} ± 37.31
0.5	599.00 ^c ± 30.73	-34.95 ^a ± 8.64	0.65 ^a ± 0.06	0.58 ^{ab} ± 0.02	345.87 ^c ± 25.76	226.20 ^{cd} ± 35.18
0.7	660.86 ^b ± 37.45	-41.47 ^{abc} ± 8.88	0.58 ^b ± 0.05	0.57 ^{ab} ± 0.03	374.42 ^b ± 25.33	217.95 ^d ± 29.17
0.9	661.66 ^b ± 59.71	-49.64 ^c ± 12.75	0.64 ^a ± 0.10	0.60 ^a ± 0.04	396.17 ^b ± 40.74	255.79 ^{bc} ± 57.89
0.1 (control)*	1075.92 ± 55.68	-41.91 ± 3.92	0.84 ± 0.04	0.64 ± 0.03	703.56 ± 14.30	615.45 ± 27.36

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3) * ข้อมูลนี้ไม่นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ใส่เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบ

4.5.1.2 การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกหลังจากผ่านการแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง

จากผลการทดลองลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ตารางที่ 4.15 พบว่าหลังต้มเม็ดไข่มุกสูตรเพิ่มอัตราส่วนแซนแทนกัมและนำไปแช่เย็น 2 ชั่วโมงพบว่าคุณลักษณะเนื้อสัมผัสทุกด้านของเม็ดไข่มุกมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับสูตรที่วัดทันทีโดยค่า hardness gumminess และ chewiness มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เนื่องจากคุณสมบัติไอออนิกมีส่วนเกี่ยวข้องกับสตาร์ชแกรนูลคือ ลดการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ช (Costa et al., 2020) สำหรับค่า cohesiveness มีแนวโน้มลดลงแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่า adhesiveness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพราะแซนแทนกัมชะลอการพองตัวของสตาร์ชแกรนูล นอกจากนี้ยังทำให้การละลายของแอมิโลสลดน้อยลง

ตารางที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกที่ปรับอัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้งหลังจากแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง

อัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้ง	hardness (g-force)	adhesiveness (g.sec)	springiness	cohesiveness	gumminess (g-force)	chewiness (g-force)
0(20% ข้าวเหนียวดำ)	683.08 ^a ± 76.10	-48.9 ^d ± 12.07	0.53 ^a ± 0.75	0.45 ^a ± 0.02	309.57 ^a ± 31.67	164.72 ^a ± 31.23
0.1	467.25 ^b ± 37.35	-31.56 ^c ± 5.72	0.42 ^{bc} ± 0.27	0.40 ^b ± 0.01	188.2 ^b ± 18.40	79.52 ^b ± 10.99
0.3	435.15 ^b ± 32.10	-30.48 ^c ± 9.23	0.45 ^b ± 0.43	0.42 ^b ± 0.02	183.58 ^b ± 20.54	83.96 ^b ± 16.82
0.5	425.65 ^c ± 45.32	-28.45 ^{bc} ± 3.73	0.39 ^{cd} ± 0.27	0.37 ^c ± 0.02	130.17 ^d ± 18.30	51.34 ^c ± 9.30
0.7	420.53 ^b ± 40.69	-21.63 ^{ab} ± 6.05	0.38 ^d ± 0.03	0.37 ^c ± 0.03	153.75 ^c ± 15.69	58.05 ^c ± 9.45
0.9	427.92 ^b ± 46.73	-17.56 ^a ± 11.10	0.44 ^b ± 0.58	0.42 ^b ± 0.04	180.04 ^b ± 36.41	80.69 ^b ± 27.04
0.1 (control)*	813.41 ± 34.05	-29.90 ± 4.97	0.70 ± 0.08	0.58 ± 0.05	465.49 ± 15.87	332.49 ± 16.47

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3) * ข้อมูลนี้ไม่นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ใส่เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบ

4.5.1.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกของสูตรควบคุมที่ตรวจสอบทันทีหลังต้มเทียบกับสูตรปรับอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ และแป้งมันสำปะหลังที่ตรวจสอบหลังแช่ในน้ำเย็น 2 ชั่วโมง

เมื่อเปรียบเทียบค่าสูตรควบคุมที่นำมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ตารางที่ 4.16 พบว่าหลังต้มทันทีกับสูตรแทนอัตราส่วนแซนแทนกัมเมื่อแช่เย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมงพบว่าสูตรแทนอัตราส่วนแซนแทนกัม 0.1 % ที่แช่เย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าลักษณะเนื้อสัมผัสใกล้เคียงกับสูตรควบคุม (20% ข้าวเหนียวดำ) ที่วัดทันทีมากที่สุด

ตารางที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเม็ดไข่มุกสูตรควบคุม ที่ตรวจสอบทันทีหลังต้มทันทีเทียบกับสูตรเพิ่มอัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้งที่ตรวจสอบหลังแช่น้ำเย็น 2 ชั่วโมง

อัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้ง	hardness (g-force)	adhesiveness (g.sec)	springiness	cohesiveness	gumminess (g-force)	chewiness (g-force)
0 (20% ข้าวเหนียวดำ)	734.93 ^a ± 44.39	-48.36 ^{bc} ± 5.87	0.69 ^a ± 0.05	0.59 ^{ab} ± 0.02	433.97 ^a ± 29.79	297.21 ^a ± 27.63
0.1	467.25 ^b ± 37.35	-28.8 ^{bc} ± 5.72	0.42 ^{bc} ± 0.27	0.4 ^b ± 0.01	188.2 ^b ± 18.40	79.52 ^b ± 10.99
0.3	435.15 ^b ± 32.10	-30.48 ^c ± 9.23	0.45 ^b ± 0.43	0.42 ^b ± 0.02	183.58 ^b ± 20.54	83.96 ^b ± 16.82
0.5	428.12 ^b ± 45.32	-17.45 ^a ± 3.73	0.39 ^{cd} ± 0.27	0.37 ^c ± 0.02	130.17 ^d ± 18.30	51.34 ^c ± 9.30
0.7	420.53 ^b ± 40.69	-21.63 ^{ab} ± 6.05	0.38 ^d ± 0.03	0.37 ^c ± 0.03	153.75 ^c ± 15.69	58.05 ^c ± 9.45
0.9	427.92 ^b ± 46.73	-31.56 ^c ± 11.10	0.44 ^b ± 0.58	0.42 ^b ± 0.04	180.04 ^b ± 36.41	80.69 ^b ± 27.04
0.1 (control)*	813.41 ± 34.05	-29.90 ± 4.97	0.70 ± 0.08	0.58 ± 0.05	465.49 ± 15.87	332.49 ± 16.47

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3) * ข้อมูลนี้ไม่นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ใส่เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบ

4.5.2 การวิเคราะห์สมบัติทางการเกิดเพสต์โดยปรับเพิ่มสัดส่วนแซนแทนกัมต่อแป้งในเม็ดไข่มุก

จากตารางที่ 4.17 พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนการเติมแซนแทนกัมแล้วนำมาวิเคราะห์สมบัติทางการเกิดเพสต์ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) โดยทำการเติมแซนแทนกัมในอัตราส่วนร้อยละ 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 และ 0.9 พบว่าเติมแซนแทนกัมทำให้ค่า peak Viscosity มีแนวโน้มลดลงเพราะแซนแทนกัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุลบผลักกันในโมเลกุลเนื่องจากสายโซ่เกี่ยวพันในโมเลกุล ค่า trough มีแนวโน้มลดลงขึ้นตามค่า peak viscosity, breakdown มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากแซนแทนกัมทำหน้าที่เคลือบห่อหุ้มสตาร์ชแกรนูลทำให้เกิดการเจลาติไนซ์เซชันช้าลงส่งผลให้ค่า breakdown มีค่าลดลง (Costa et al., 2020) ค่า final viscosity มีแนวโน้มลดลง ค่า setback มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการแย่งกันของไฮโดรคอลลอยด์ และสายโซ่แอมิโลสเพื่อสร้างการเชื่อมระหว่างโมเลกุล (intermolecular) ในระหว่างการลดอุณหภูมิ ดังนั้นทำให้การเชื่อมกันของโมเลกุลแอมิโลส - แอมิโลสที่ทำให้เกิดริโทรเกอร์เดชันเกิดได้น้อยลง (Costa et al., 2020) แต่สำหรับ ค่า pasting Temp มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำอิสระที่สำหรับใช้ในการเกิดเจลาติไนซ์เซชันลดลง เพราะน้ำจะถูกยึดเกาะกับแซนแทนกัมทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์สูงมากขึ้น

ตารางที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางการเกิดเพสต์ของน้ำแป้งที่เพิ่มแซนแทนกัม

อัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้ง	peak Viscosity (cP)	trough (cP)	breakdown (cP)	final viscosity (cP)	setback (cP)	peak time (min)	pasting temp (°C)
0 (20% ข้าวเหนียวดำ)	2380.0 ^a ± 21.2	967.0 ^a ± 18.4	1407.5 ^a ± 3.5	1607.5 ^a ± 10.6	625.0 ^a ± 7.1	4.2 ^b ± 0.0	71.9 ^c ± 0.0
0.1	767.5 ^b ± 13.4	489.0 ^b ± 7.1	278.5 ^c ± 6.4	791.5 ^b ± 3.5	302.5 ^b ± 3.5	4.5 ^a ± 0.1	77.2 ^{ab} ± 0.6
0.3	775.5 ^b ± 6.4	484.0 ^b ± 15.6	291.5 ^{bc} ± 9.2	758.0 ^{bc} ± 4.2	274.0 ^c ± 11.3	4.5 ^a ± 0.1	77.4 ^{ab} ± 0.4
0.5	776.5 ^b ± 14.8	470.5 ^b ± 19.1	306.0 ^b ± 4.2	730.5 ^{cd} ± 20.5	260.0 ^c ± 1.4	4.5 ^a ± 0.0	77.7 ^a ± 0.1
0.7	751.0 ^b ± 26.9	459.0 ^b ± 11.3	292.0 ^{bc} ± 15.6	700.0 ^d ± 21.2	241.0 ^d ± 9.9	4.5 ^a ± 0.0	77.7 ^a ± 0.0
0.9	786.5 ^b ± 6.4	479.0 ^b ± 29.7	294.0 ^{bc} ± 4.2	738.0 ^{cd} ± 32.5	227.5 ^d ± 3.5	4.5 ^a ± 0.1	76.4 ^b ± 0.1
0.1 (control)*	1057.0 ± 26.9	546.5 ± 20.5	497.0 ± 7.07	931.5 ± 9.19	439.5 ± 34.6	4.5 ± 0.1	73.2 ± 0.0

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 2 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสมคม์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3) * ข้อมูลนี้ไม่นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ใส่เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบ

4.5.3 ร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการต้มของเม็ดไซ่มุกที่ปรับเพิ่มสัดส่วนแซนแทนกัมต่อแป้งในเม็ดไซ่มุก

จากผลการทดลองการหาคุณภาพการหุงต้มของเม็ดไซ่มุกตารางที่ 4.18 พบว่าค่าการดูดน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากแซนแทนกัมในโดทำให้เกิดโครงสร้างแบบร่างแหระหว่างสายโซ่โปรตีนกับไฮโดรคอลลอยด์ซึ่งส่งผลให้ยับยั้งการพองตัว และการละลายของ แอมิโลสน้อยลง เช่นเดียวกับการสูญเสียของแข็งในเม็ดไซ่มุกที่มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากแซนแทนกัมจะสร้างโครงสร้างที่แข็งแรงซึ่งทำให้สตาร์ชถูกกัก สำหรับอัตราส่วนแซนแทนกัมที่แทนในแป้งมันสำปะหลังน้อยแซนแทนกัมไม่มีปริมาณที่มากพอในการสร้างโครงสร้างที่เหมาะสมทำให้เกิดการสูญเสียจากการต้มมาก แต่ในอัตราส่วนแซนแทนกัมต่อแป้งมันสำปะหลังที่มากจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แสดงให้เห็นการเกิดโครงสร้างแบบร่างแหป้องกันการแพร่กระจายของของแข็ง (Milde et al, 2020)

ตารางที่ 4.18 ระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม ร้อยละการดูดน้ำ และร้อยละการสูญเสียของแข็งในระหว่างการทำต้มของเม็ดไข่มุกที่เพิ่มแซนแทนกัน

อัตราส่วนแซนแทนกันต่อแป้ง	เวลาที่ใช้ต้ม (นาที)	การดูดน้ำ (%) ^{ns}	การสูญเสียของแข็ง (%) ^{ns}
0 (control 20% ข้าวเหนียวดำ)	14	52.80 ± 6.91	25.77 ± 1.95
0.1	10	46.29 ± 2.90	13.88 ± 2.35
0.3	10	50.37 ± 2.40	15.21 ± 1.54
0.5	10	50.02 ± 5.82	19.48 ± 2.91
0.7	10	49.65 ± 2.48	16.00 ± 2.81
0.9	10	45.40 ± 5.55	17.03 ± 8.65
0.1 (control)*	10	56.23 ± 4.57	15.28 ± 2.98

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่ต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3) * ข้อมูลนี้ไม่นำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติ ใส่เพื่อประโยชน์ในการเปรียบเทียบ

4) ns คือ มีค่าความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ

4.6 ผลการศึกษาสูตรของเม็ดไข่มุกที่เหมาะสมที่สุด

4.6.1 การเลือกสูตรเม็ดไข่มุกที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาจากค่าเนื้อสัมผัส

จากการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA ในเม็ดไข่มุกด้วยการทดแทนอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ การทดแทนอัตราส่วนซูโครสด้วยทรีฮาโลส และการเติมแซนแทนกันที่ต่างกัน ผลจากการนำเม็ดไข่มุกสูตรต่าง ๆ ไปแช่เย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำที่เหมาะสมคือ 20% เนื่องจากให้ค่าเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับเม็ดไข่มุกสูตรควบหลังต้มทันทีมากที่สุด เช่นเดียวกับกับสูตรการเติมแซนแทนกัน 0.1% หลังจากแช่เย็นเป็นเวลา 2 ชั่วโมงสามารถให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับสูตรควบคุมหลังต้มทันทีมากที่สุด แต่ในขณะที่การทดแทนอัตราส่วนซูโครสด้วยทรีฮาโลสพบว่าการเติมทรีฮาโลสทำให้เนื้อสัมผัสของโดมีความแห้ง และแข็งในทุกอัตราส่วนทำให้ยากต่อการขึ้นรูปเป็นเม็ดไข่มุก เป็นสาเหตุจากสมบัติการดูดน้ำของทรีฮาโลสที่ทำให้แป้งสามารถดูดน้ำได้น้อยลง จึงถือว่าไม่มี

อัตราส่วนใดในการทดแทนซูโครสด้วยทรีฮาโลสเหมาะสมต่อการพัฒนาสูตรเม็ดไข่มุก ดังนั้นเพื่อเป็นการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่แท้จริงจึงมีการทดสอบการยอมรับของเม็ดไข่มุกในชานม โดยเลือกสูตรที่มีอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการเติมเพื่อให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคซึ่งคือ สูตรทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยข้าวเหนียวดำ 20 % สูตรเติมแซนแทนกัม 0.1 % และสูตรทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ 20% เติมแซนแทน 0.1% และสูตรควบคุม

4.6.2 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

4.6.2.1 การทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกในชานม

การทดสอบความยอมรับผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกสูตรควบคุม สูตรที่มีการทดแทนแป้งสำปะหลังมันด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ 20 % สูตรที่มีการเติมแซนแทนกัม 0.1% และสูตรที่มีการทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ 20 % และมีการเติมแซนแทนกัม 0.1% ทดสอบการยอมรับของผู้ทดสอบจำนวน 40 คน โดยมีการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้าน สี กลิ่น ลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมจากตารางที่ 4.19 พบว่าในทุกด้าน สูตรที่มีคะแนนสูงสุดคือสูตรที่มีการเติมแซนแทนกัม 0.1% ($p < 0.05$) เป็นสูตรที่มีคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดและมีค่าไม่แตกต่างจากกับสูตรควบคุม อาจเป็นเพราะเม็ดไข่มุกสูตรดังกล่าวมีเนื้อสัมผัสที่เหมาะสม ไม่เละจนเกินไป เพราะการทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำทำให้เม็ดไข่มุกมีความยืดหยุ่นน้อยลง ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ดังนั้นเม็ดไข่มุกสูตรที่มีการเติมแซนแทนกัม 0.1% จึงถูกคัดเลือกสำหรับการพัฒนาเม็ดไข่มุกที่มีความสามารถในการลดการเกิดรีโทรเกรเดชันได้

ตารางที่ 4.19 ผลการยอมรับผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุกสูตรต่างๆ

สูตรเม็ดไข่มุก	คุณลักษณะ					
	สี ^{ns}	กลิ่น	ลักษณะภายนอก	เนื้อสัมผัส	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
ควบคุม	5.63 ± 1.17	4.78 ^a ± 0.92	5.43 ^a ± 1.26	3.85 ^b ± 1.66	4.35 ^a ± 1.55	4.40 ^a ± 1.43
แป้งข้าวเหนียวดำ 20%	5.28 ± 0.99	4.35 ^{ab} ± 1.16	4.70 ^b ± 1.16	2.23 ^c ± 1.29	3.28 ^b ± 1.57	3.05 ^b ± 1.36
เติมแซนแทนกัม 0.1%	5.58 ± 1.30	4.73 ^a ± 1.18	5.40 ^a ± 1.28	4.85 ^a ± 1.46	4.72 ^a ± 1.24	5.28 ^a ± 1.22
แป้งข้าวเหนียวดำ 20% เติมแซนแทนกัม 0.1%	5.10 ± 1.08	4.03 ^b ± 1.25	4.47 ^b ± 0.96	2.20 ^c ± 1.20	3.18 ^b ± 1.57	2.75 ^b ± 1.21

หมายเหตุ : 1) ค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 40 ซ้ำ

2) ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรที่แตกต่างกันในสดมภ์ แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3) ns คือ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ

4.6.2.2 ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างตัวอย่างเม็ดไข่มุกหลังต้มและแช่เย็น

4.6.2.2.1 ผลการทดสอบเพื่อหาความแตกต่างในผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรควบคุมหลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรควบคุมหลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง

การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างในผลิตภัณฑ์ระหว่างเม็ดไข่มุก สูตรควบคุมหลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรควบคุมหลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง ทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 13 คน โดยมีผู้ทดสอบที่สามารถแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้จำนวน 9 คน จากผู้ที่ให้คะแนนความชอบโดยรวมของเม็ดไข่มุกสูตรควบคุมมากที่สุดจากสูตรทั้งหมดในการทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งคิดเป็น 69.23% แสดงว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่สามารถรับรู้ได้ว่าผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรควบคุมหลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรควบคุมหลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบตาราง triangle test, difference analysis แบบ one – tailed, binomial test, $df = 1$

ตารางที่ 4.20 การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรควบคุมหลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรควบคุมหลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง

Subject	ผลการทดสอบ	
	First set	Second set
1	ถูก	ถูก
2	ถูก	ถูก
3	ผิด	ผิด
4	ผิด	ถูก
5	ถูก	ถูก
6	ถูก	ถูก
7	ถูก	ผิด
8	ถูก	ถูก
9	ถูก	ผิด
10	ถูก	ถูก
11	ถูก	ถูก
12	ถูก	ถูก
13	ถูก	ถูก

4.7.2.2.2 ผลการทดสอบเพื่อหาความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรเดิมแช่น้ำแทนกัม 0.1% หลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรเดิมแช่น้ำแทนกัม 0.1% หลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง

การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างในผลิตภัณฑ์ระหว่างเม็ดไข่มุก สูตรเดิมแช่น้ำแทนกัม 0.1% หลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรเดิมแช่น้ำแทนกัม 0.1% หลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง ทดสอบโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 22 คน จากผู้ที่ให้คะแนนความชอบโดยรวมของเม็ดไข่มุกสูตรเดิมแช่น้ำแทนกัม 0.1% มากที่สุดจากสูตรทั้งหมดในการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมีผู้ทดสอบที่สามารถแยกความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ได้จำนวน 7 คน ซึ่งคิดเป็น 31.82% แสดงว่าผู้ทดสอบส่วนใหญ่ไม่สามารถรับรู้ได้ถึงความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ระหว่างเม็ดไข่มุก สูตรเดิมแช่น้ำแทนกัม 0.1% หลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรเดิมแช่น้ำแทนกัม 0.1% หลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง ซึ่งบ่งบอกได้ว่าเม็ดไข่มุก สูตรเดิมแช่น้ำแทนกัม 0.1% หลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากเม็ดไข่มุก สูตรเดิมแช่น้ำแทนกัม 0.1% หลังต้มทันที

ตารางที่ 4.21 การทดสอบเพื่อหาความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรเติมแซนแทนกัม 0.1% หลังต้มทันที และผลิตภัณฑ์เม็ดไข่มุก สูตรเติมแซนแทนกัม 0.1% หลังแช่เย็น 2 ชั่วโมง

Subject	ผลการทดสอบ	
	First set	Second set
1	ถูก	ถูก
2	ถูก	ผิด
3	ผิด	ผิด
4	ถูก	ผิด
5	ผิด	ผิด
6	ถูก	ถูก
7	ผิด	ถูก
8	ผิด	ถูก
9	ผิด	ถูก
10	ถูก	ถูก
11	ถูก	ผิด
12	ถูก	ถูก
13	ถูก	ถูก
14	ผิด	ถูก
15	ถูก	ถูก
16	ผิด	ถูก
17	ผิด	ผิด
18	ถูก	ผิด
19	ถูก	ผิด
20	ผิด	ผิด
21	ผิด	ผิด
22	ถูก	ถูก

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการลดการเกิดรีโทรเกรเดชันในเม็ดไข่มุกด้วยการแทนสัดส่วนของแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำ การเติมทรีฮาโลส และแซนแทนกัมบรรลุดตามวัตถุประสงค์ทั้งข้อที่ 1 และ 2 คือการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเม็ดไข่มุกที่มีส่วนผสมของแป้งข้าวเหนียวดำ ทรีฮาโลส และแซนแทนกัม และศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการลดการเกิดรีโทรเกรเดชันของเม็ดไข่มุก โดยระหว่างขั้นตอนการศึกษานั้นได้พบปัญหาและอุปสรรคในระหว่างการทดสอบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสจำเป็นต้องควบคุมเวลาในการแช่เย็นของเม็ดไข่มุกให้เท่ากันในผู้ทดสอบทุกคนซึ่งสามารถควบคุมได้ยาก อาจทำให้มีการคลาดเคลื่อนเล็กน้อย

จากผลการทดลองทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งข้าวเหนียวดำในเม็ดไข่มุกสูตรควบคุมได้ผลว่า ค่า hardness, cohesiveness, gumminess และ chewiness มีแนวโน้มลดลง ตรงข้ามกับ adhesiveness มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับผลการศึกษาศักยภาพการเกิดเพสต์พบว่าสมบัติทุกด้านมีแนวโน้มลดลง นอกจากนั้นการสูญเสียของแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนแป้งข้าวเหนียวดำ ซึ่งสูตรที่เหมาะสมที่สุดคือสูตรแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยข้าวเหนียวดำ 20% และได้นำสูตรดังกล่าวมาศึกษาต่อโดยจากเพิ่มสัดส่วนทรีฮาโลสต่อซูโครสในเม็ดไข่มุก พบว่าค่า hardness, adhesiveness, gumminess และ chewiness มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนทรีฮาโลสต่อซูโครส เช่นเดียวกับผลการศึกษาศักยภาพการเกิดเพสต์ที่ลดลงทุกค่าเมื่อทดแทนทรีฮาโลสในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการสูญเสียของแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนทรีฮาโลส แต่สูตรที่มีการเติมทรีฮาโลสทุกสูตรไม่สามารถปั้นได้เนื่องจากเม็ดไข่มุกแห้ง และแข็ง ดังนั้นจึงเลือกสูตรข้าวเหนียวดำ 20% มาศึกษาต่อ ซึ่งจากผลการทดลองเติมแซนแทนกัมในเม็ดไข่มุกพบว่าค่า hardness gumminess และ chewiness มีแนวโน้มลดลง สำหรับสมบัติทางกายภาพการเกิดเพสต์พบว่าทุกค่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มแซนแทนกัม ยกเว้นค่า pasting Temp ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นการสูญเสียของแข็งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณแซนแทนกัมในเม็ดไข่มุกซึ่งสูตรแป้งข้าวเหนียวดำเติมแซนแทนกัม 0.1% เป็นสูตรที่เหมาะสมที่สุด และนอกจากนั้นยังมีการศึกษาผลของการเติมแซนแทนกัม 0.1% ในสูตรควบคุมพบว่าค่า hardness gumminess และ chewiness มีค่าลดลง สำหรับผลการศึกษาศักยภาพการเกิดเพสต์พบว่าสมบัติทุกค่าลดลงเมื่อเพิ่มแซนแทนกัม นอกจากนั้นการสูญเสียของแข็งในเม็ดไข่มุกมีค่าลดลงเมื่อเติมแซนแทนกัม 0.1%

จากการศึกษาการยอมรับเม็ดไข่มุกในชานมสูตรควบคุม สูตรเติมแซนแทนกัม 0.1% ,สูตรทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำบางส่วน ,สูตรทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำบางส่วน และเติมแซนแทนกัม 0.1% โดยทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค พบว่า สูตรที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด คือ สูตรที่มีการเติมแซนแทนกัม

ในปริมาณ 0.1% และการทดสอบเพื่อหาความแตกต่างในเม็ดไข่มุกระหว่างสูตรควบคุมหลังต้มทันที และเม็ดไข่มุกสูตรควบคุมหลังแช่เย็น 2 ชั่วโมงพบว่าผู้ทดสอบสามารถแยกความแตกต่างระหว่างได้ และจากการทดสอบเพื่อหาความแตกต่างระหว่างเม็ดไข่มุก สูตรเติมแซนแทนกัม 0.1% หลังต้มทันที ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำแซนแทนกัมมาเติมในเม็ดไข่มุกในชานม เพื่อชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชัน

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ควรแปรระดับการทดแทนด้วยแป้งข้าวเหนียวดำให้มีช่วงให้แคบลงเช่น 5, 10, 20% เพื่อให้เม็ดไข่มุกอยู่ลักษณะที่ผู้บริโภคยอมรับได้ เนื่องจากการทดแทนด้วยสัดส่วนที่มากพบว่ามีารสูญเสียของแข็งของเม็ดไข่มุกมากขึ้น จนทำให้เม็ดไข่มุกที่ต้มสุกมีรูปร่างไม่กลม และมีขนาดเล็กลงมาก นอกจากนั้นการทดลองเติมแซนแทนกัมในสูตรควบคุมควรมีการทดลองเติมในสัดส่วนที่มากขึ้นเพื่อศึกษาอิทธิพลของแซนแทนกัมที่มีต่อสมบัติทางกายภาพของเม็ดไข่มุก

อ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด, เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, วุฒิ เลิศมงคล, จำลอง เจียมจำนรรจา, ปิยะ ดวงพัตรา, เอ็จ สโรบล, ปิยะวุฒิ พูลสงวน, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์ และ วิจารย์ วิชชุกิจ. (2542). การแปรรูปและการใช้ประโยชน์น้ำมันสำปะหลัง: เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการ ฉบับที่ 5 ชุด โครงการเพื่อบรรเทาผลกระทบทางสังคมเนื่องจากวิกฤติการณ์ทางเศรษฐกิจ. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณะเกษตร ภาควิชาพืชไร่นา.
- กฤษฎีกาเกษม ชันติโสภณ. (2561). การสังเคราะห์ไบรอนคาร์ไบด์จากกรดบอริกและซูโครสโดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มัล (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ). สืบค้นจาก https://cuir.car.chula.ac.th/bitstream/123456789/64321/1/Kritkasem%20K_Se_2561.pdf
- เข็มวัลย์ เพชรฤทธิ์. (2545). ผลของการใช้สารทรีฮาโลส ซูโครสและซอร์บิทอล เป็นไครโอโพรเทกแทนต์ต่อคุณภาพซูริมิที่ได้จากปลาน้ำจืดเศรษฐกิจ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ). สืบค้นจาก <https://cuir.car.chula.ac.th/bitstream/123456789/10379/1/Kammawon.pdf>
- ชุติวัด อรรถบุรณวงศ์. (2558). การผลิตซูโครสด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยภายใต้สภาวะสุญญากาศ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ). สืบค้นจาก <https://cuir.car.chula.ac.th/bitstream/123456789/50819/1/5670171021.pdf>
- ณัฐชานน วงศ์สวัสดิ์ (2563). ตลาดชาไข่มุก สืบค้น 9 กันยายน 2563 จาก <https://www.billionmindset.com/bubble-tea-market/>
- ดุขฎิ อุดภาพ (ม.ป.ป.) สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรท-ไฮโดรคอลลอยด์ และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม สืบค้น 1 กันยายน 2563, จาก https://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/Chap4/chapter4_4.html
- นิลินี อุดมทวี. (2540). การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาแทนที่ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ). สืบค้นจาก <http://cuir.car.chula.ac.th>
- บุศราภา ลีละวัฒน์. (2561). การพัฒนาเม็ดไข่มุกจากข้าวก่ำ. Thai Science and Technology Journal, 28(3), 455 – 465. สืบค้นวันที่ 2 กันยายน 2563, จาก <https://li01.tcithaijo.org/index.php/tstj/article/view/234759/161458>
- ปริญพร ชุนติ. (2546). ผลของการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคินต์ต่อความไม่สดในขนมปัง (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ). สืบค้นจาก <http://cuir.car.chula.ac.th>

- พัชรพร ศรีชัยนาท. (2561). ผลของไฮโดรคอลลอยด์ที่มีต่อสมบัติทางรีโอโลยีและทางเนื้อสัมผัสของเนื้อมังสวิรัตที่เตรียมจากถั่วเหลือง(วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,กรุงเทพฯ) สืบค้นจาก http://digital.library.tu.ac.th/tu_dc/frontend/Info/item/dc:164316
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (ม.ป.ป.). แซนแทนกัม. สืบค้น 30 สิงหาคม 2563, จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1112/xanthan-gum>
- วุฒิ ลีลายุทธเลิศ. (2545). การเตรียมวัสดุเชิงประกอบจากแป้งมันสำปะหลังดัดแปรและเกาลิน (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ). สืบค้นจาก <http://cuir.car.chula.ac.th>
- สาธิต ทองสุกงาม. (2561). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมชั้นแช่แข็งจากแป้งข้าวเจ้ามีสี (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ). สืบค้นจาก <https://repository.rmutp.ac.th>
- อัจฉรา มาติยา. (2552). ผลของพัลลูแลน และทรีฮาโลส ในสูตรสารเคลือบต่อการดูดซับความชื้นของผลิตภัณฑ์อะราเร่ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม). สืบค้นจาก <http://sure.su.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/10245/Fulltext.pdf?sequence=1&isAll owed=y>
- อนลลักษณ์ โอฟาริโกวิท. (2546). การผลิตข้าวพร้อมบริโภคในรีทอร์ตแพซ. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ). สืบค้นจาก <https://cuir.car.chula.ac.th/bitstream/123456789/6544/1/Anolluck.pdf>
- Babic, J. (2009). Influence of Trehalose, Glucose, Fructose, and Sucrose on Gelatinsation and Retrogradation of Corn and Tapioca Starches. *Czech J. food sci*, 27(3), 151 – 157. Retrieved August 31, 2020, from https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/31_2009-CJFS.pdf
- Chaisawang, M., & Suphantharik, M. (2005). Pasting and rheological properties of native and anionic tapioca starches as modified by guar gum and xanthan gum. *Food Hydrocolloids* 20(1), 641–649 Retrieved August 29, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X05001281>
- Cifferi, R. (1938). Saggio di Classification Dellerazze di manioc (*Manihot esculanta crantz*). *Relazine Monografic Agrorio Coloniali*. 44: 1-58 (Sited in Naline U. (1997). The modification of tapioca starch by substitution reaction)

- Costa, R., Bonomo, R., Rodrigues L., Santos L., & Veloso, C. (2020). Improvement of texture properties and syneresis of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch gels by using hydrocolloids (guar gum and xanthan gum). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 100: 3204-3211 Retrieved April 22, 2021, from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/jsfa.10356>
- Ito, V. C., & Lacerda, L. G. (2019). Black rice (*Oryza sativa* L.): A review of its historical aspects, chemical composition, nutritional and function properties, and applications and processing technologies. *Food chemistry*, 301(2019), Retrieved 8, 2020, from https://www.researchgate.net/publication/334811509_Black_rice_Oryza_sativa_L_A_review_of_its_historical_aspects_chemical_composition_nutritional_and_functional_properties_and_applications_and_processing_technologies
- Itthivadhanapong, P., & Sangnark, A. (2015). Effects of substitution of black glutinous rice flour for wheat flour on batter and cake properties. *International Food Research Journal*, 23(3), 1190-1198 Retrieved September 8, 2020, from https://www.researchgate.net/publication/301655456_Effects_of_substitution_of_black_glutinous_rice_flour_for_wheat_flour_on_batter_and_cake_properties
- Mandala, I. G., Palogou, E. D., & Kostaropoulos (2002). Influence of preparation and storage conditions on texture of xanthan-starch mixtures. *Journal of Food Engineering*, 53(1), 27–38. Retrieved August 29, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877401001364>
- Medrano, E. V. B., Fonseca, M. R. J., & Méndez, M. Á. A. (2017). Starch-Galactomannans Mixtures: Rheological and Viscosity Behavior in Aqueous Systems for Food Modeling. *Intechopen*, DOI: 10.5772/intechopen.68915 Retrieved 8, 2020, from https://www.researchgate.net/publication/321391888_Starch-Galactomannans_Mixtures_Rheological_and_Viscosity_Behavior_in_Aqueous_Systems_for_Food_Modeling/download
- Milde, L., Chigal, P., Olivera, J., & González, K. (2020). Incorporation of xanthan gum to gluten-free pasta with cassava starch. Physical, textural and sensory attributes. *LWT-Food science and technology*, 131, 109674 Retrieved 8, 2021, from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643820306630?casa_token=wBU

TpAXt6N0AAAAA:y9VX4tK9GtbEe3dMqSVyWZ4ofTNnoh8xh8kEUwTVSi4hc0Eh4vbqk0jrTGU
RER2xcZ5-rWULUxs

- Muadklay, J., & Sanguansri, C. (2007). Effects of hydrocolloids and freezing rates on freeze-thaw stability of tapioca starch gels. *Food Hydrocolloids* 22(1), 1268–1272. Retrieved August 29, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X07001786>
- Murray, B., and Liang, H. (1999). Enhancement of the foaming properties of protein Dried in the presence of trehalose. *J. Agric Food Chem*, 47, 4984 – 4991. Retrieved August 31, 2020, from <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf990206n>
- Peat, S. 1954. The Biological Function of starch. *Starch and its Derivative*. 1: 5-24. (Sited in Nalinee U. (1997). The modification of tapioca starch by substitution reaction)
- Perez, S., Baldwin, P. M., & Gallant, D. J. (2009). Structural Features of starch Granule 1. In J. BeMiller and R. Whistler (ed.), *Starch chemistry and technology*, 3rd Ed. pp. 148-192. Massachusetts: Academic Press.
- Sompong, R., Siebenhandl-Ehn, S., Linsberger-Martin, G. & Berghofer, E. (2011). Physicochemical and antioxidative properties of red and black rice varieties from Thailand, China and Sri Lanka. *Journal of Food Chemistry* 124(1), 132-140. Retrieved August 30, 2020, from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814610006989>
- Swinkle, J. J. M. (1985). *Source of Starch, its Chemistry and physics*. Starch Conversion Technology. New York: Marcel Dekler, Inc., 1-45
- Visser, R. G. F. (1996). comparison starch from different botanical sources. In *Advanced Post Academic Course on Tapioca starch Technology*. AIT Center, Bangkok, 22-26 January and 19-23 February 1996.

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ทางเคมี

ก1. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000) สารเคมี

1. Conc. H_2SO_4
2. 35%NaOH
3. 4%(Saturated)boricacid
4. 0.1 N HCl
5. Catalyst

วิธีวิเคราะห์

ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ 2 กรัม จากนั้นนำตัวอย่างใส่ลงในหลอด Tube
2. ใส่ Catalyst ลงใน Tube จากนั้นเติม Conc. H_2SO_4 20 มิลลิลิตร(ทำในตู้ดูดควัน)
3. ทำการย่อยเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ด้วยเครื่องย่อย จนได้สารละลายสีน้ำตาล ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น 30 นาที
4. เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตรแล้วนำไปกลั่น

ขั้นตอนการกลั่น

1. Preheat
 - ใส่หลอดย่อยเปล่า
 - Time = 02:00 (2นาที)
 - Stem water = 100(%ความดันไอน้ำ)
 - กด Start เริ่มทำงาน
2. Cleaning
 - กด Reagent(H_2O) ค้างไว้ = 300 (สังเกตขีดบอกระดับหลังหลอดย่อย)
 - Time = 05:00 (5นาที)
 - Stem water = 100(%ความดันไอน้ำ)
 - กด Start เริ่มทำงาน

3. ตั้งโปรแกรมทดสอบ ทำการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

- กต Reagent(H₂O) 50 มิลลิลิตร และ Reagent 2 (NaOH) ค้างไว้ 90 มิลลิลิตร โดยใช้ NaOH ความเข้มข้น 35% เท่านั้น
- เตรียม Boric acid ใน flask 60 มิลลิลิตร พร้อมหยด indicator 2-3 หยด
- Time = 05:00 (5 นาที)
- Stem water = 100(%ความดันไอน้ำ)
- กต Start เริ่มทำงาน4. เมื่อกลับเส้นรีจนาตัว อยู่ใน Flask ไปไทเทรตด้วย 0.1 N HCl จนสารละลาย เปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นชมพู บันทึกปริมาตรที่ไทเทรต

ก2. การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 3 กรัมลงใน Thimble(ใช้เครื่องชั่งตศนิยม 4 ตำแหน่ง) ปิดตัวอย่างด้วยสาลี
2. ชั่ง Bottom flask จดน้ำหนักที่แน่นอน
3. ประกอบชุดหาไขมัน (Soxhlet extraction) นำ Thimble ใส่ในหลอด Soxhlet
4. เติม Solvent(Petroleum ether) ใน Bottom flask ประมาณ 200 มิลลิลิตร
5. เปิดเตาให้ความร้อนกับ Bottom flask ไออของ Solvent จะระเหยขึ้นไป และควบแน่น กลับมาใน Thimble ทำให้สกัดไขมันที่มีในตัวอย่งออกมา
6. สกัดไขมันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
7. นำ Bottom flask ที่มี Solvent และไขมันไประเหยบน Rotary evaporator จน Solvent หมด
8. นำ Bottom flask ไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นใน desiccator จนน้ำหนักคงที่
9. บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน

ก3. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

วิธีวิเคราะห์

1. เเผา Crucible ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นใน Desiccator จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ใส่ลงใน Desiccator เเผาจนเตาให้ความร้อนจนหมดควัน
3. เเผาที่เตาเผาอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่
4. ทิ้งให้เย็นใน Desiccator
5. ชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักเถ้า + น้ำหนัก Crucible)

การคำนวณ

$$\text{เถ้า (ร้อยละ)} = \frac{[(\text{น้ำหนัก Crucible} + \text{เถ้า}) - \text{น้ำหนัก Crucible}] \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}$$

ก4. การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ (Crude fiber) สารเคมี

1. 1.25% (w/w) H₂SO₄
2. 5%(w/w) NaOH
3. 1%(w/w) HCl
4. 95% ethanol

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม (บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนเทคนิค 3 ตำแหน่ง) ใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เติม 1.25% H₂SO₄ จนถึงขีดบอกระดับ 200 มิลลิลิตร
3. ต้มส่วนผสมจนเดือด ต้มด้วยไฟอ่อนต่ออีก 20 นาที สังเกตปริมาตรของส่วนผสม หากปริมาตรลดต่ำกว่า 200 มิลลิลิตร ให้เติมน้ำกลั่นต้มเดือดให้ถึงขีดปริมาตร
4. นำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 3 มากรองผ่านผ้าขาวบาง บนกรวย Buchner ซึ่งต่อกับปั๊ม
5. ล้างกากแข็งด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดหลายครั้ง จนน้ำที่ล้างออกมาไม่เป็นกรด (ทดสอบความเป็นกรดของน้ำล้างที่ผ่านออกมาด้วยกระดาษลิตมัส)
6. นำกากใส่บีกเกอร์ใบเดิม หากมีกากติดอยู่ที่ผ้าขาวบางให้ชะออกด้วยน้ำกลั่นปริมาณที่น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น
7. เติม 5% NaOH ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
8. เติมน้ำกลั่นต้มเดือดจนถึงขีดบอกระดับ 200 มิลลิลิตร
9. ต้มส่วนผสมจนเดือด ต้มด้วยไฟอ่อนต่ออีก 20 นาที สังเกตปริมาตรของส่วนผสม หากปริมาตรลดต่ำกว่า 200 มิลลิลิตร ให้เติมน้ำกลั่นต้มเดือดให้ถึงขีดปริมาตร
10. นำส่วนผสมกรองผ่านผ้าขาวบางบนกรวย Buchner ซึ่งวางบน Flask ที่ต่อกับปั๊ม
11. ล้างกากแข็งด้วยน้ำกลั่นต้มเดือดหลายครั้ง จนน้ำที่ล้างออกมาไม่เป็นกรด (ทดสอบความเป็นกรดของน้ำล้างที่ผ่านออกมาด้วยกระดาษลิตมัส)
12. ชะกากด้วย 95% ethanol
13. นำกากใส่ลงในจานกระเบื้องหรือจานอลูมิเนียม อบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่

14. นำจานออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็นใน Desiccator (ห้กลับน้ำหนักของภาชนะแล้วให้น้ำหนักตัวอย่างขณะนั้นเป็นน้ำหนัก1)
15. ชั่ง Crucible และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน (ทศนิยม 3 ตำแหน่ง)
16. นำกากออกมาใส่ Crucible ที่เผาแล้วทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้วนำไปเผาบนตาเผาจนหมดควันหรือได้เถ้าสีดำ
17. นำไปเผาต่อในเตาเผา (Furnace) ที่ 550 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว
18. นำ Crucible ออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นใน Desiccator แล้วชั่งน้ำหนัก(ห้กลับน้ำหนักของภาชนะแล้วให้ น้ำหนักขณะนั้นเป็นน้ำหนัก 2)
19. นำน้ำหนัก 2 มาลบออกจากน้ำหนัก 1 น้ำหนักที่หายไประหว่างการเผาคือน้ำหนักของ Crude fiber

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ข.1 ศึกษาสมบัติทางการเกิดเพสต์ของแป้งด้วยเครื่อง Rapid visco analyzer

1. คำนวณน้ำหนักแป้งที่ควรใช้โดยคำนึงถึงความชื้นของตัวอย่าง โดยสามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$M2 = \frac{(100-14) \times M1}{100-M1}$$

$$M1 = \text{น้ำหนักที่เหมาะสมสำหรับแป้ง}$$

$$M2 = \text{น้ำหนักที่ถูกต้อง}$$

2. ใส่ตัวอย่างแป้งลงในแคนที่มีน้ำอยู่ และคนตัวอย่างให้เข้ากัน จากนั้นใส่พายลงไป (Paddle)
3. นำแคนที่พายใส่เข้าเครื่อง RVA กดมอเตอร์ลงให้ทำงาน

จากกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อเวลาที่ผ่านได้ อ่านและบันทึกค่าต่างๆได้ดังนี้

Peak time = เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (นาที)

Pasting Temperature = อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดหรืออุณหภูมิที่มีความหนืด

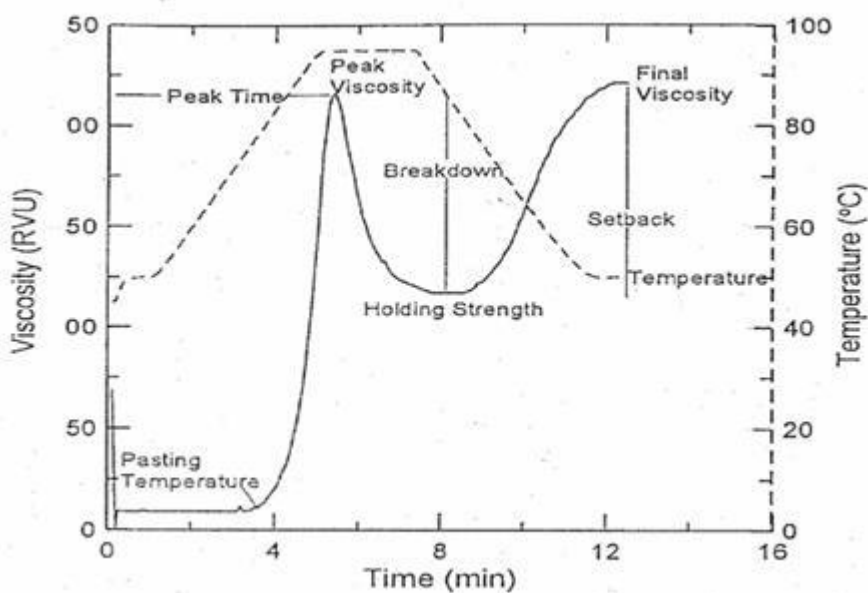
Holding Strength = ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำให้เย็น (cP)

Breakdown = ความแตกต่างของความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด (cP)

Final Viscosity = ความหนืดท้ายของการทดลอง (cP)

Setback From Peak = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด peak (cP)

Setback From Trough = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (cP)



รูปที่ ข1 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วย RVA

ข.2 การตรวจสอบคุณภาพของเส้นราเม็งด้านการหุงต้ม (Cooking quality)

ข.2.1 ระยะเวลาในการหุงต้มที่เหมาะสม (Cooking time) (AACC, 2000)

นำตัวอย่างเม็ดไข่มุก 12.5 กรัม ต้มในน้ำกลั่นเดือดปริมาณ 150 มิลลิลิตรในหม้อสแตนเลสให้ความร้อนบนเตาไฟฟ้าที่กำลังไฟ 500 วัตต์ เริ่มจับเวลา ในขณะที่ต้มให้กวนตัวอย่างเพื่อป้องกันเม็ดไข่มุกไม่ให้ติดกัน และให้ความร้อนทั่วถึงเท่ากันภายในหม้อ ทำการต้มจนแกนสีขาวภายในเม็ดไข่มุกหายไป

ข.2.2 ร้อยละของการสูญเสียของแข็งระหว่างต้ม (Cooking loss) (AACC, 2000)

นำตัวอย่างไข่มุกที่ผ่านการต้มสุกตามเวลาที่เหมาะสมนำเม็ดไข่มุกทั้งหมดขึ้นมาวางบนกระชอนแล้วใช้ น้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร ล้างเม็ดไข่มุกเพื่อชะของแข็งที่ติดอยู่บนเม็ดไข่มุกให้ไปรวมในหม้อพยายามสะเด็ดน้ำผ่านกระชอนให้หมด จากนั้นระเหยน้ำต้มเม็ดไข่มุก และน้ำล้างเม็ดไข่มุกทั้งหมดต่อบนเตาไฟฟ้าที่กำลังต่ำ 500 วัตต์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดฟองติดตามขอบหม้อ โดยระเหยน้ำให้เหลือประมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วจึงเปลี่ยนไปใสในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร พยายามให้เหลือของแข็งติดในหม้อน้อยที่สุด จากนั้นนำไปประเหยบนเตาให้ความร้อน (Hot plate) ที่ระดับความร้อนสูงสุดจนกระทั่งน้ำระเหยเกือบหมด และนำไปประเหยแห้งต่อที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำบีกเกอร์ที่ระเหยน้ำจนแห้งแล้วมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณร้อยละการสูญเสียของแข็งระหว่างต้มตามสูตร

$$\text{การสูญเสียของแข็งระหว่างต้ม (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของของแข็งที่เหลืออยู่ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม)}} \times 100$$

ข.1.3 ร้อยละการดูดน้ำ (water absorption)

นำเม็ดไข่มุกจากการต้มข้อ ข.2.1 มาชั่งน้ำหนักเพื่อหาร้อยละของการดูดน้ำ

$$\text{ค่าการดูดน้ำ (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังต้ม (กรัม)} - \text{น้ำหนักของของแข็งที่เหลืออยู่ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักก่อนต้ม (กรัม)}} \times 100$$

ข.3 ลักษณะเนื้อสัมผัสเม็ดไข่มุก

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) (Stable Micro system, รุ่น TA.XT2i, UK)
2. หัววัดทรงกระบอกขอบมน ขนาด 36 มม. (P/36R)

วิธีวิเคราะห์

1. ประกอบหัววัดเข้ากับเครื่องวัดเนื้อสัมผัส
2. Calibrate force โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 1000 กรัม
3. Calibrate Height โดยตั้งระยะหัววัดให้ห่างจากแท่นวางตัวอย่าง 40 มิลลิเมตร
4. เลือกรูปแบบการวิเคราะห์แบบ Texture Profile Analysis (TPA) และตั้งรายละเอียดดังนี้

Mode: Measure for compression

Option: Texture Profile Analysis (TPA)

Pre-test speed: 1.00 mm/sec

Test-speed: 5.00 mm/sec

Post-test speed: 5.00 mm/sec

Strain: 75%

Trigger-type: Auto force 5 gram

- วางเม็ดไข่มุกบนแท่นตัวอย่างครึ่งละ 1 เม็ด โดยให้หัววัดอยู่ตรงกลางของตัวอย่างจากนั้นกด start เพื่อเริ่มวัดค่า

ภาคผนวก ค
Sensory Evaluation
เม็ดไข่มุกในนมสด

วันที่ทดสอบ..... ชื่อผู้ทดสอบ..... เพศ..... อายุ.....

แบบทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของเม็ดไข่มุกในนมสด

คำชี้แจง : ให้ผู้ทดสอบประเมินตัวอย่าง และให้คะแนนความชอบของท่านในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โดยระดับคะแนน 1 – 7 ดังนี้

1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบปานกลาง 3 = ไม่ชอบเล็กน้อย 4 = เฉยๆ 5 = ชอบเล็กน้อย 6 = ชอบปานกลาง 7 = ชอบมากที่สุด

ลักษณะคุณภาพ	ตัวอย่าง			
	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
สี				
กลิ่น				
ลักษณะภายนอก				
เนื้อสัมผัส				
รสชาติ				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ

.....
.....

แบบทดสอบ Triangle test (First set)

รหัสการทดสอบ.....

วันที่.....

ชนิดตัวอย่าง เม็ดไข่มุก

ชื่อผู้ทดสอบ.....

กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ที่ ตัวอย่างคี่หรือตัวอย่างที่ท่านรู้สึกได้ว่าแตกต่างไปจากกลุ่ม

(รหัส).....

(รหัส).....

(รหัส).....

แบบทดสอบ Triangle test (Second set)

รหัสการทดสอบ.....

วันที่.....

ชนิดตัวอย่าง เม็ดไข่มุก

ชื่อผู้ทดสอบ.....

กรุณาใส่เครื่องหมาย ✓ ที่ ตัวอย่างคี่หรือตัวอย่างที่ท่านรู้สึกได้ว่าแตกต่างไปจากกลุ่ม

(รหัส).....

(รหัส).....

(รหัส).....

ตาราง Triangle test, difference analysis สำหรับการวิเคราะห์อาหารด้วยประสาทสัมผัส

Number of tasters	Number of correct answers necessary to establish level of significance			Number of tasters	Number of correct answers necessary to establish level of significance		
	*	**	***		*	**	***
	5%	1%	0.1%		5%	1%	0.1%
7	5	6	7	57	27	29	31
8	6	7	8	58	27	29	32
9	6	7	8	59	27	30	32
10	7	8	9	60	28	30	33
11	7	8	9	61	28	30	33
12	8	9	10	62	28	31	33
13	8	9	10	63	29	31	34
14	9	10	11	64	29	32	34
15	9	10	12	65	30	32	35
16	10	11	12	66	30	32	35
17	10	11	13	67	30	33	36
18	10	12	13	68	31	33	36
19	11	12	14	69	31	34	36
20	11	13	14	70	32	34	37
21	12	13	15	71	32	34	37
22	12	14	15	72	32	35	38
23	13	14	16	73	33	35	38
24	13	14	16	74	33	36	39
25	13	15	17	75	34	36	39
26	14	15	17	76	34	36	39
27	14	16	18	77	34	37	40
28	15	16	18	78	35	37	40
29	15	17	19	79	35	38	41
30	16	17	19	80	35	38	41
31	16	18	19	81	36	38	41
32	16	18	20	82	36	39	42
33	17	19	20	83	37	39	42
34	17	19	21	84	37	40	43
35	18	19	21	85	37	40	43
36	18	20	22	86	38	40	44
37	18	20	22	87	38	41	44
38	19	21	23	88	39	41	44
39	19	21	23	89	39	42	45
40	20	22	24	90	39	42	45
41	20	22	24	91	40	42	46
42	21	22	25	92	40	43	46
43	21	23	25	93	40	43	46
44	21	23	25	94	41	44	47
45	22	24	26	95	41	44	47
46	22	24	26	96	42	44	48
47	23	25	27	97	42	45	48
48	23	25	27	98	42	45	49
49	23	25	28	99	43	46	49
50	24	26	28	100	43	46	49
51	24	26	29	200	80	84	89
52	25	27	29	300	117	122	127
53	25	27	29	400	152	158	165
54	25	27	30	500	188	194	202
55	26	28	30	1000	363	372	383
56	26	28	31	2000	709	722	737

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายอรุณ วีระสกุลชัย
 ตำแหน่ง หัวหน้าโครงการ
 วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ)
 ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
 คณะ วิทยาศาสตร์
 มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 ปีที่สำเร็จการศึกษา 2563
 โทรศัพท์ 0878052269
 Email arun.werasakulchai@gmail.com



ชื่อ-สกุล นายชานน ลิขิตพงศธร
 ตำแหน่ง ผู้วิจัยร่วม
 วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ)
 ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
 คณะ วิทยาศาสตร์
 มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 ปีที่สำเร็จการศึกษา 2563
 โทรศัพท์ 0816234896
 Email Chanon.likits@gmail.com



ชื่อ-สกุล นางสาวสองฝัน บุญกอง
 ตำแหน่ง ผู้วิจัยร่วม
 วุฒิการศึกษา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ)
 ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
 คณะ วิทยาศาสตร์
 มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 ปีที่สำเร็จการศึกษา 2563
 โทรศัพท์ 0830123954
 Email 2funbk@gmail.com

