

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ “ไข่มุกข้าว” ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมเพื่อใช้ใน  
อาหารสำหรับผู้สูงอายุ

DEVELOPMENT OF “RICE PEARLS” BY SPHERIFICATION TECHNIQUE  
FOR THE USE IN ELDERY FOOD

ญาตาวิ ลิขิตสมบูรณ์  
YATAWEE LIKIDSOMBOON

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการและบริการอาหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-AI-M-055-280

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ “ไข่มุกข้าว” ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมเพื่อใช้ใน  
อาหารสำหรับผู้สูงอายุ

DEVELOPMENT OF “RICE PEARLS” BY SPHERIFICATION TECHNIQUE  
FOR THE USE IN ELDERY FOOD



T148013

ญาตาวิ ลิจิตสมบูรณ์

YATAWEE LIKIDSOMBOON

เลขหมู่..... 148013  
ลงทะเบียน.....  
วันเดือนปี 9 ต.ค. 2560

1286576x  
b.....  
l.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดและบริการอาหาร  
คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-AI-M-055-280

**DEVELOPMENT OF “RICE PEARLS” BY SPHERIFICATION  
TECHNIQUE FOR THE USE IN ELDERLY FOOD**

**YATAWEE LIKIDSOMBOON**

**THE THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF SCIENCE  
IN FOOD SERVICE AND CATERING TECHNOLOGY  
FACULTY OF AGRO-INDUSTRY  
KING MONGKUT’S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2017**

**KMITL-2017-AI-M-055-280**

**COPYRIGHT 2017**

**FACULTY OF AGRO-INDUSTRY**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

คณะอุตสาหกรรมเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การพัฒนาผลิตภัณฑ์ “ไข่มุกข้าว” ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมเพื่อใช้ในอาหารสำหรับผู้สูงอายุ  
DEVELOPMENT OF “RICE PEARLS” BY SPHERIFICATION TECHNIQUE FOR THE USE IN ELDERLY FOOD

ชื่อนักศึกษา      นางสาวญาตาวิ ลิขิตสมบุรณ์  
รหัสประจำตัว      57608029  
ปริญญา      วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา      เทคโนโลยีการจัดการและบริการอาหาร  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์      รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม -

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม	
ผศ.ดร.ยุพร พิษกมฺุทร	
ผศ.ดร.ธงชัย พุฒทองศิริ	
รศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์	

วัน / เดือน / ปีที่สอบ 14 กรกฎาคม 2560 เวลา 12.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง A 303 อาคารเจ้าคุณทหาร

คณะอุตสาหกรรมเกษตรรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม)

คณบดีคณะอุตสาหกรรมเกษตร

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....  
24 ก.ค. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ “ไข่มุกข้าว” ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมเพื่อใช้ในอาหารสำหรับผู้สูงอายุ
นักศึกษา	นางสาวญาตาวิ ลิขิตสมบุญ
รหัสประจำตัว	57608029
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีการจัดและบริการอาหาร
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรคม

### บทคัดย่อ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุให้มีความหลากหลาย และมีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมต่อผู้สูงอายุมีความสำคัญ และจำเป็นเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ “ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมเพื่อใช้ในอาหารสำหรับผู้สูงอายุ โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม และการเก็บรักษา รวมถึงการนำไปใช้ประโยชน์ในเมนูอาหารสำหรับผู้สูงอายุ ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวหุงสุก และน้ำในการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือ 1:4 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ด้วยการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ออกแบบการทดลองแบบ CCD คือร้อยละ 1.25 และร้อยละ 1.31 โดยน้ำหนักตามลำดับ ผลสมการทำนายไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้มีค่าความแข็ง 825.87 กรัม·แรง โดยใช้ระยะเวลาในการแช่น้ำที่ 8 ชั่วโมง เนื่องจากไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เกิดเป็นเจลสมบุญ และระดับของอินนูลินที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่คือ 5 กรัม ต่อปริมาณน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 50 กรัม การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส พบว่าไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถเก็บรักษาได้น้อย 15 วัน โดยไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ และการทดสอบการยอมรับเมื่อใช้ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบในเมนู “สเต็กปลากระพงเสิร์ฟคู่กับยำส้มโอไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” และเมนู “พุดคิงมะม่วงไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” พบว่าทั้ง 2 เมนูได้รับการยอมรับร้อยละ 100 และได้รับคะแนนเฉลี่ยความชอบในการทดสอบทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ “ชอบมาก-ชอบมากที่สุด” จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า “ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” สามารถเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวทางเลือกหนึ่งที่ใช้เป็นส่วนผสมสำหรับอาหารเพื่อผู้สูงอายุในธุรกิจบริการอาหารได้

<b>Thesis</b>	Development of “rice pearls” by spherification technique for the use in elderly food
<b>Student</b>	Miss. Yatawee Likidsomboon
<b>Student ID.</b>	57608029
<b>Degree</b>	Master of Science
<b>Program</b>	Food Service and Catering Technology
<b>Year</b>	2017
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc.Prof. Dr. Praphan Pinsirodom

### **ABSTRACT**

The development of food products suitable for aging population in terms of product variety and nutritional quality becomes more important to support the quality of life for the elders. The objective of this study was to develop “rice pearls” product from Riceberry rice using spherification technique and their use in the elderly foods. The suitable ratio of cooked rice and water to prepare the rice slurry was 1:4 by wt. The optimum concentration of sodium alginate and calcium chloride solution was evaluated using response surface methodology (RSM) with central composite design (CCD). The optimum concentrations were 1.25 and 1.31 % respectively with predicted response of the “rice pearl” hardness of 825.87g-force. In addition, complete gelation of “rice pearls” was observed at 8 hours of soaking time in water. The suitable amount of inulin addition in “rice pearl” was 5 g. in 50 g. rice slurry. Storage of the “rice pearls” sample in polyethylene box at 5 °C showed that the sample could be kept at least 15 days without the detection of total plate count. The “rice pearls” were then used as an ingredient in 2 menus preparation including “Grilled sea bass with rice pearls and spicy pomelo salad” and “Mango pudding with rice pearls”. The acceptance and sensory test of two menus was done by 10 panelists who have food knowledge. It was found that 100% acceptance and the preference sensory scores defined as “like very much” to “like the most” were given by the panelists for the two menus. Results indicate that “rice pearls” can be an alternative rice product used as the elderly food ingredient in food service business.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรของปริญญาโทของสาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดและบริการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร ผู้จัดทำขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รศ.ดร.ประพันธ์ ปิ่นศิริโรดม ที่กรุณาแนะนำและให้คำปรึกษา ตลอดจนการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณท่านกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ยุพร พิษกมูทร ผศ.ดร.ธงชัย พุฒทองศิริ และรศ.เยาวลักษณ์ สุรพันธ์พิศิษฐ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณองค์การตลาดเพื่อเกษตรกร (อ.ต.ก.) ที่กรุณาอนุญาตให้ใช้สถานที่ในการเก็บข้อมูลที่ทำการศึกษา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิค และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้ช่วยเหลืองานวิจัยนี้

ขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อนทุกคน ที่เป็นกำลังใจ และคอยให้คำแนะนำช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัยนี้จนสำเร็จ

ขอขอบคุณผู้เขียน และสำนักพิมพ์ของเอกสารที่ผู้จัดทำได้ใช้ในการอ้างอิงเป็นอย่างสูง ประโยชน์ที่ได้อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน งานวิจัยนี้คงไม่อาจสำเร็จได้ หากปราศจากความช่วยเหลือของผู้มีพระคุณทั้งหลาย

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจอ่านทุกท่าน และหากมีข้อบกพร่องต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้น ผู้จัดทำต้องขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย และยินดีรับคำติชมทุกประการ

ญาดาวิ ลีจิตสมบูรณ์

ผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ข้าวกล้อง	4
2.2 ข้าวไรซ์เบอร์รี่	5
2.3 การขึ้นรูปทรงกลม (spherification technique)	8
2.4 อัลจีเนต (alginate)	11
2.5 ประโยชน์ของแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) ในอาหาร	13
2.6 อินนูลิน	14
2.7 วิธีการพื้นที่ผิวตอบสนอง (response surface methodology: RSM)	15
2.8 การออกแบบการทดลอง Central Composite Design (CCD)	16
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ	20
3.1 วัตถุดิบ	20
3.2 สารเคมี	20
3.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์	20
3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย	21

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่	21
3.4.1.1 กระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	21
3.4.1.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวหุงสุก และน้ำสำหรับการเตรียม น้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่	24
3.4.1.3 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจินต และแคลเซียมคลอไรด์โดยใช้การทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (response surface methodology)	25
3.4.1.4 ศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อการเกิดเจลของ “ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่”	26
3.4.2 ศึกษาการเสริมอินนูลินในผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	27
3.4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระหว่างการเก็บรักษา	28
3.4.4 ศึกษาการยอมรับเมนูอาหารคาว และหวาน เมื่อใช้ไข่มุกข้าวเป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารผู้สูงอายุ	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	30
4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าว จากข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยวิธีการขึ้นรูปทรงกลม	30
4.1.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวหุงสุก และน้ำสำหรับการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่	30
4.1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจินต และแคลเซียมคลอไรด์โดยใช้การทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (response surface methodology)	34
4.1.3 ผลการศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อการเกิดเจลของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	36
4.2 ผลการศึกษาการเสริมอินนูลินในผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระหว่างการผลิต	41
4.4 ผลการศึกษาการยอมรับเมนูอาหารคาว และหวาน เมื่อใช้ไข่มุกข้าวเป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารผู้สูงอายุ	43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	53
ก. ตารางผลการทดลอง	54
ข. การวิเคราะห์ทางเคมี	55
ค. การวิเคราะห์ทางกายภาพ	57
ง. การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์	59
จ. แบบประเมินทางคุณภาพประสาทสัมผัส	60
ฉ. เมนูอาหารที่ประยุกต์ใช้ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	65
ช. ภาพกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	69
ซ. ภาพลักษณะด้านในของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	71
ประวัติผู้วิจัย	72

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะประจำพันธุ์ ของข้าวไรซ์เบอร์รี่	5
2.2	คุณสมบัติทางโภชนาการของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่	6
2.3	การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD)	16
2.4	มาตรฐานของค่า Desirability ที่สัมพันธ์กับระดับความพึงพอใจและคุณภาพของผลิตภัณฑ์	17
3.1	สถานะที่ใช้ในการทดลอง เมื่อวางแผนการทดลองโดยวิธีพื้นที่ผิว ตอบสนอง (RSM) และ (CCD)	26
4.1	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ของ ไข่มุกข้าว ไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อ ใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่แตกต่างกัน	33
4.2	การออกแบบการทดลองแบบ Central composite design และค่าตอบสนอง ของปัจจัย	34
4.3	ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าตอบสนองปัจจัย	35
4.4	สมการที่ทำนายจากการใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนองของแต่ละปัจจัย	36
4.5	ผลการทำนายสถานะที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ในการเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	36
4.6	ผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อสมบัติทางกายภาพด้านน้ำหนัก และขนาด ของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	37
4.7	ผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อสมบัติทางกายภาพด้านสีของไข่มุกข้าว ไรซ์เบอร์รี่	37
4.8	ผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งของ ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	38
4.9	ค่าเฉลี่ยความแตกต่างด้วยวิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างกับตัวอย่างควบคุม ของปัจจัยคุณภาพผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมอินนูลินในอัตรา ส่วนที่แตกต่างกัน	40
4.10	ค่าความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาแตก ต่างกัน	42
4.11	ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ ทั้งหมดของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาแตกต่างกัน	42

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.12	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ และการยอมรับต่อเมนู “ปลากะพง เสิร์ฟคู่กับ ยำส้มโอ ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่”	46
4.13	ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ และการยอมรับต่อเมนู “พุดดิ้งมะม่วง ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่”	46
ก.1	ลักษณะทางกายภาพด้านน้ำหนัก ขนาด และเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของ ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่ แตกต่างกัน	54
ก.2	ลักษณะทางกายภาพด้านสีของ ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้ อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่แตกต่างกัน	54

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ส่วนประกอบของข้าวกล้อง และข้าวสาร	4
2.2	เมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่	7
2.3	โครงสร้างการเกิดเจลของ Basic Spherification และ Reverse Spherification	9
2.4	คาเวียร์แคนตาลูปด้วยวิธี basic spherification	10
2.5	Mojito Spherification ด้วยวิธี reverse spherification	10
2.6	โซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate)	11
2.7	โครงสร้างของอัลจิเนต (alginate)	12
2.8	กลไกการเกิดเจลของ calcium alginate (egg-box model)	12
2.9	แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride)	14
2.10	โครงสร้างของอินนูลิน	15
3.1	ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้จากการทดลอง (ก)	22
3.2	ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้จากการทดลอง (ข)	22
3.3	ขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	23
3.4	ขั้นตอนการเสริมอินนูลินในการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่	28
4.1	น้ำหนักของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่ แตกต่างกัน	30
4.2	ขนาดของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่ แตกต่างกัน	31
4.3	ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของ ข้าวหุงสุก และน้ำที่ แตกต่างกัน	31
4.4	ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าว หุงสุก และน้ำที่ แตกต่างกัน	31
4.5	ค่าสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) ของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าว หุงสุก และน้ำที่ แตกต่างกัน	32

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.6	ค่าความแข็งของ ไช้่มุกข้าวไร้ช้เบอรรี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วน ของข้าวหุงสุก และน้ำที่แตกต่างกัน	32
4.7	ลักษณะค่านโนนของ ไช้่มุกข้าวไร้ช้เบอรรี่ที่เกิดเจลสมบูรณ้	39
4.8	ข้อมูลทั่วไปด้านเพศของผู้ทดสอบ	44
4.9	ข้อมูลทั่วไปด้านอายุของผู้ทดสอบ	44
4.10	ข้อมูลทั่วไปด้านคุณวุฒิการศึกษาของผู้ทดสอบ	45
4.11	ข้อมูลทั่วไปด้านอาชีพของผู้ทดสอบ	45
ค.1	การวัดสีของ ไช้่มุกข้าวไร้ช้เบอรรี่	57
ค.2	การวัดเนื้อสัมผัสของ ไช้่มุกข้าวไร้ช้เบอรรี่	58
ฉ.1	สเติ้กปลากระพง เสริ้ฟคู่กับ ยำส้มโอ ไช้่มุกข้าวไร้ช้เบอรรี่	66
ฉ.2	เมนู “ทุคคั้งมะม่วง ไช้่มุกข้าวไร้ช้เบอรรี่”	68

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

ข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรไทย และหลายประเทศทั่วโลก ในประเทศไทยมีข้าวหลากหลายสายพันธุ์ โดยเฉพาะข้าวกล้องที่ถือเป็นข้าวเพื่อสุขภาพแบ่งได้หลายชนิด ได้แก่ ข้าวหอมมะลิแดง ข้าวสีนิล ข้าวมันปู ข้าวไรซ์เบอร์รี่ เป็นต้น โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่ถือเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงชนิดหนึ่ง

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (riceberry rice) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L เป็นพันธุ์ข้าวสีที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย ซึ่งได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิลกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีสีม่วงเข้มคล้ายกับผลเบอร์รี่ รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ผิวของเปลือกข้าว และเนื้อข้าวมีสารโพลีฟีนอล (polyphenol) และมีสารอาหารสูงกว่าข้าวกล้องหอมมะลิทั่วไป เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร (fiber) วิตามิน แร่ธาตุ สารแอนโทไซยานิน (anthocyanins) ที่มีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ สามารถช่วยยับยั้งการเจริญของเซลล์มะเร็ง ป้องกันโรคเบาหวาน โรคหัวใจ ลดโคเลสเตอรอล และช่วยยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด (นิตดา, 2552)

ประเทศไทยในปีพ.ศ. 2558 มีประชากรที่เป็นผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้นจากปี พ.ศ. 2553 ถึงร้อยละ 2.6 (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2558) และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้ประเทศไทยกำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุภายในไม่กี่ปีข้างหน้า การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์จากข้าวให้มีความหลากหลาย และมีคุณค่าทางโภชนาการที่เหมาะสมกับผู้สูงอายุจึงมีความสำคัญ และจำเป็นเพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

การขึ้นรูปทรงกลม (spherification) เป็นเทคนิคหนึ่งของโมเลกุลาร์แกสโตรโนมี (Molecular gastronomy) เป็นการปรับเปลี่ยนอาหารที่มีสถานะเป็นของเหลวให้กลายเป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ในลักษณะเป็นเม็ดเจลทรงกลมที่มีขนาดเล็กคล้ายไข่ปลา หรือทรงกลมขนาดใหญ่คล้ายไข่มุก โดยอาศัยการกระบวนเกิดเจลของสารไฮโดรคอลลอยด์อัลจินต ในสภาพที่มีเกลือแคลเซียม เจลที่ได้จึงมีความกรอบ และแน่น โดยสามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิห้อง เจลที่ได้จะสมบูรณ์มากขึ้นเมื่อแช่น้ำ และเก็บไว้ที่อุณหภูมิเย็น (Herrera และคณะ, 2012) การนำเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมมาประยุกต์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวให้มีลักษณะทางกายภาพที่หลากหลาย และเหมาะสมกับอาหารผู้สูงอายุ เป็นแนวทางที่น่าสนใจ นอกจากนี้การเสริมสารอาหารที่จำเป็นต่อโภชนาการของผู้สูงอายุ ก็เป็นวิธีที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสมกับผู้สูงอายุมากขึ้น

อินนูลิน (inulin) เป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่มีโมเลกุลของฟรุกโตสต่อเชื่อมเป็นสายโซ่ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) หรือใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ ไม่ถูกย่อยในทางเดินอาหารผ่านไปถึงลำไส้ใหญ่ และถูกนำไปใช้โดยแบคทีเรียที่มีประโยชน์ หรือโพรไบโอติก (probiotic) ซึ่งช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นโทษ ดังนั้นอินนูลินจึงนับได้ว่าเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ สามารถช่วยป้องกันโรคมะเร็งลำไส้ ช่วยการดูดซึมสารอาหาร ดูดซึมแคลเซียม และการสังเคราะห์วิตามิน (รัชนี, 2560) เนื่องจากอินนูลินไม่ถูกย่อยในทางเดินอาหารจึงไม่ให้อพลังงาน ช่วยลดการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่กระแสเลือด ช่วยลดระดับคอเรสเตอรอล (cholesterol) เพิ่มปริมาณ HDL และลดระดับปริมาณ LDL จึงถือได้ว่าอินนูลินเป็นเส้นใยอาหารที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (functional food) (2556) สามารถใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประกอบอาหารเพื่อสุขภาพได้ โดยเฉพาะกับบุคคลที่รักสุขภาพ ผู้ที่ต้องการควบคุมน้ำหนัก หรือผู้ที่มีปัญหาระบบขับถ่าย ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับผู้สูงอายุ

ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่สำหรับผู้สูงอายุด้วยเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม (spherification) ศึกษาการเสริมอินนูลิน (inulin) ลงในผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระหว่างการเก็บรักษา รวมถึงศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยประยุกต์ในอาหารสำหรับผู้สูงอายุทั้งคาว และหวาน เพื่อให้เกิดรูปแบบการนำเสนออาหารที่ทันสมัยยิ่งขึ้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ “ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” สามารถเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวทางเลือกชนิดหนึ่งที่สามารถสร้างความแปลกใหม่ให้กับผู้บริโภค ทำให้อาหารมีความน่าสนใจมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังมีคุณค่าทางอาหารที่เหมาะสมสำหรับผู้สูงอายุอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยวิธีการขึ้นรูปทรงกลม

1.2.2 เพื่อศึกษาการเสริมอินนูลินในผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

1.2.3 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระหว่างการเก็บรักษา

1.2.4 เพื่อศึกษาการยอมรับเมนูอาหารคาว และหวาน เมื่อใช้ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารผู้สูงอายุ

### 1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.3.1 ทราบวิธีการ ความเข้มข้นที่เหมาะสมของข้าวหุงสุกและน้ำสำหรับการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่

1.3.2 ทราบความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ ในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

1.3.3 ทราบปริมาณที่เหมาะสมของอินนูลินในการเสริมลงในผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

1.3.4 ทราบระยะเวลาในการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

1.3.5 ทราบว่าผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ได้รับการยอมรับจากผู้สูงอายุหรือไม่เมื่อนำไปประยุกต์ในอาหารสำหรับผู้สูงอายุทั้งคาว และหวาน

### 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

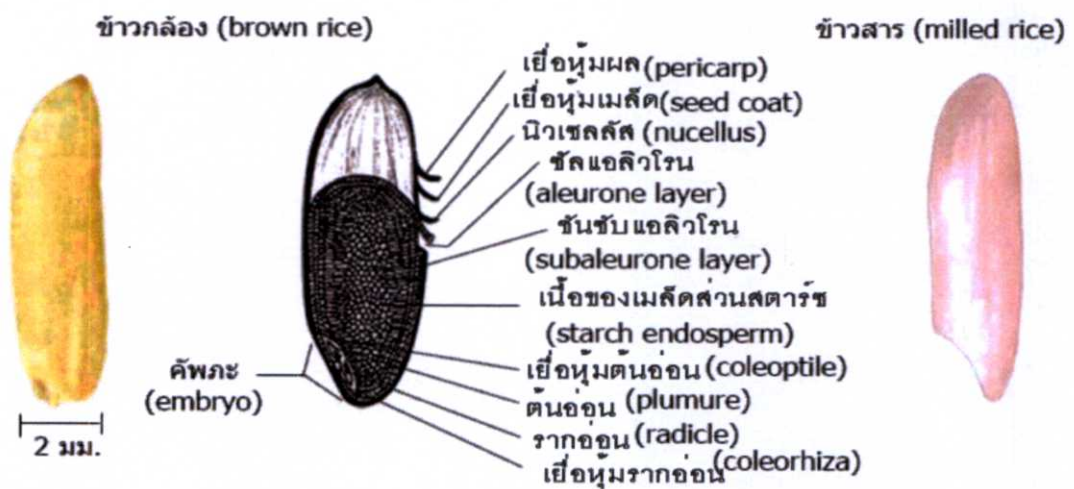
งานวิจัยนี้มีแนวคิดในการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม เพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ ที่เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้บริโภค และมีเป้าหมายในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของข้าวหุงสุก และน้ำสำหรับการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ ความเข้มข้นที่เหมาะสมของโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ ศึกษาการเสริมอินนูลิน (inulin) ในผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในระหว่างการเก็บรักษา รวมถึงศึกษาการยอมรับผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยประยุกต์ในอาหารสำหรับผู้สูงอายุ ได้แก่ อาหารคาว 1 เมนู และอาหารหวาน 1 เมนู

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ข้าวกล้อง

“ข้าวกล้อง” คือ ข้าวสีน้ำตาลขุ่นที่ได้จากการสีข้าวเพียงครั้งเดียว เพียงแค่ให้เปลือก (แกลบ) หลุดออก ส่วนที่เหลือเป็นเนื้อหรือเมล็ดข้าวสาร ที่ยังมีจมูกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) ข้าวขาวที่เรากินกันอยู่เป็นข้าวที่ได้จากการสีหลายๆ ครั้ง ถึง 7 ครั้ง จนจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวหลุดออกไปด้วย จึงเหลือแต่เมล็ดข้าวสีขาวสวย ซึ่งเป็นเพียงแป้งที่ให้แต่พลังงานเท่านั้น ปราศจากคุณค่าทางอาหารอื่นๆ โดยข้าวกล้องมีคุณค่าทางอาหารที่มีประโยชน์ยิ่ง เพราะครบถ้วนด้วยส่วนประกอบของจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ด อันเป็นส่วนที่จะเจริญเติบโตเป็นต้น ข้าว อุดมด้วยวิตามินบี วิตามินอี ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระตัวสำคัญ เยื่อหุ้มเมล็ดจะมีเส้นใยอาหารที่ดีสูง ทางวงการแพทย์พบว่า เส้นใยเหล่านี้ มีส่วนช่วยป้องกันมะเร็งลำไส้ใหญ่และกระเพาะอาหาร ยังมีส่วนช่วยป้องกันไขมันชนิดอิมตัวถูกดูดซึมเข้าสู่กระเพาะอาหารอีกด้วย (บรรจบ ชุณหสวัตติกุล, 2553)



ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของข้าวกล้อง และข้าวสาร

ที่มา : กรมการข้าว (มปป)

## 2.2 ข้าวไรซ์เบอร์รี่

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ (riceberry rice) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *oryza sativa* L. เป็นพันธุ์ข้าวสีที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย ซึ่งได้จากการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวเจ้าหอมนิล (พันธุ์ฟ่อ) กับข้าวขาวดอกมะลิ 105 (พันธุ์แม่) โดยเริ่มผสมพันธุ์เมื่อปี พ.ศ.2545 เป็นผลงานปรับปรุงพันธุ์ของ รศ.ดร. อภิชาติ วรณวิจิตร และคณะ ณ ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าวมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2557) โดยข้าวไรซ์เบอร์รี่ มีลักษณะประจำพันธุ์ (characteristics) แสดงดังตารางที่ 2.1 เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีรสชาติหวาน จึงทำให้หิ้ง่าย รับประทานได้ไม่นาน แต่คุ้มค่าอย่างยิ่งในการรับประทาน ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีวิธีการหุง และลักษณะข้าวสวยจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ ดังนี้

2.2.1 วิธีการหุงข้าวไรซ์เบอร์รี่คือ ตวงข้าวสาร 1 ส่วนชากับน้ำ 1 ครั้งอย่างรวดเร็วในหม้อหุงข้าวไฟฟ้า ใส่น้ำ 2 ส่วนหุงจนข้าวสุก

2.2.2 ลักษณะข้าวสวยจากข้าวไรซ์เบอร์รี่คือ เมล็ดข้าวจะสุกบาน และไม่บานผสมกัน มีเนื้อสัมผัสนุ่ม และมีกลิ่นหอม (นิคดา, 2552)

### ตารางที่ 2.1 ลักษณะประจำพันธุ์ ของข้าวไรซ์เบอร์รี่

คุณลักษณะ	จำนวน	หน่วย
ความสูง (plant height)	105-110	ซม.
อายุเก็บเกี่ยว (day of maturity)	130	วัน
ผลผลิต (yield)	300-500	กก. / ไร่
% ข้าวกล้อง (brown rice)	76	%
% ต้นข้าวหรือข้าวเต็มเมล็ด (head rice)	50	%
ปริมาณ (amylose )	15.6	%
อุณหภูมิแป้งสุก (gel temperature )	< 70	°C
ความยาวของเมล็ดข้าวเปลือก (paddy rice )	11	ม.ม.
ความยาวของเมล็ดข้าวกล้อง (brown rice)	7.5	ม.ม.
ความยาวของเมล็ดข้าวขัด ( polished rice)	7.0	ม.ม.

ที่มา: ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (มปป)

## ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางโภชนาการของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่

คุณสมบัติ		
ธาตุเหล็ก	13-18	มิลลิกรัม / กิโลกรัม
ธาตุสังกะสี	31.9	มิลลิกรัม / กิโลกรัม
โอเมก้า 3	25.51	มิลลิกรัม / 100 กรัม
วิตามิน อี	678	ไมโครกรัม / 100 กรัม
โฟเลต	48.1	ไมโครกรัม / 100 กรัม
เบต้าแคโรทีน	63	ไมโครกรัม / 100 กรัม
โพลีฟีนอล	113.5	มิลลิกรัม / 100 กรัม
แทนนิน	89.33	มิลลิกรัม / 100 กรัม
แกมมา-โอไรซานอล	462	ไมโครกรัม / 100 กรัม
สารต้านอนุมูลอิสระ		
- ชนิดละลายในน้ำ	47.5	มิลลิกรัม ascorbic acid equivalent / 100 กรัม
- ชนิดละลายในน้ำมัน	33.4	มิลลิกรัม trolox equivalent / 100 กรัม

ที่มา: ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน (มปป)

ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นธัญพืชสีม่วงเข้มอีกชนิดหนึ่งที่มีเมล็ดสีในข้าวสูงมาก คล้ายกับผลเบอร์รี่ทั้งหลายที่ให้สีม่วงเข้ม ข้าวไรซ์เบอร์รี่มีอีกชื่อหนึ่งว่าข้าวกล้องข้าวดำ มีคุณค่าทางอาหารสูง มีเส้นใยแบบละลายน้ำได้ดี จึงถือเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางอาหารสูง สีผิวของเปลือกข้าว และเนื้อข้าวมีสารฟีนอล (fenol) มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระโดยตรง เนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวพันธุ์ผสมระหว่างข้าวหอมนิลกับข้าวดอกมะลิจึงทำให้มีคุณสมบัติเฉพาะที่มีความโดดเด่น โดยมีคุณประโยชน์ และสารอาหารคล้ายกับข้าวหอมนิล แต่มีความหอม และเนื้อสัมผัสนุ่มมากกว่าซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะที่ได้จากข้าวหอมมะลิ และมีสารอาหารมากกว่าข้าวกล้องหอมมะลิทั่วไป สารอาหารสำคัญที่อยู่ในข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ ประกอบด้วยโอเมก้า 3 มีอยู่ 25.51 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม กรดไขมันจำเป็น มีบทบาทสำคัญต่อโครงสร้างและการทำงานของสมอง ตับและระบบประสาท ลดระดับคอเลสเตอรอล ธาตุสังกะสี 31.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ช่วยสังเคราะห์โปรตีน สร้างคอลลาเจน รักษาผิว ป้องกันผมร่วง กระตุ้นรากผม, ธาตุเหล็ก 13-18 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม สร้างและจ่ายพลังงานในร่างกาย เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของฮีโมโกลบินในเม็ดเลือดแดง คุณสมบัติทางโภชนาการของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่ดังตารางที่ 2.2 สำหรับประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระที่พบในข้าวไรซ์เบอร์รี่ ซึ่งมีสีม่วงเข้มมากตามธรรมชาติ อยู่ที่ 229 - 304.7 umole/g การศึกษานี้ทำด้วยวิธี ORAC (oxygen radical absorbance capacity) เรียกได้ว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลไม้หรือเครื่องดื่มชาเขียวที่ได้รับการยกย่องในด้าน

สรรพคุณที่ช่วยต้านสารอนุมูลอิสระแล้ว ในข้าวชนิดนี้มีคุณค่าในการป้องกันสูงมาก เกือบ 100 เท่า (ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และสรรพคุณเพื่อสุขภาพ, 2560) มีสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญคือ สารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) และแกมมา-ออริซานอล (gamma-oryzanol) ช่วยป้องกัน โรคเบาหวาน โรคหัวใจ ลดโคเลสเตอรอล ยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งกระเพาะอาหาร และสามารถยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด

### 2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของ ข้าวไรซ์เบอร์รี่

องค์ประกอบทางเคมีในส่วนต่าง ๆ ของ ข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่าอุดมด้วยโทคอลฟีโนล (tocolphenol) และ โทโคไตรีโนล (tocotrienols) เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบต่าง ๆ ในรำข้าว แกลบ ข้าวกล้องและข้าวขาว พบว่ารำข้าวมี ปริมาณแกมมา-ออริซานอล (gamma-oryzanol) และโทโคฟีรอล (tocopherols) สูงที่สุด ในขณะที่แกลบมีกรดฟีโนลิก (phenolic acids) พิกูมาริก (p-coumaric) และวานิลลิก (vanillic) สูงที่สุด (โยธกา ปรัชชา และ สาโรจน์ ศิริศันสนียกุล, 2555)



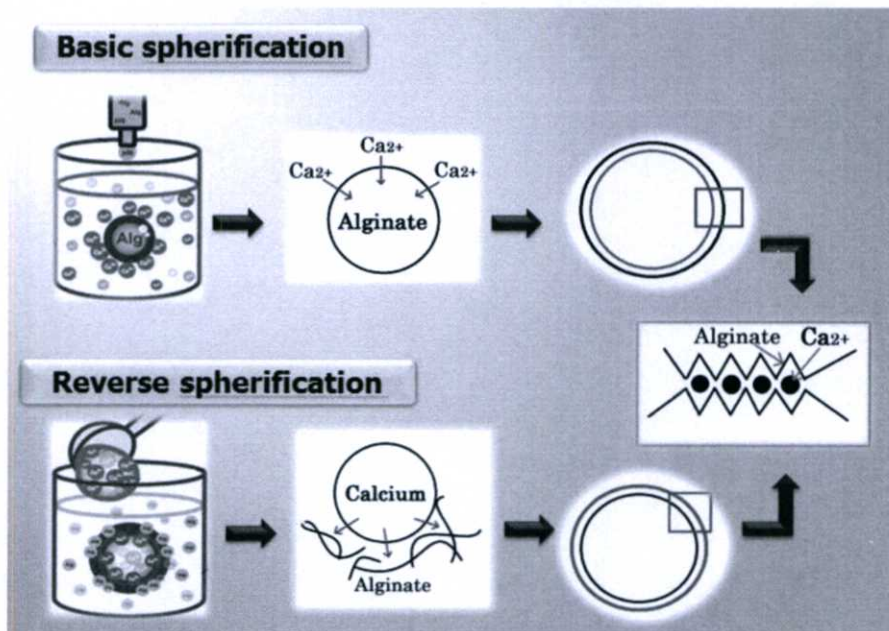
ภาพที่ 2.2 เมล็ดข้าวไรซ์เบอร์รี่

จากคุณประโยชน์ที่กล่าวมา จึงสรุปได้ว่า ข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นข้าวที่เหมาะสมกับคนทุกเพศทุกวัย โดยเฉพาะในวัยผู้สูงอายุเนื่องจากข้าวไรซ์เบอร์รี่มีสารอาหารที่ช่วยบำรุงร่างกาย เสริมสร้างประสิทธิภาพในการไหลเวียนของเลือด ชะลอความแก่ บำรุงสายตาและระบบประสาท นอกจากนี้ผู้ที่ เป็นโรคเบาหวาน และผู้ที่ควบคุมน้ำหนักก็สามารถรับประทานข้าวไรซ์เบอร์รี่ได้ ช่วยในการควบคุมน้ำตาลเพราะมีดัชนีน้ำตาลที่ต่ำกว่าข้าวทั่วไป และหากหากรับประทานข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นประจำ จะช่วยให้ร่างกายได้รับสารอาหาร โดยเฉพาะธาตุเหล็ก ช่วยในการบำรุงโลหิต และบำรุงร่างกายให้แข็งแรง ทั้งยังมีปริมาณโฟเลตที่เหมาะสมสำหรับสตรีมีครรภ์อีกด้วย (ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และสรรพคุณเพื่อสุขภาพ, 2560)

### 2.3 การขึ้นรูปทรงกลม (spherification technique)

การขึ้นรูปทรงกลม (spherification) คือกระบวนการห่อหุ้มของเหลวให้อยู่ในรูปแบบของเจลทรงกลม ซึ่งเป็นเทคนิคที่น่าทึ่งที่สุดในร้านอาหารสมัยใหม่ (modernist cuisine) เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้มีลักษณะปรากฏที่นึกแฉไปจากเดิม ยกตัวอย่างเช่น มีลักษณะเป็นทรงกลมเล็กๆคล้ายไข่ปลา คาเวียร์ ขณะที่เมื่อเป็นทรงกลมใหญ่จะคล้ายกับลูกแก้ว หรือสิ่งของอื่นๆที่ไม่ใช่อาหาร

การขึ้นรูปทรงกลมถูกใช้ครั้งแรกสำหรับเสิร์ฟเมื่อคำที่ภัตตาคาร El Bulli ในปีค.ศ. 2003 โดยเชฟ Ferran Adrià ซึ่ง Spherification เป็นกระบวนการเกิดเจลที่เกิดขึ้นเมื่อสารไฮโดรคอลลอยด์ เช่น อัลจิเนต ทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไอออน โดยปกติเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมจะผสมอัลจิเนตเข้ากับอาหารที่ไม่มีแคลเซียมในนั้น จากนั้นจึงหยดลงในสารละลายแคลเซียม (นิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์ หรือ แคลเซียมแลคเตต) บริเวณพื้นผิวของทรงกลมจะเริ่มเกิดเจล จากนั้นตัดเจลทรงกลมที่ได้ ออกจากอ่างสารละลายแคลเซียมอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ได้เจลทรงกลมที่ยังคงมีของเหลวด้านใน หรือแช่ในสารละลายแคลเซียมนานขึ้นจะได้เจลทรงกลมที่มีลักษณะเป็นของแข็งทั้งลูก (the cooking lab, 2011) สารที่ทำให้เกิดเจลสามารถทนความร้อนได้ก่อนที่จะละลาย ซึ่งเจลทรงกลมที่เตรียมได้ก็สามารถทนความร้อนได้เช่นกัน ดังนั้นเจลทรงกลมที่ได้จึงสามารถใช้เสิร์ฟในอาหารร้อนเช่น ซุป เป็นต้น (logsdon, 2015) โดยเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมถูกแบ่งออกเป็น 2 วิธีหลักๆ ได้แก่ Basic Spherification (direct spherification) และ Reverse Spherification ซึ่งทั้ง 2 วิธี ดังนี้



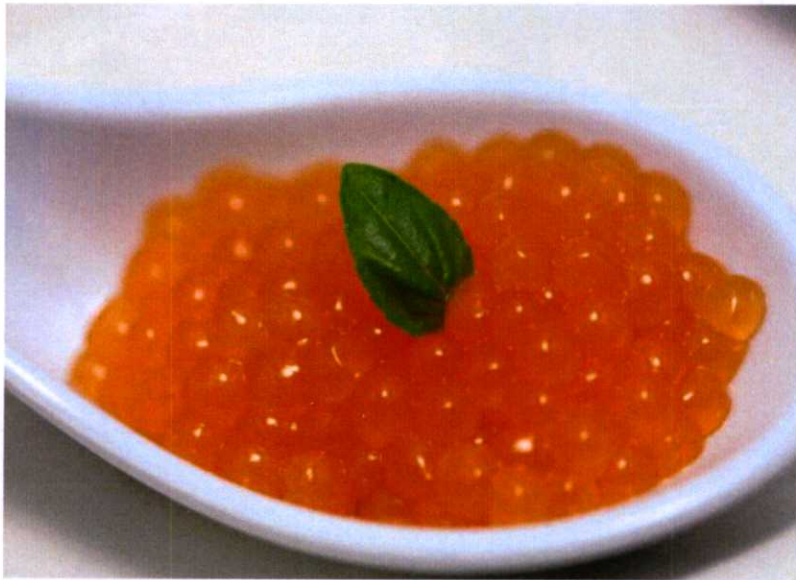
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างการเกิดเจลของ Basic Spherification และ Reverse Spherification  
ที่มา: (ดัดแปลงมาจาก nerdygummy, ม.ป.ป. และ Jozef\_a, 2012)

### 2.3.1 การขึ้นรูปทรงกลมแบบพื้นฐาน (basic spherification)

วิธีการขึ้นรูปทรงกลมแบบพื้นฐาน ทำได้โดยการผสมสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agent) ซึ่งในเทคนิคนี้นิยมใช้โซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate) เข้ากับอาหารเหลวที่ต้องการ และเตรียมภาชนะที่บรรจุส่วนผสมของสารละลายเกลือแคลเซียมไว้ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ หรือ แคลเซียมแลคเตต จากนั้นทำการขึ้นรูปทรงกลมโดยการ บรรจุส่วนผสมที่มี (gelling agent) ลงในช้อน แล้วจุ่มลงในสารละลายเกลือแคลเซียม หรือใช้วิธีหยดโดยใช้กระบอกฉีดยา (syringe) ได้เช่นกัน ขณะนั้นกระบวนการเกิดเจลจะเริ่มเกิดจากภายนอกของทรงกลม และค่อยๆ เข้าสู่ภายใน วิธีนี้จะได้เจลทรงกลมที่มีของเหลวอยู่ด้านใน และเมื่อแช่ต่อในสารละลายเกลือแคลเซียม กระบวนการเกิดเจลจะดำเนินต่อจนกระทั่งเจลทรงกลมเป็นของแข็งทั้งหมด

### 2.3.2 การขึ้นรูปทรงกลมแบบย้อนกลับ (reverse spherification)

วิธีการขึ้นรูปทรงกลมแบบย้อนกลับ จะทำตรงกันข้ามกับวิธีพื้นฐาน คือผสมอาหารเหลวเข้ากับแคลเซียม และแช่ลงในสารละลายอัลจิเนต ซึ่งวิธีนี้กระบวนการเกิดเจลจะเกิดขึ้นภายนอกทรงกลม เนื่องจากแคลเซียมไอออนจะกระจายสู่ภายนอก และโมเลกุลของอัลจิเนตไม่สามารถซึมเข้าสู่ภายในเจลทรงกลมได้ โดยสามารถหยุดกระบวนการเกิดเจลได้โดยการตักเจลทรงกลมออกจากสารละลายอัลจิเนต



ภาพที่ 2.4 คาเวียร์แกนตาถูปด้วยวิธี basic spherification

ที่มา: Nguyen (2011)



ภาพที่ 2.5 Mojito Spherification ด้วยวิธี reverse spherification

ที่มา: Anonymous (2014)

## 2.4 อัลจิเนต (alginate)

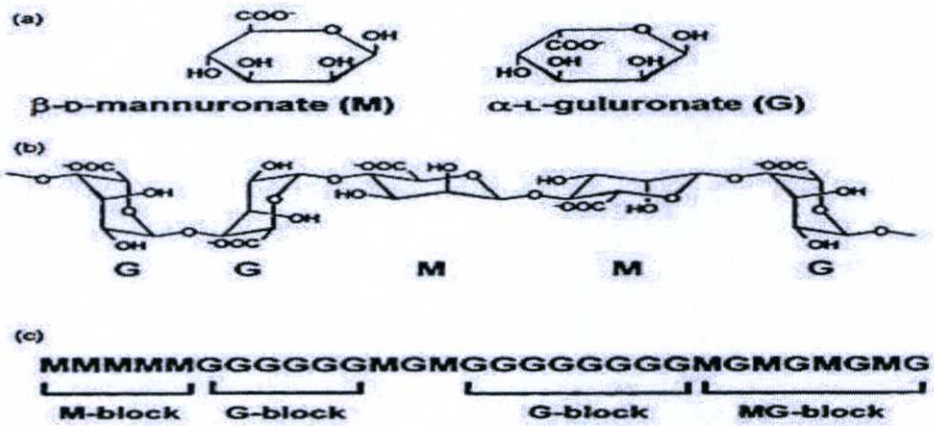
อัลจิเนตเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) จากธรรมชาติที่มีส่วนประกอบ คือ กรดกลูโรนิค และกรดแมนนูโรนิค พบได้มากในสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (phaeophyceae) สาหร่ายเหล่านี้พบได้ทั่วยุโรปในโลกร โดยประเทศที่มีการผลิตอัลจิเนตมาก คือ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ฝรั่งเศส สเปน นอร์เวย์ แคนาดา และญี่ปุ่น ขั้นตอนการสกัดอัลจิเนตจากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาลนั้นไม่ซับซ้อน เริ่มจากการสกัดสาหร่ายด้วยกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid) นำไปล้าง และกรอง ทำให้เป็นกลางด้วยด่าง จากนั้นตกตะกอน โซเดียมอัลจิเนตด้วยแอลกอฮอล์ อัลจิเนตมีสมบัติเกาะติดเชื่อมเมื่อสามารถเข้าได้กับร่างกาย และมีความเป็นพิษต่ำ อัลจิเนตละลายในตัวกลางน้ำที่มีสภาวะความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่เป็นกลาง และสามารถก่อเจลได้อย่างรวดเร็วกับสารที่มีประจุสองบวกเช่น  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  และ  $\text{Zn}^{2+}$  เมื่ออยู่ในสภาวะ ความเป็นกรด-ด่างที่มีค่ามากกว่า 6 โดยปฏิกิริยาก่อนเจล (ionic gelation) นี้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการเตรียมไมโครแคปซูลหรือเจลที่มีความหนืดสูง (กัมปนาท และ ธนิกานต์, 2556)



ภาพที่ 2.6 โซเดียมอัลจิเนต (sodium alginate)

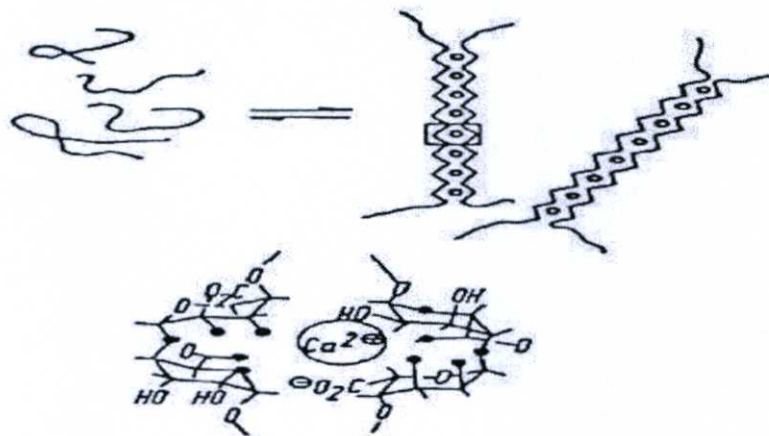
อัลจิเนตเป็นโพลีเมอร์ผสมชนิดสายตรง (unbranched binary copolymer) ของกรดแมนนูโรนิค (1,4- $\beta$ -D-manuronic acid, M) และกรดกลูโรนิค (L-guluronic acid, G) ในโมเลกุลประกอบด้วย homopolymeric regions ของ G และ M ที่เรียกว่า G- และ M-blocks ตามลำดับและยังมีบางส่วนของโมเลกุลเป็น MG-blocks แสดงดังภาพที่ 2.7 สัดส่วนของ copolymer และโครงสร้างเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดสมบัติของอัลจิเนต เช่น ถ้าโพลีเมอร์มี G ในปริมาณที่สูงจะมี สมบัติเป็นเจลที่แข็งที่ความเข้มข้นของโลหะประจุบวกเฉพาะ (polyvalent metal cation) แต่ถ้าโพลีเมอร์มี M ปริมาณสูง จะมีแนวโน้มที่จะเกิดเจลที่อ่อนนุ่ม และมีสภาวะในการเกิดเจลที่กว้างกว่า อัลจิเนตไม่ทุกชนิดมีคุณสมบัติเป็นเจล และจะเกิดเจลได้เมื่อทำปฏิกิริยากับ  $\text{Ca}^{2+}$  โครงสร้างของเจลมีลักษณะคล้าย

กล่องไข่ (egg box) โดยมี  $\text{Ca}^{2+}$  เกาะอยู่กับสายโพลิเมอร์ดังภาพที่ 2.8 คุณสมบัติที่ดีของอัลจินเนตคือ ทำให้เกิด Irreversible gel ในน้ำเย็นเมื่อมี  $\text{Ca}^{2+}$  รวมอยู่ด้วย ซึ่งคุณสมบัติในการเกิดเจลที่อุณหภูมิ ต่ำนี้ทำให้อัลจินเนต แตกต่างจากไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากสาหร่ายสีแดง (คุชฎี อุตภาพ, 2559) ในทางการค้าจะพบอัลจินเนตในหลายอนุพันธ์ ซึ่งมีสมบัติในการละลายได้ในน้ำแตกต่างกัน เช่นอนุพันธ์ของเกลือโซเดียม โพแทสเซียม แอมโมเนียม และโพรพิลีนไกลคอลเอสเทอร์ เช่น โพรพิลีนไกลคอลอัลจินเนต



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของอัลจินเนต (alginate)

ที่มา : สวามินี และปฎิยุทธ์ (2558)



ภาพที่ 2.8 กลไกการเกิดเจลของ calcium alginate (egg-box model)

ที่มา : คุชฎี อุตภาพ (2559)

### 2.4.1 ประโยชน์ของอัลจินเตในอาหาร

อัลจินเตถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารหลายชนิดเช่น ใช้เติมลงในอาหารกระป๋องบางชนิด โดยอัลจินเตมีคุณสมบัติช่วยในการเป็นสารเพิ่มความข้นหนืด สารเพิ่มความคงตัว ช่วยให้ิมัลชันในอาหารคงตัว สารทำให้เกิดเจล และสารช่วยยับยั้งการเกิดชินเนอรีซิส ในกรณีของโซเดียมอัลจินเตสามารถใช้เป็นส่วนผสมในไส้ของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้ เพื่อช่วยในการคงตัวระหว่าง freeze-thaw และยังสามารถใช้เพื่อป้องกันการเกิด freezer burn ที่ผิวของอาหารก่อนแช่เยือกแข็งได้ ทั้งยังช่วยเป็นสารเพิ่มความคงตัวให้กับไอศกรีม น้ำสลัดได้อีกด้วย (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

### 2.5 ประโยชน์ของแคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) ในอาหาร

แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride) สามารถใช้เติมลงในน้ำลวก น้ำแช่ผักและผลไม้ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งหรือกรอบ ลักษณะเนื้อสัมผัสดีขึ้น เนื้อแน่น สมัยโบราณใช้น้ำปูนใส (ใช้ปูนขาวหรือปูนแดงผสมกับน้ำ แล้วปล่อยให้ปูนตกตะกอน) หรือใช้สารส้มแกว่งในน้ำ แต่สารเหล่านี้จะมีปัญหาเรื่องความเข้มข้นที่ใช้ไม่แน่นอน ปัจจุบันจึงนิยมใช้แคลเซียมคลอไรด์แทนอาหารที่ใช้ เช่น ผักดอง ผลไม้ดอง ผลไม้แช่อิ่ม ผลไม้กวน ผักผลไม้บรรจุกระป๋อง เป็นต้น ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แคลเซียมในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่

1. แยม ฟิลลิ่ง (filling) มาร์มาเลด (marmalade) โดยทำหน้าที่เป็น Gelatinizing salt แทน Low methoxy pectin และ แอลจินเต (alginate)
2. เป็นสารเพิ่มความคงตัว (firming agent) ในผลิตภัณฑ์ผัก ผลไม้กระป๋อง หรือ บรรจุขวด เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสเมื่อผ่านกระบวนการผลิต
3. ในผลิตภัณฑ์เนื้อ (meat product) โดยใช้ร่วมกับโซเดียมแอลจินเต ช่วยเพิ่มคุณสมบัติการเป็น binding และช่วยลด % cooking loss ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ โดยไม่กระทบต่อ ความชุ่มน้ำ กลิ่นรส ของผลิตภัณฑ์เนื้อ
4. สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ โดยใช้ทดแทนอัลบูมินในไข่ได้มากถึง 20% ในการเป็น foaming agent
5. ใช้ใน soft drink และ diet beverage เช่น ใช้ในน้ำส้มเพื่อเป็นแหล่งของแคลเซียมสามารถใช้ร่วมกับแหล่งแคลเซียมอื่นๆ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตและแคลเซียมฟอสเฟต
6. สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ได้แก่ กุ้ง ไก่ และปลา
7. ใช้ในเนยแข็ง เพื่อเป็นแหล่งของแคลเซียม โดยไม่ทำให้กลิ่น สี และรสชาติของเนยแข็งเปลี่ยนแปลง

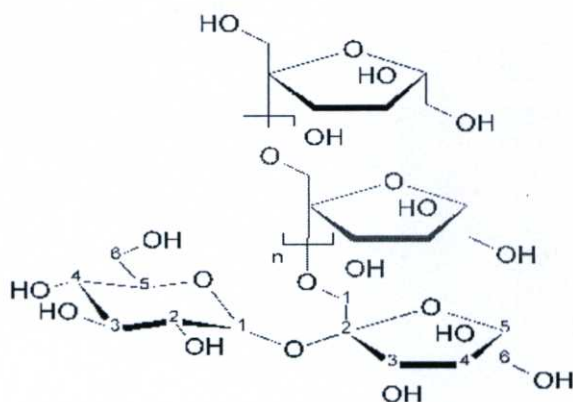
8. สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ Natural uncured cheese โดยใช้หมักร่วมกับเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus casei* ทำให้กลิ่นรสชาติและเนื้อสัมผัสดีขึ้น เก็บรักษาได้นานมากกว่า 14 วัน และสามารถป้องกันการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ (พีระพรรณ โพธิ์ทอง, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 2.9 แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride)

## 2.6 อินนูลิน (inulin)

อินนูลินสามารถพบได้ในหัวแก่้นตะวัน กระเทียม และหอม โดยอินนูลินเป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดหนึ่งในกลุ่มฟรุคแทน (Fructan) ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุคโตสที่เชื่อมต่อกันเป็นสายยาวจำนวน 2-60 หน่วย (DP 2-60) บางโครงสร้างอาจมีน้ำตาลกลูโคสเชื่อมต่อที่ปลายสายด้วย ซึ่งร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยเป็นน้ำตาลสายสั้นๆ ได้ เนื่องจากมีโครงสร้างที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -(2-1) ทำให้มีคุณสมบัติคล้ายใยอาหารที่ละลายน้ำได้ (soluble dietary fiber) ให้พลังงานต่ำมากเพียง 1.4 แคลอรีต่อกรัม อินนูลินช่วยควบคุมระดับน้ำตาล และไขมันในเลือด มีค่า GI (glycemic index) ต่ำ ยังมีคุณสมบัติเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ของมนุษย์ เช่น บิฟิโดแบคทีเรีย (bifidobacteria) และ แลคโตบาซิลลัส (lactobacillus) เป็นต้น ทั้งยังช่วยลดจุลินทรีย์ก่อโรค และเพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายอีกด้วย โดยอินนูลินเป็นสารที่สำคัญที่ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารหลากหลายชนิด ถือเป็นโอกาสให้กับวงการอุตสาหกรรมอาหาร ที่ต้องการผลิตเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ ด้วยการเป็นเส้นใยอาหาร อาหารควบคุมน้ำหนัก อาหารที่ช่วยควบคุมน้ำตาล และไขมัน อาหารที่กระตุ้นจุลินทรีย์ลำไส้ เป็นต้น (ศิริพร ต้นจ้อ และคณะ, 2555)



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างของอินนูลิน

ที่มา : เข้าถึงได้จาก [http://www.bgmarvels.com/article/art\\_42086478.png](http://www.bgmarvels.com/article/art_42086478.png)

## 2.7 วิธีการพื้นที่ผิวตอบสนอง (response surface methodology: RSM)

วิธีการทดลองพื้นที่ผิวตอบสนองเป็นวิธีการที่รวบรวมเทคนิคทางสถิติ และคณิตศาสตร์ในการหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการ ใช้ในการออกแบบ พัฒนา และปรับปรุงผลิตภัณฑ์ เพื่อหาคุณลักษณะของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ที่เรียกว่า ตัวแปรตอบสนอง (response) หรือผลลัพธ์ โดยการวางแผน และออกแบบการทดลองต้องมีความเหมาะสมกับลักษณะของข้อมูล จากวิธีการนี้สามารถศึกษาความสัมพันธ์ของผลตอบสนองกับปัจจัยหรือตัวแปรอิสระหลายตัวเพื่อหา ระดับของปัจจัยที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าที่ดีที่สุด เพื่อทำนายสภาวะที่เหมาะสม (optimization) จากความสัมพันธ์เหล่านั้น โดยมีขั้นตอนในการทำ RSM ดังนี้ (อนุวัตร แจ่มชัด, 2552)

- 2.7.1 เลือกแผนการทดลองที่เหมาะสมที่สามารถให้ข้อมูลเพียงพอในการสร้างคอนทัวร์พลอต
- 2.7.2 สร้างแบบจำลองหรือสมการเชิงเส้นที่ดีที่สุด
- 2.7.3 สร้างแผนภาพคอนทัวร์หรือ Surface Plot จากสมการที่หามาได้
- 2.7.4 ตรวจสอบหาค่าจุดหรือพื้นที่ที่เหมาะสม (optimization)
- 2.7.5 พิสูจน์แบบจำลอง (validation) โดยการทำการทดลองใหม่จากจุดที่เหมาะสมภายใต้ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัว และเปรียบเทียบกับค่าการทดลอง และค่าที่ได้ทำนายจากสมการ
- 2.7.6 ถ้าแบบจำลองไม่เหมาะสม ให้สร้างแบบจำลองใหม่ (ทำซ้ำข้อ2-5)

## 2.8 การออกแบบการทดลอง Central Composite Design (CCD)

Central Composite Design เป็นการทดลองที่ 3 ระดับ (นิยมแทนด้วยสัญลักษณ์  $-1, 0, +1$ ) กล่าวคือ จะปรับตัวแปรที่ต้องการศึกษาไป ตัวแปรละ 3 ค่า แต่แทนที่จะปรับตัวแปรแบบ Full Combination หรือ Full Factorial กลับเลือกบาง Runs หรือบางสภาวะการทดลองที่จำเป็น เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอต่อการสร้างแบบจำลองทางสถิติโดย Model ที่ได้จะยังคงมีทั้ง Main Effect, Interaction และ Quadratic Terms โดยใช้ทรัพยากรไม่มากเกินไป ตัวอย่างของ Central Composite Design สำหรับการศึกษาดัวแปร 3 ตัว แสดงดังตารางที่ 2.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า DOE ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ 1. Factorial Points ซึ่งในที่นี้เป็นการนำ 2-Level Full Factorial มาเป็นส่วนหนึ่งของการทดลอง 2. Axial Points เป็นการปรับค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งในขณะที่ Fix ให้ค่าตัวแปรอื่นอยู่ที่ค่ากลาง (หรือค่า 0) และ 3. Center Points เป็นการปรับค่าของตัวแปรทุกตัวแปรที่ค่ากลาง (หรือค่า 0) สำหรับ ตัวอย่างในตารางที่ 1 เลือกค่า  $\alpha = 1$  หรือ ระยะจาก Axial Point ไปยัง Center Point เป็น 1 ซึ่งค่าดังกล่าวมักจะเหมาะสมในทางปฏิบัติ (บางครั้งเรียก design ที่  $\alpha = 1$  แบบนี้ว่า face centered design) (จรัล ทรัพย์เสรี, 2552)

ตารางที่ 2.3 การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD)

สำหรับ 3 Factors ที่ค่า Alpha = 1

A	B	C	Point Types
-1	-1	-1	Factorial Point
1	-1	-1	Factorial Point
-1	1	-1	Factorial Point
1	1	-1	Factorial Point
-1	-1	1	Factorial Point
1	-1	1	Factorial Point
-1	1	1	Factorial Point
1	1	1	Factorial Point
-1	0	0	Axial Point
1	0	0	Axial Point
0	-1	0	Axial Point
0	1	0	Axial Point
0	0	-1	Axial Point
0	0	1	Axial Point
0	0	0	Center Point
0	0	0	Center Point

ที่มา: จรัล ทรัพย์เสรี (2552)

2.8.1 การหาค่าจุดหรือพื้นที่ที่เหมาะสม (optimization) โดยใช้ Desirability function

Desirability ฟังก์ชันค้นคิดโดย Harrington (1965) ต่อมา Derringer และ Suich (1980) ได้นำมาทำการพัฒนาการใช้งานเพิ่มขึ้น (Lazic, 2004) โดยค่า Desirability ซึ่งเป็นค่าความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีหน่วย สามารถคำนวณแยกเป็นส่วนๆ หรือที่ละค่าตอบสนอง (response) โดย สามารถแทนได้ด้วย  $d_i$  โดยค่า Desirability ของแต่ละค่าตอบสนองจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 และสามารถคำนวณร่วมกันของแต่ละค่าตอบสนอง จะได้ฟังก์ชันใหม่เป็นค่า  $D$  ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 เช่นกัน ค่า Desirability function สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$D = \left[ \prod_{i=1}^n d_i^{p_i} \right]^{1/n}$$

โดยค่ามาตรฐานของ Desirability ที่สัมพันธ์ระดับความพึงพอใจ และคุณภาพของผลิตภัณฑ์แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานของค่า Desirability ที่สัมพันธ์กับระดับความพึงพอใจและคุณภาพของผลิตภัณฑ์

Standard estimates	Desires	Quality of product
1.00	Excellent	The ultimate in satisfaction or quality and improvement beyond this point have no appreciable value
1.00-0.80	Very good	Acceptable and excellent. Represent unusual quality, or Performance, well beyond anything commercially available
0.80-0.63	Good	Acceptable and good, represent an improvement over the best commercially quality, the latter having the value of 0.63
0.63-0.37	Satisfactory	Acceptable but poor quality is acceptable to the specification limits, but improvement is desired
0.37-0.20	Bad	Unacceptable. Materials of this quality would lead of failure of the project.
0.20-0.00	Very bad	Completely unacceptable

ที่มา: Lazic (2004)

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พนม (2557) ได้ศึกษาการขึ้นรูปทรงกลมของคาร์เวียร์กะทิโดยใช้โซเดียมอัลจินต โดยทดลองใช้โซเดียมอัลจินตที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.35, 0.65 และ 0.95 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักกะทิ และใช้สารละลายเกลือแคลเซียมต่างกัน 2 ชนิด คือ แคลเซียมคลอไรด์ และแคลเซียมแลคเตต ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1 และ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรจากนั้นนำคาร์เวียร์กะทิที่ได้มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินตร้อยละ 0.35 และสารละลายเกลือแคลเซียมทั้งสองชนิด ทำให้ได้คาร์เวียร์กะทิที่มีลักษณะทรงกลมที่ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้พบว่า เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินตสูงขึ้นส่งผลให้ขนาดของคาร์เวียร์กะทิใหญ่ขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อใช้สารละลายแคลเซียมแลคเตตคาร์เวียร์กะทิมิแวนโน้มใหญ่กว่าเมื่อใช้สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ แต่ความเข้มข้นของสารละลายแคลเซียมไม่มีผลต่อขนาดของคาร์เวียร์กะทิ เมื่อพิจารณาค่าความแข็งพบว่า ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินต และสารละลายเกลือแคลเซียมทั้งสองชนิดมีผลทำให้ค่าความแข็งของคาร์เวียร์กะทิสูงขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) และจากการศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่เติมลงในกะทิ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้น คาร์เวียร์กะทิที่ได้จะมีค่าความแข็งลดลง ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อความสมบูรณ์ของทรงกลม

วรรณวิมล (2558) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตเต้าหู้ทรงกลมด้วยการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (responses surface methodology) ออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design โดยมี 2 ตัวแปร คือความเข้มข้นของอัลจินต ( $X_1$ : 1-2 %) และความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ ( $X_2$ : 1-2%) พบว่าความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินต และแคลเซียมคลอไรด์มีอิทธิพลต่อคุณลักษณะทางกายภาพของเต้าหู้ทรงกลมอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อกำหนดให้ค่าความแข็งของเต้าหู้เป็นปัจจัยตอบสนองที่มีอิทธิพลมากที่สุด สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ คือ การใช้โซเดียมอัลจินตร้อยละ 1.96 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.59 ผลของสมการทำนายพบว่าเต้าหู้ทรงกลมที่สภาวะนี้มีค่าความแข็ง 1140.27 (กรัม·แรง) และเมื่อทำการทดสอบสมการพบว่าค่าความแข็งของเต้าหู้ทรงกลม  $1128.68 \pm 12.68$  (กรัม·แรง) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.95 จากนั้นนำเต้าหู้ที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมมาทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่าเต้าหู้ทรงกลมได้รับคะแนนความชอบอยู่ในช่วงปานกลาง

Lee and Rogers (2012) ได้ศึกษาผลของแหล่งของแคลเซียม และเวลาในการเกิดเจลของการเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม (คาร์เวียร์) โดยใช้โซเดียมอัลจินต โดยความแข็งแรงของเจลขึ้นอยู่กับแหล่งของแคลเซียม พบว่าเมื่อใช้แคลเซียมคลอไรด์จะเกิดเจลเร็วที่สุด (~100 s) ตามด้วยแคลเซียมแลคเตต (~500 s) และแคลเซียมกลูโคเนต (~2000 s) โดยแคลเซียมคลอไรด์เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด แต่จะมีรสขมเมื่อใช้ในปริมาณมาก ในขณะที่แคลเซียมกลูโคเนตให้เจลที่มีความหนา และแข็งกว่า

LeRoux *et al.* (1999) ได้ศึกษาผลของโซเดียมไอออน และความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินต ต่อคุณสมบัติของเจลอัลจินต พบว่าคุณสมบัติ และความหนืดของเจลอัลจินตเกิดจากการเชื่อมกัน ระหว่าง แคลเซียมไอออน โดยการเกิดเจลจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายอัลจินต และระยะเวลาที่แช่ หรือสัมผัสกับแคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งในการทดลองใช้ความเข้มข้นของอัลจินตอยู่ในช่วงร้อยละ 1-3 และแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และแคลเซียมคลอไรด์เป็นเวลา 15 ชั่วโมง

Richtier *et al.* (2015) ได้ศึกษาการพัฒนา และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตโดยเพิ่ม “คาเวียร์” แครอทโดยเด็ก โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม (spherification) และโซเดียมอัลจินต โดยผสมโยเกิร์ตกับคาเวียร์แครอทในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 จากนั้นทำการวิเคราะห์ทางจุลชีววิทยา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการบริโภค และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยเด็กประถมจำนวน 52 คน พบว่าได้ค่าเฉลี่ยของคะแนนที่ 6.7 และมีดัชนีการยอมรับต่อโยเกิร์ตเพิ่มคาเวียร์แครอทที่ร้อยละ 95.70 จึงสรุปได้ว่าผลิตภัณฑ์นี้เป็นที่ยอมรับ และถูกนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกสำหรับการบริโภคแครอทโดยเด็ก

## บทที่ 3

# อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

### 3.1 วัสดุดิบ

#### 3.1.1 วัสดุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ข้าวไรซ์เบอร์รี่ ตรามานัญครอง ผลิตโดย บริษัทปทุมไรซ์มิล แอนด์ แกรนารี จำกัด (มหาชน) ควบคุมคุณภาพวัสดุดิบโดยการ กำหนดระยะเวลาในการใช้ข้าวสาร คือ ไม่เกิน 3 เดือน (นับจากวันผลิตข้างบรรจุภัณฑ์)

#### 3.1.2 สารที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

- 3.1.2.1 Sodium alginate (food grade) จากบริษัทรวมเคมี 1986 จำกัด ไทย
- 3.1.2.2 Calcium chloride (food grade) จากบริษัทวิทยาสรรม จำกัด ไทย
- 3.1.2.3 Inulin (food grade) จากบริษัท คอสมาพรอฟ จำกัด ไทย

### 3.2 สารเคมี

3.2.1 Sodium hydroxide (NaOH)	Merck	เยอรมัน
3.2.2 Phenolphthalein	Merck	เยอรมัน
3.2.3 Ethanol 95%	Merck	เยอรมัน
3.2.4 Potassium phthalate ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ )	Ajax Finechem	ออสเตรเลีย
3.2.5 แผ่นเพาะเลี้ยงเชื้อดำรีจรูป 3M Peterifilm <sup>TM</sup> Aerobic Count Platea (AC) 3M ประเทศไทย จำกัด		ไทย

### 3.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.3.1 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง	Sartorius, Bp3100S	เยอรมนี
3.3.2 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง	Denver, SI-234	เยอรมนี
3.3.3 เครื่องวัดสี (color meter)	Konica Minolta, CR 400	ญี่ปุ่น
3.3.4 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) TA-XT Plus		อังกฤษ
3.3.5 หม้อหุงข้าวไฟฟ้า	Otto, CR-100T	ไทย

3.3.6 เครื่องปั่นผสม	Electrolux	จีน
3.3.7 เครื่องปั่นผสมมือถือ	BUONO	จีน
3.3.8 เทอร์โมมิเตอร์	Leifheit, LFH-03098	จีน
3.3.9 หม้อนึ่งอัดไอ (autoclave)	Tomy, ES-315	ญี่ปุ่น
3.3.10 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง	Suntex SP-701	เยอรมนี
3.3.11 เครื่องตีแป้งไฟฟ้า (stomacher)	Bagmixer, 400 interscience	ฝรั่งเศส
3.3.12 Vortex mixer (scientific industries)	Votex- Genie 2	อเมริกา
3.3.13 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (บ่มจุลินทรีย์)	Kendro, Heraeus	เยอรมนี
3.3.14 กระบอกฉีดยา (syringe)	ขนาด 10 มิลลิลิตร	
3.3.15 ซ้อนดวงครึ่งวงกลม	ขนาด 1/8 ซ้อนชา	
3.3.16 เครื่องแก้ว		
3.2.17 เครื่องครัว		

### 3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

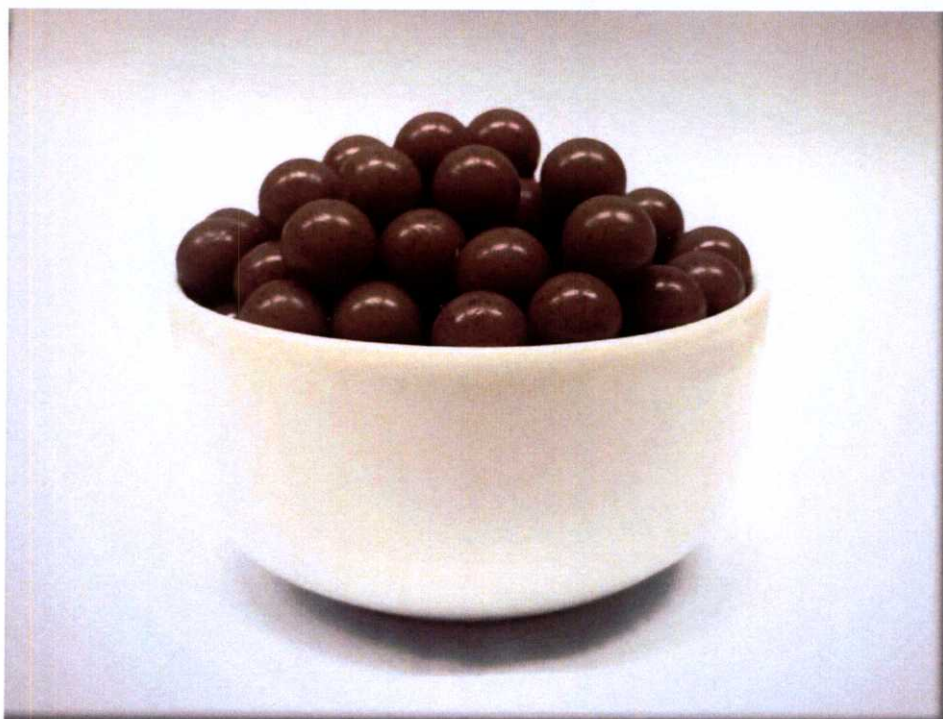
#### 3.4.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยวิธีการขึ้นรูปทรงกลม

##### 3.4.1.1 กระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

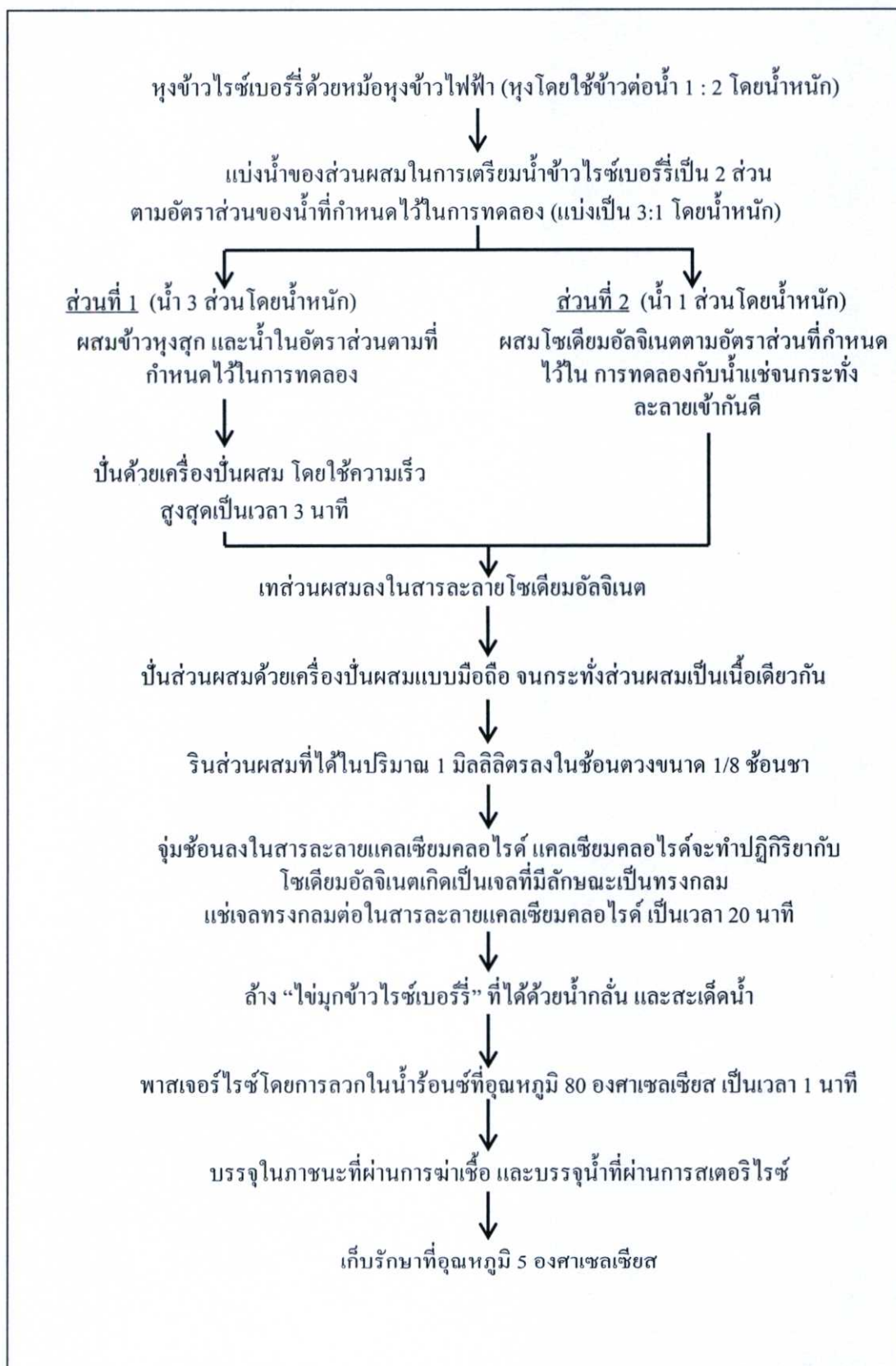
หุงข้าวไรซ์เบอร์รี่ด้วยหม้อหุงข้าวไฟฟ้า (หุงโดยใช้ข้าวต่อน้ำ 1 : 2 โดยน้ำหนัก) จากนั้นผสมข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุก และน้ำในอัตราส่วนตามที่กำหนดไว้ใน การทดลอง บั่นด้วยเครื่องปั่นผสม โดยใช้ความเร็วสูงสุดเป็นเวลา 3 นาที เทส่วนผสมลงในสารละลายโซเดียมอัลจินเต (โดยแบ่งส่วนของน้ำจากส่วนผสมมาละลาย) บั่นส่วนผสมด้วยเครื่องปั่นผสมแบบมือถือ จนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน รินส่วนผสมที่ได้ในปริมาณ 1 มิลลิลิตร ลงในซ้อนดวงขนาด 1/8 ซ้อนชา จุ่มซ้อนลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์จะทำปฏิกิริยากับโซเดียมอัลจินเตเกิดเป็นเจลที่มีลักษณะเป็นทรงกลมคล้ายไข่มุก และแช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นระยะเวลา 20 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่น และพาสเจอร์ไรซ์โดยการลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเก็บรักษาในน้ำกลั่น แช่ตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ได้เป็นผลิตภัณฑ์ “ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” แสดงดังภาพที่ 3.1 และ 3.2 โดยรายละเอียดขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.1 ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้จากการทดลอง (ก)



ภาพที่ 3.2 ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้จากการทดลอง (ข)



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

### 3.4.1.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวหุงสุก และน้ำสำหรับการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่

เตรียมน้ำอย่างใหม่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ตามวิธีการข้างต้น โดยกำหนดอัตราส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุก และน้ำที่ 1:4, 1:6, 1:8 และ 1:10 โดยน้ำหนักในการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ กำหนดความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินเตอ์ร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ทำการตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของใหม่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และทดสอบทางประสาทสัมผัสทั้ง 4 ตัวอย่าง ดังนี้

#### 1) การตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ

- ชั่งน้ำหนักด้วย เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง
- วัดขนาดด้วย Digital venire caliper
- วิเคราะห์สีโดยการวัดค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ด้วยเครื่อง CR-400 (ภาคผนวก ก.1)
- วิเคราะห์ค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) (ภาคผนวก ก.2)

#### 2) การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดย ประเมินความชอบแบบ 9 point Hedonic scale ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน โดยเสิร์ฟใหม่ข้าวไรซ์เบอร์รี่ตัวอย่างละ 2 ลูก ต่อ น้ำเปล่า 20 มิลลิลิตร โดยมีปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม (รายละเอียดแบบสอบถามแสดงดังภาคผนวกที่ จ.1)

#### การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลข้อที่ 1) โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลข้อที่ 2) โดยวางแผนการทดลองแบบ สุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมโดยการเลือกอัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำสำหรับการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้รับคะแนนความชอบสูงที่สุดจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส เพื่อใช้ในการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจินเตอ์ และแคลเซียมคลอไรด์ต่อไป

3.4.1.3 ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจินตและแคลเซียมคลอไรด์โดยใช้การทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (response surface methodology)

ใช้เทคนิคพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) และออกแบบการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) เพื่อหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินต และแคลเซียมคลอไรด์ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยกำหนดตัวแปรอิสระ ให้  $X_1$  แทนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจินตที่ร้อยละ 1 - 1.175 โดยน้ำหนักของน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ กำหนดให้  $X_2$  แทนความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1 - 2 โดยน้ำหนัก เลือกวิธีคำนวณการทำซ้ำ 3 ครั้งที่ค่ากลาง (central point of design) ดังตารางที่ 3.1 โดยมีค่าตอบสนองของปัจจัยที่ทำการตรวจสอบได้แก่ น้ำหนัก ขนาด สี และเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากนั้นทำการทดลองเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ตามสภาวะที่ได้จากการทำนาย โดยใช้อัตราส่วนในการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เลือกจากข้อ 3.4.1.2 และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ ดังนี้

- 1) ชั่งน้ำหนักด้วย เครื่องชั่งดิจิทัล 4 ตำแหน่ง
- 2) วัดขนาดด้วย Digital vernier caliper
- 3) วิเคราะห์สีโดยการวัดค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ด้วยเครื่อง CR-400 (ภาคผนวก ก.1)
- 4) วิเคราะห์ค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer)

(ภาคผนวก ก.2)

การคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมพิจารณา โดยใช้ตัวแปรตอบสนองที่มีผลประสิทธิภาพอธิบาย ( $R^2$ ) สูงที่สุด เพื่อเป็นปัจจัยในการทำนายจุดที่เหมาะสมของความเข้มข้นสารละลายโซเดียมอัลจินต และแคลเซียมคลอไรด์ ในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ต่อไป

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลอง เมื่อวางแผนการทดลองโดยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) และ (CCD)

Run	Sodium alginate (%)	Calcium chloride (%)
1	1	1
2	1.38	1
3	1.75	1
4	1.38	2
5	1	2
6	1.75	1.5
7	1.75	2
8	1	1.5
9	1.38	1.5
10	1.38	1.5
11	1.38	1.5

3.4.1.4 ศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อการเกิดเจลของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทดลองเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 โดยใช้ความเข้มข้นของ โซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.4.1.3 จากนั้นทำการตรวจสอบ คุณภาพของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ทุกๆ 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 16 ชั่วโมง และนำตัวอย่างไข่มุกข้าวที่ ผ่านการแช่น้ำที่ระยะเวลาต่างๆ มาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ดังนี้

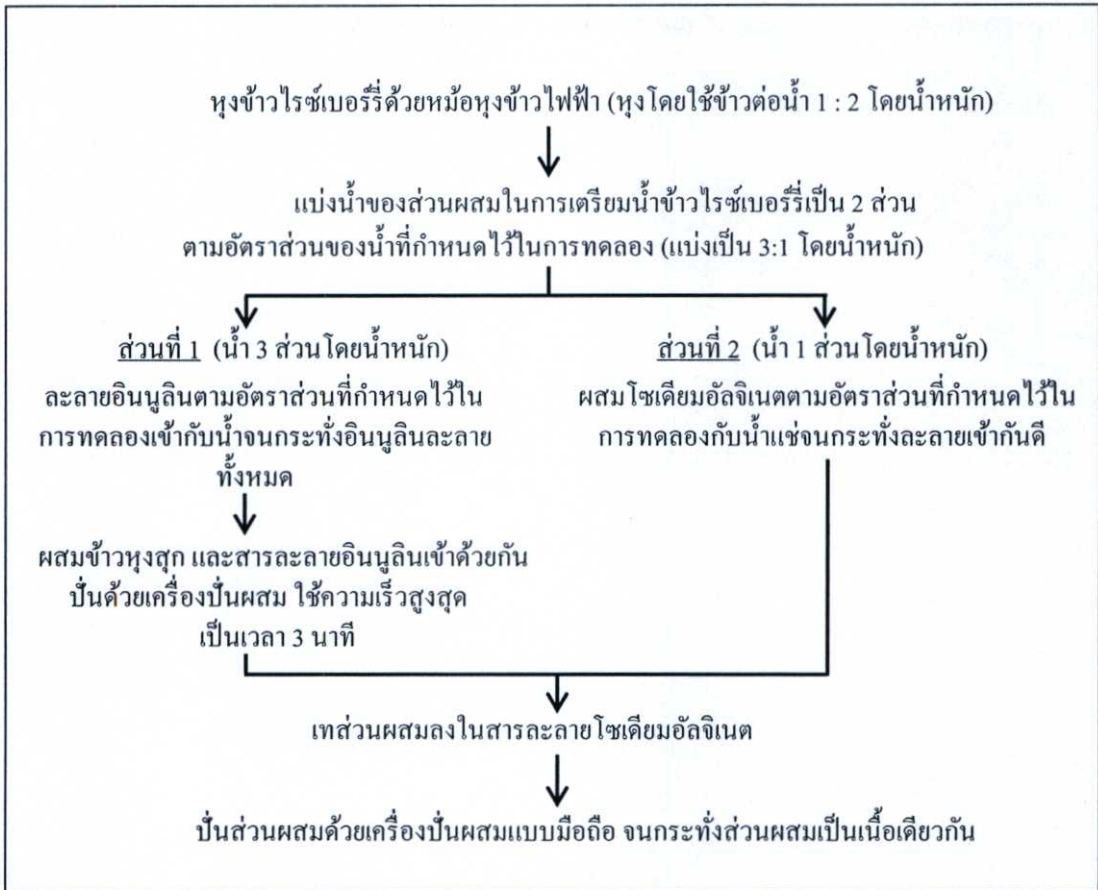
- 1) ชั่งน้ำหนักด้วย เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง
- 2) วัดขนาดด้วย Digital venire caliper
- 3) วิเคราะห์สีโดยการวัดค่าสี ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) ด้วยเครื่อง CR-400 (ภาคผนวก ก.1)
- 4) วิเคราะห์ค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer)  
(ภาคผนวก ก.2)

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูลโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่ม อย่างสมบูรณ์ (completely randomized design, CRD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS

### 3.4.2 ศึกษาการเสริมอินนูลินในผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

ทำการทดลองโดยการเสริมอินนูลิน ในระหว่างการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยกำหนด ปริมาณของอินนูลินที่ 2, 5, และ 8 กรัม ต่อ ปริมาณของน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 50 กรัม (เทียบกับ ปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทข้าวต้ม) เตรียมตัวอย่างโดยการ ละลายอินนูลินเข้ากับน้ำที่ใช้ปั่นผสมกับข้าวหุงสุก ก่อนนำไปปั่นผสมกับข้าวหุงสุก และ สารละลายโซเดียมอัลจินเตตามสภาวะที่ได้จากการทดลองในข้อ 3.4.1.3 (ขั้นตอนการเสริมอินนูลินในการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่แสดงดังภาพที่ 3.4) จากนั้นนำตัวอย่างไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้มาทำการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน ด้วยวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะกับตัวอย่างควบคุม (difference from control) ทำการ เสิร์ฟตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง คือ ตัวอย่างควบคุม (ไม่เสริมอินนูลิน) และตัวอย่างที่เสริมอินนูลินทั้ง 3 ระดับ มีปัจจัยที่ทำการทดสอบได้แก่ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความแตกต่างโดยรวม (รายละเอียด แบบทดสอบแสดงดังภาคผนวกที่ จ.2) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยคัดเลือก สภาวะที่ได้คะแนนความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (ไม่เสริมอินนูลิน) น้อยที่สุดในการทดสอบ ทางประสาทสัมผัส เพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ในระหว่างการเก็บรักษาต่อไป

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของข้อมูล โดยวางแผนการทดลองแบบ สุ่มในบล็อก สมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ย โดยวิธี Dunnett's test จาก โปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ SPSS



ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการเสริมอินนูลินในการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่

### 3.4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระหว่างการเก็บรักษา

ทดลองทำไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ตามสภาวะที่คัดเลือกจากข้อ 3.4.2 คือสภาวะที่ได้คะแนนความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (ไม่เสริมอินนูลิน) น้อยที่สุด จากนั้นเก็บรักษาในกล่องพลาสติกที่ทำจากโพลีเอทิลีน กล่องละ 50 กรัม และน้ำสเตอร์ไรซ์ 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และเก็บตัวอย่างทุกๆ วันที่ 1, 3, 6, 9, 12 และ 15 โดยทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังนี้

- 1) วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ
  - สังเกตลักษณะปรากฏ
  - วิเคราะห์ค่าความแข็งด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) (แสดงดังภาคผนวก ค.2)
- 2) วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี
  - ปริมาณกรดทั้งหมด (ภาคผนวกข.1)
  - ค่าความเป็นกรด-ด่าง (เครื่องวัด pH) (ภาคผนวกข.2)

### 3) วิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

- ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) (ภาคผนวกจ.1)

วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ผลทางสถิติ

#### 3.4.4 ศึกษาการยอมรับเมนูอาหารคาว และหวานเมื่อใช้ไข่มุกข้าวเป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารผู้สูงอายุ

นำเสนอการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในเมนูอาหารสำหรับผู้สูงอายุ จำนวน 2 เมนู ได้แก่ “สเต็กปลากระพง เสิร์ฟคู่กับยำส้มโอ ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” และ “พุดดิ้งมะม่วง ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” จากนั้นทำการทดสอบความชอบ และการยอมรับโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9 point Hedonic scale โดยคัดเลือกผู้สูงอายุ ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปี – 70 ปี และมีความรู้ หรือมีความสนใจด้านอาหารจำนวน 10 ท่าน ทำการทดสอบ ณ ตลาด อ.ต.ก. (องค์การตลาดเพื่อเกษตรกร) โดยการเสิร์ฟตัวอย่างทั้ง 2 เมนู ต่อผู้ทดสอบ 1 ท่าน (รายละเอียดเมนูแสดงดังภาคผนวกจ.1 และจ.2) โดยมีปัจจัยที่ทำการทดสอบได้แก่ ลักษณะปรากฏ ความเข้ากันของเมนูรสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม และการยอมรับ (รายละเอียดแบบทดสอบแสดงดังภาคผนวกจ.3)

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยวางแผนการทดลองแบบ สุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design, RCBD) เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อประเมินผลการยอมรับต่อเมนูอาหารเมื่อใช้ไข่มุกข้าวเป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารผู้สูงอายุ

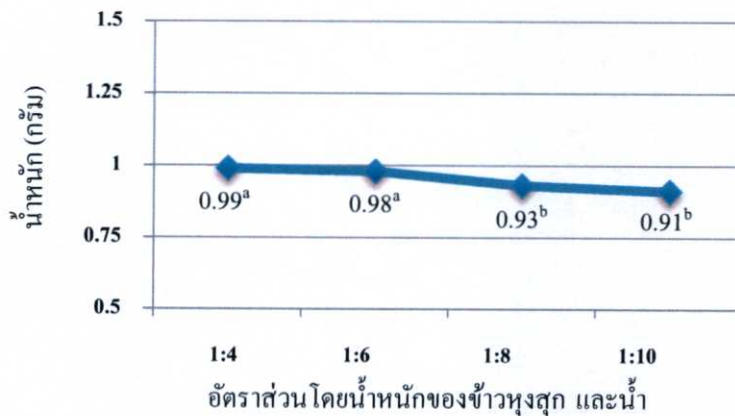
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวจากข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยวิธีการขึ้นรูปทรงกลม

##### 4.1.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวหุงสุก และน้ำสำหรับการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่

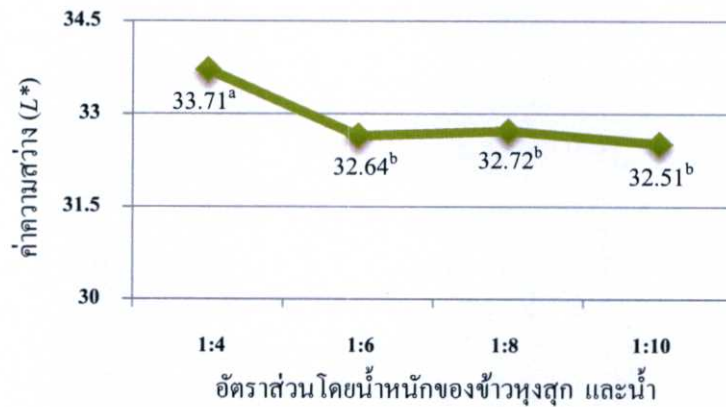
จากการตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพด้านน้ำหนัก ขนาด ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ค่าสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) ค่าความแข็ง และการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้ เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำสำหรับการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่แตกต่างกันคือ กำหนดอัตราส่วนของข้าวไรซ์เบอร์รี่หุงสุก และน้ำที่ 1:4, 1:6, 1:8 และ 1:10 โดยน้ำหนัก กำหนดความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินเตอ์ร้อยละ 1.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 โดยน้ำหนัก ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 4.1 ถึง 4.7 โดยตารางผลการทดลองที่แสดง ค่าเฉลี่ย $\pm$ SD แสดงในภาคผนวก ก.1



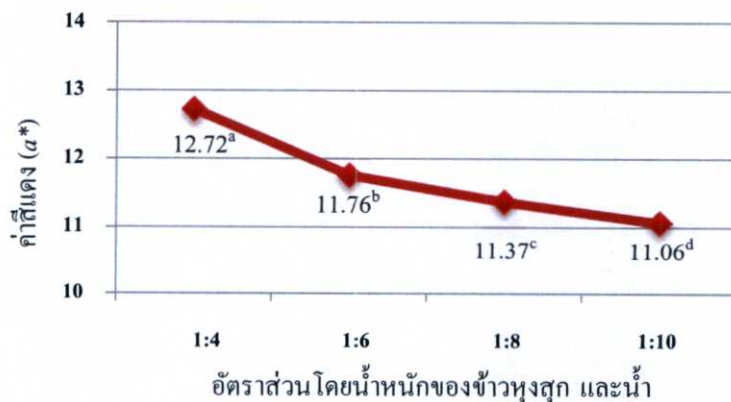
ภาพที่ 4.1 น้ำหนักของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่แตกต่างกัน



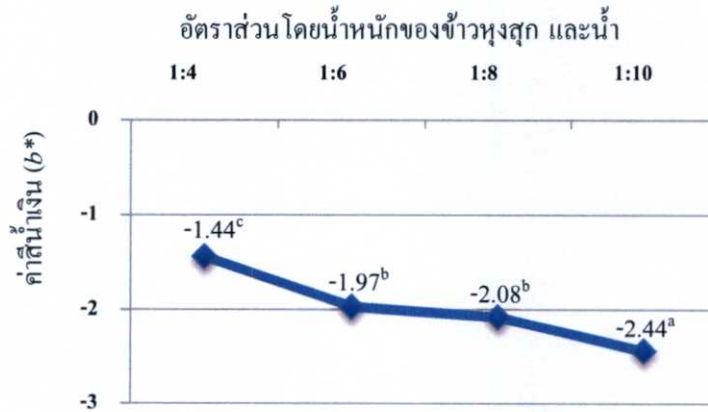
ภาพที่ 4.2 ขนาดของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่แตกต่างกัน



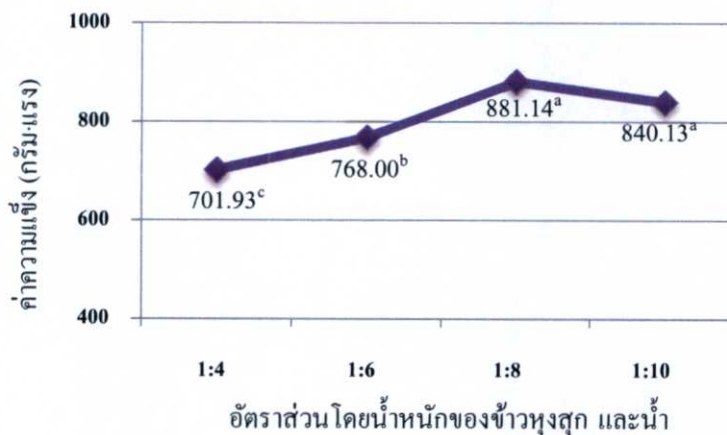
ภาพที่ 4.3 ค่าความสว่าง (L\*) ของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.4 ค่าสีแดง (a\*) ของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และ น้ำที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.5 ค่าศักย์น้ำเงิน (b\*) ของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.6 ค่าความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลอง พบว่าอัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อลักษณะทางกายภาพของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (แสดงผลเป็นตารางในภาคผนวก ก.1 และ ก.2) โดยอัตราส่วนข้าวหุงสุก และน้ำที่ 1:4 โดยน้ำหนัก ไข่มุกข้าวที่เตรียมได้มีน้ำหนัก (ภาพที่ 4.1) และขนาด (ภาพที่ 4.2) เฉลี่ย 0.99 กรัม และ 11.71 มิลลิเมตรตามลำดับ และมีค่าลดลงเป็น 0.91 กรัม และ 11.58 มิลลิเมตรตามลำดับเมื่ออัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 1:10 โดยน้ำหนัก น้ำหนัก และขนาดที่ลดลงอาจเนื่องมาจากเมื่ออัตราส่วนของน้ำเพิ่มขึ้น และข้าวลดลงเป็นผลให้โอกาสในการจับตัวกันระหว่างแคลเซียมไอออน และประจุลบในโครงสร้างของโซเดียมอัลจินต เป็นไปง่ายขึ้น เมื่อเจลเกิดได้เร็วปริมาณน้ำที่ซึมเข้าสู่โครงสร้างในระหว่างการแช่น้ำก็ลดลง โครงสร้างเจลของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่หดตัวแน่นมากขึ้น จึงเป็นผลให้ขนาด และน้ำหนักลดลง

อัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของค่าความสว่าง ( $L^*$ ) และค่าสีแดง ( $a^*$ ) ของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีแนวโน้มลดลง ค่าสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อวิเคราะห์ค่าความแข็ง พบว่าที่อัตราส่วน 1:4 ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าเฉลี่ยค่าความแข็ง 701.93 กรัม-แรง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 840.13 กรัม-แรง เมื่อใช้อัตราส่วนข้าวหุงสุก และน้ำ 1:10 โดยน้ำหนัก (ภาพที่ 4.6) เป็นไปทิศทางเดียวกันกับน้ำหนัก และขนาดที่ลดลง เมื่อกระบวนการเกิดเจลเคลือบเชื่อมอัลจินต ซึ่งเป็นการเกาะเกี่ยวกันของโมเลกุลโดยมีลักษณะเป็นเส้นสายร่างแห (ปาริฉัตร, 2545) เกิดได้เร็วขึ้น เจลหดตัวมากขึ้น และอุ้มน้ำได้น้อยลงจึงเป็นผลให้ค่าความแข็งของไข่มุกข้าวที่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่แตกต่างกัน

อัตราส่วน ข้าวหุงสุก และน้ำ	ลักษณะ ปรากฏ	ปัจจัยคุณภาพ			
		สี	กลิ่นรส (ธรรมชาติของ ข้าวหุงสุก)	เนื้อสัมผัส <sup>ns</sup>	ความชอบ โดยรวม <sup>ns</sup>
1 : 4	7.53±0.97 <sup>a</sup>	7.13±1.11 <sup>a</sup>	6.87±1.38 <sup>a</sup>	6.6±1.22	7.03±1.00
1 : 6	7.43±0.82 <sup>a</sup>	7.03±1.03 <sup>a</sup>	6.17±1.12 <sup>bc</sup>	6.7±1.21	6.90±1.12
1 : 8	7.17±1.32 <sup>ab</sup>	6.9±1.35 <sup>a</sup>	6.47±1.01 <sup>ab</sup>	6.73±1.44	6.93±1.14
1 : 10	6.87±1.41 <sup>b</sup>	6.4±1.5 <sup>b</sup>	5.87±1.31 <sup>c</sup>	6.87±1.14	6.67±1.09

หมายเหตุ : <sup>a-c</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
ค่าเฉลี่ย±SD (n=30)

ผลการทดสอบความชอบทางประสาทสัมผัสของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทั้ง 4 ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส และด้านความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) และเมื่อพิจารณาด้านลักษณะปรากฏ สี และกลิ่นรส พบว่าอัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่ 1:4 มีแนวโน้มของคะแนนความชอบสูงสุด ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่ 1:4 สำหรับการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่ใช้น้ำน้อยที่สุด นั่นคือมีปริมาณข้าวสูงสุด เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

#### 4.1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์โดยใช้การทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (response surface methodology)

จากการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ในการผลิตไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้เทคนิคพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) และออกแบบการทดลองแบบ Central composite design (CCD) โดยกำหนดให้  $X_1$  แทนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และ  $X_2$  แทนความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์ โดยใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุกและน้ำที่ 1:4 โดยน้ำหนักมาทำการทดลอง โดยมีค่าตอบสนองของปัจจัยที่ทำการตรวจสอบ ได้แก่ น้ำหนัก ขนาด สี และเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ดังแสดงผลในตารางที่ 4.2 ถึง 4.5

ตารางที่ 4.2 การออกแบบการทดลองแบบ Central composite design และค่าตอบสนองของปัจจัย

Run	Sodium	Calcium	Weight (g.)	Size (mm)	$L^*$	$a^*$	$b^*$	Hardness (g-force)
	alginate (%)	chloride (%)						
1	1	1	1.059	11.81	33.5	13.46	-0.51	624.79
2	1.38	1	1.11	12	34.79	12.91	-0.55	742.26
3	1.75	1	1.22	12.52	34.93	11.94	-1.21	837.42
4	1.38	2	1	11.72	34.52	13.34	-0.31	986.26
5	1	2	0.99	11.45	33.14	13.65	-0.37	748.55
6	1.75	1.5	1.05	11.74	34.47	12.92	-0.61	1067.24
7	1.75	2	1.01	11.67	34.54	13.01	-0.65	1137.23
8	1	1.5	0.99	11.53	33.42	13.55	-0.49	744.78
9	1.38	1.5	1.01	11.71	34.84	13.24	-0.39	931.64
10	1.38	1.5	1	11.68	34.71	13.44	-0.34	934.03
11	1.38	1.5	0.95	11.48	34.92	13.16	-0.4	902.30

รายละเอียด และค่าตอบสนองของปัจจัยต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.2 และจากตารางที่ 4.3 แสดงถึงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อ น้ำหนัก ขนาด ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) ค่าสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) และเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้ พบว่าข้อมูลที่ได้จากทุกค่าตอบสนองมีสมการ (model) โดยที่ Lack of fit ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ซึ่ง

หมายความว่าสามารถนำมาใช้ในการทำนายผลได้ และมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย (coefficient value of determination,  $R^2$ ) ของค่าตอบสนองอยู่ในช่วง 0.66 - 0.99 โดยตัวแปรตอบสนองที่มีผลมากที่สุดคือ ค่าความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การอธิบายที่สูงที่สุดคือ มีค่าเท่ากับ 0.99 (ตารางที่ 4.4) ดังนั้นจึงเลือกตัวแปรด้านค่าความแข็งเป็นปัจจัยในการทำนายความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ในการเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยการทดลองนี้กำหนดค่าคุณลักษณะของตัวแปรคือ กำหนดให้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต ( $X_1$ ) และแคลเซียมคลอไรด์ ( $X_2$ ) เท่ากับต่ำสุด และค่าความแข็งเท่ากับสูงสุด เนื่องจากต้องการให้ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการฟอร์มเจลที่แข็งแรงมากที่สุด ในขณะที่ใช้ปริมาณของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์น้อยที่สุดเพื่อความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ ซึ่งจากตารางที่ 4.5 พบว่าสามารถทำนายจุดที่เหมาะสมของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ในการเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ คือสารละลายโซเดียมอัลจิเนตร้อยละ 1.25 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.31 โดยมีค่าความแข็งจากการทำนายเท่ากับ 825.87 กรัม·แรง จากนั้นเมื่อนำสถานะนี้ไปทดลองเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ และทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้านความแข็ง พบว่าไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้ มีค่าความแข็งเท่ากับ  $828.47 \pm 23.07$  กรัม·แรง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทำนาย สอดคล้องกับ วรรณวิมล (2558) ได้ศึกษาการความสัมพันธ์ของความเข้มข้นโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ต่อคุณภาพของเต้าหู้ทรงกลม ด้วยวิธีทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) พบว่าตัวแปรตอบสนองที่มีผลมากที่สุดคือ ด้านความแข็ง จึงใช้ตัวแปรด้านความแข็งในการทำนายหาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตเต้าหู้ทรงกลม

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่าตอบสนองปัจจัย

Source	F - value					
	Weight	Size	L*	a*	b*	Hardness
Model	21.52*	7.89*	38.49*	15.58*	10.30*	198.97*
A-alginate	20.23*	5.83*	113.75*	22.80*	18.02*	592.43*
B-calcium	51.36*	9.96*	7.86*	8.36*	13.16*	309.34*
AB	10.16*		0.01		3.94	32.28*
A <sup>2</sup>	3.63		63.97*		10.59*	5.22
B <sup>2</sup>	16.28*		0.15		2.10	43.20*
Lack of fit	0.34 <sup>ns</sup>	2.84 <sup>ns</sup>	2.61 <sup>ns</sup>	3.31 <sup>ns</sup>	17.38 <sup>ns</sup>	0.61 <sup>ns</sup>
R <sup>2</sup>	0.96	0.66	0.97	0.80	0.91	0.99

หมายเหตุ : \* Significant at  $p \leq 0.05$

ตารางที่ 4.4 สมการที่ทำนายจากการใช้วิธีพื้นมีผิวตอบสนองของแต่ละปัจจัย

Dependent values	Equation quadratic models	R <sup>2</sup>
weight	$= 0.99 + 0.041(X_1) - 0.065(X_2) - 0.035(X_1X_2) + 0.027(X_1)^2 + 0.056(X_2)^2$	0.96
size	$= 11.76 + 0.19(X_1) - 0.25(X_2)$	0.66
L*	$= 34.77 + 0.65(X_1) - 0.17(X_2) - 7.500E - 003(X_1X_2) - 0.75(X_1)^2 - 0.036(X_2)^2$	0.97
a*	$= 13.15 - 0.47(X_1) + 0.28(X_2)$	0.80
b*	$= -0.36 - 0.18(X_1) + 0.16(X_2) + 0.11(X_1X_2) - 0.22(X_1)^2 - 0.096(X_2)^2$	0.91
hardness	$= 924.89 + 153.96(X_1) + 111.26(X_2) + 44.01(X_1X_2) - 22.24(X_1)^2 - 63.98(X_2)^2$	0.99

X<sub>1</sub> คือ ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจินเต

X<sub>2</sub> คือ ความเข้มข้นของแคลเซียมคลอไรด์

ตารางที่ 4.5 ผลการทำนายสภาวะที่เหมาะสมของสารละลายโซเดียมอัลจินเต และแคลเซียมคลอไรด์ในการเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

Response variable	Optimization of condition					
	Goal	Lower	Upper	Weight	Predicted responses	Desirability
alginate	Minimize	1	1.75	1	1.25	0.66
calcium	Minimize	1	2	1	1.31	0.67
Hardness	Maximize	624.79	1137.23	1	825.87	0.60

#### 4.1.3 ผลการศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อการเกิดเจลของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างตามผลการทำนายจาก RSM กล่าวคือ ใช้ปริมาณโซเดียมอัลจินเตร้อยละ 1.25 โดยน้ำหนัก ผสมเข้ากับน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ รินใส่ช้อนตวง แช่ลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.31 โดยน้ำหนัก จากนั้นเก็บรักษาตัวอย่างในภาชนะบรรจุน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ขั้นตอนการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่แสดงดังภาพที่ 3.1) และทำการตรวจวิเคราะห์ทุก 2 ชั่วโมง จนครบ 16 ชั่วโมง แสดงผลในตารางที่ 4.6 ถึงตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.6 ผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อสมบัติทางกายภาพด้านน้ำหนัก และขนาดของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

ระยะเวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)	ลักษณะทางกายภาพ	
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (มิลลิเมตร)
2	1.02±0.07 <sup>b</sup>	11.77±0.14 <sup>c</sup>
4	1.02±0.03 <sup>b</sup>	11.79±0.17 <sup>c</sup>
6	1.04±0.03 <sup>ab</sup>	11.87±0.24 <sup>bc</sup>
8	1.05±0.03 <sup>ab</sup>	11.93±0.23 <sup>abc</sup>
10	1.05±0.04 <sup>ab</sup>	11.96±0.18 <sup>ab</sup>
12	1.06±0.04 <sup>ab</sup>	12.01±0.23 <sup>ab</sup>
14	1.06±0.03 <sup>a</sup>	12.07±0.12 <sup>a</sup>
16	1.06±0.04 <sup>a</sup>	12.08±0.08 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : <sup>a-c</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.7 ผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อสมบัติทางกายภาพด้านสีของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

ระยะเวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)	ลักษณะทางกายภาพ		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$
2	32.68±0.40 <sup>d</sup>	13.80±0.15 <sup>c</sup>	-1.73±0.05 <sup>b</sup>
4	32.88±0.40 <sup>d</sup>	13.76±0.15 <sup>c</sup>	-1.73±0.06 <sup>b</sup>
6	33.04±0.41 <sup>d</sup>	13.63±0.13 <sup>b</sup>	-1.72±0.07 <sup>b</sup>
8	33.44±0.30 <sup>c</sup>	13.57±0.15 <sup>ab</sup>	-1.70±0.08 <sup>ab</sup>
10	33.54±0.45 <sup>bc</sup>	13.56±0.21 <sup>ab</sup>	-1.69±0.09 <sup>ab</sup>
12	33.80±0.32 <sup>abc</sup>	13.43±0.14 <sup>a</sup>	-1.68±0.08 <sup>ab</sup>
14	33.83±0.65 <sup>abc</sup>	13.45±0.11 <sup>a</sup>	-1.61±0.14 <sup>a</sup>
16	33.90±0.40 <sup>ab</sup>	13.45±0.17 <sup>a</sup>	-1.60±0.09 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : <sup>a-d</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.8 ผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

ระยะเวลาในการแช่น้ำ (ชั่วโมง)	ลักษณะทางกายภาพ
	ค่าความแข็ง (กรัม-แรง)
2	595.43±34.10 <sup>c</sup>
4	629.82±48.55 <sup>b</sup>
6	632.42±38.56 <sup>b</sup>
8	709.02±34.34 <sup>a</sup>
10	709.58±24.14 <sup>a</sup>
12	710.60±53.89 <sup>a</sup>
14	717.22±43.49 <sup>a</sup>
16	732.57±32.81 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : <sup>a-c</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อผสม โซเดียมอัลจินเตเข้ากับน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ รินใส่ช้อนตวง แช่ลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ กระบวนการเกิดเจลจะเกิดขึ้นทันที และดำเนินไปอย่างรวดเร็ว (Lee และ Roger, 2012) เกิดเป็นเจลทรงกลมที่ห่อหุ้มของเหลวไว้ และมีลักษณะหนาขึ้นเรื่อยๆ จากการแพร่ของแคลเซียมไอออน และการเกิดเจลจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งเกิดเป็นเจลที่สมบูรณ์ทั้งหมด จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า ระยะเวลาในการแช่น้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อ น้ำหนัก และขนาดของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ กล่าวคือ ที่ระยะเวลา 2 ชั่วโมงไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีน้ำหนัก และขนาดเฉลี่ย 1.02±0.07 กรัม และ 11.77±0.14 มิลลิเมตรตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 1.05±0.04 กรัม และ 11.96±0.18 มิลลิเมตรตามลำดับ เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 10 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และเมื่อทำการแช่ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในน้ำต่อจนครบระยะเวลา 16 ชั่วโมง พบว่า คุณภาพทางกายค่าน้ำหนัก และขนาดของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

เมื่อพิจารณาค่าสีแสดงดังตารางที่ 4.7 พบว่า ระยะเวลาในการแช่น้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) กล่าวคือ ที่ระยะเวลาในการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) เท่ากับ 32.68±0.40, 13.80±0.15 และ -1.73±0.05 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็น 33.90±0.40 ค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีน้ำเงิน ( $b^*$ ) มีแนวโน้มลดลงอยู่ที่ 13.45±0.17 และ -1.60±0.09 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำเพิ่มขึ้นเป็น

16 ชั่วโมง สอดคล้องกับผลการศึกษาของ วรรณวิมล (2558) ที่พบว่า เมื่อระยะเวลาในการแช่น้ำเย็นเพิ่มขึ้น ทำให้ขนาด และน้ำหนักของเต้าหู้ทรงกลมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เป็นผลให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าที่เพิ่มขึ้น-ลดลงนั้นน้อยมาก และไม่ต่างกันเมื่อสังเกตด้วยตา

เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่า ที่ระยะเวลาในการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีค่าความแข็งเฉลี่ย  $595.43 \pm 34.10$  กรัม-แรง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และมีค่าคงที่ ที่ระยะเวลาดั้งแต่ 8 ชั่วโมงเป็นต้นไป โดยมีค่าความแข็งเฉลี่ย  $709.02 \pm 34.34$  กรัม-แรง แสดงดังตารางที่ 4.8 ซึ่งหมายถึงการเกิดเป็นเจลสมบูรณ์

การเลือกระยะเวลาในการแช่น้ำ พิจารณาจากระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถเกิดเจลได้สมบูรณ์ โดยผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ระยะเวลาในการแช่น้ำ 8 ชั่วโมง มีค่าความแข็งไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ใช้ระยะเวลาในการแช่น้ำที่เวลา 10, 12, 14 และ 16 ชั่วโมง ดังนั้น การทดลองนี้จึงเลือกใช้ระยะเวลาในการแช่น้ำที่ 8 ชั่วโมงเพื่อใช้สำหรับการเตรียมผลิตภัณฑ์ ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่



ภาพที่ 4.7 ลักษณะด้านในของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เกิดเจลสมบูรณ์

## 4.2 ผลการศึกษาการเสริมอินนูลินในผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

การศึกษากการเสริมอินนูลินในผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยการทดลองเสริมอินนูลินในระหว่างการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ ขั้นตอนการเสริมอินนูลินในการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ แสดงดังภาพที่ 3.2 กำหนดปริมาณของอินนูลินที่ 2, 5, และ 8 กรัม ต่อ ปริมาณของน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 50 กรัม เทียบกับปริมาณหนึ่งหน่วยบริโภคอ้างอิงของกลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูปประเภทข้าวต้ม (กระทรวงสาธารณสุข, 2541) และทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะกับตัวอย่างควบคุม (difference from control) ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยมีปัจจัยที่ทำการทดสอบได้แก่ สี กลิ่น รสชาติ (ความหวาน) และเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ด้วยวิธีการใช้สเกลความแตกต่าง เมื่อกำหนดให้สเกล 0 หมายถึง ไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม สเกล 1 ถึง 5 หมายถึง แตกต่างในทางมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม และสเกล -1 ถึง -5 หมายถึง แตกต่างในทางน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม รายละเอียดแบบสอบถามแสดงดังภาคผนวก จ.2 และทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยความแตกต่างด้วยวิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างกับตัวอย่างควบคุมของปัจจัยคุณภาพผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมอินนูลินในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

ปริมาณอินนูลิน:น้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 50กรัม	สี	กลิ่น <sup>ns</sup>	รสชาติ (ความหวาน)	เนื้อสัมผัส (ความแข็ง) <sup>ns</sup>
อินนูลิน 2 กรัม	-0.4±0.67 <sup>a</sup>	0.07± 0.78	0.13±1.01 <sup>b</sup>	0.63± 0.96
อินนูลิน 5 กรัม	-0.3±0.65 <sup>a</sup>	0.17±0.79	0.03±0.96 <sup>b</sup>	0.47 ± 1.31
อินนูลิน 8 กรัม	-1.77±1.38 <sup>b</sup>	0.27± 0.98	0.57± 0.73 <sup>a</sup>	-0.33± 1.63

หมายเหตุ : <sup>a</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่แตกต่างกันกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ไม่แตกต่างกับตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

จากตารางที่ 4.9 พบว่า ปัจจัยคุณภาพด้านกลิ่น และเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ของตัวอย่างไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมอินนูลินทั้ง 3 ระดับได้รับสเกลความแตกต่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0 ซึ่งหมายถึงไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม (ไม่เสริมอินนูลิน) และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) เมื่อพิจารณาปัจจัยคุณภาพด้านสีพบว่า เมื่อเสริมอินนูลินในปริมาณที่สูงขึ้น ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้จะแนวโน้มของความแตกต่างด้านสีเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมมากขึ้น กล่าวคือ มีสีอ่อนกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้เสริมอินนูลิน ซึ่ง

สอดคล้องกับงานวิจัยของรวิพร และคณะ (2553) ได้รายงานว่ อินนูลินมีผลทำให้ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) เพิ่มขึ้น และค่าสีแดง ( $a^*$ ) ลดลงเมื่อทำการทดลองเติมอินนูลินลงในผลิตภัณฑ์เนนม

เมื่อพิจารณาปัจจัยคุณภาพด้านรสชาติ (ความหวาน) พบว่าตัวอย่างไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมอินนูลินทั้ง 3 ระดับได้รับสเกลความแตกต่างเฉลี่ยใกล้เคียงกับ 0 ซึ่งหมายถึงไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม แต่ตัวอย่างไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เสริมอินนูลิน 8 กรัม ได้รับสเกลความแตกต่างเฉลี่ยมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) คือ 0.57 แสดงดังตารางที่ 4.9 กล่าวคือ มีรสชาติหวานกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้เสริมอินนูลิน ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติของอินนูลิน ที่เป็น โพลีแซคคาไรด์ที่อยู่ในกลุ่มฟรุคแตน (fructan) ประกอบไปด้วยน้ำตาลฟรุคโตสที่เชื่อมต่อกันเป็นสายยาว จำนวน 2 ถึง 60 หน่วย (ศิริพรและคณะ, 2555) จึงทำให้มีรสชาติหวานเล็กน้อย และมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อปรับปรุงรสชาติอาหารอีกด้วย (รูสมัน, 2557)

การเลือกระดับของอินนูลินที่ใช้เสริมลงในผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ พิจารณาจากตัวอย่างไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมอินนูลิน ที่มีปริมาณของอินนูลินสูงที่สุด และได้รับสเกลความแตกต่างเฉลี่ยน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้เสริมอินนูลิน) จึงเลือกสภาวะไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมอินนูลินที่ 5 กรัม เพื่อใช้ในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ และทำการทดลองในลำดับต่อไป

### 4.3 ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระหว่างการเก็บรักษา

ทดลองทำไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ตามสภาวะที่คัดเลือกจากข้อ 4.2 คือ สภาวะไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมอินนูลินที่ 5 กรัม ขั้นตอนการเสริมอินนูลินในการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่แสดงดังภาพที่ 3.2 จากนั้นเก็บรักษาตัวอย่างไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในกล่องพลาสติกที่ทำจากโพลีเอทิลีนถ่วงละ 50 กรัม และบรรจุน้ำสะอาดไรซ์ 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน และเก็บตัวอย่างทุกๆ วันที่ 1, 3, 6, 9, 12 และ 15 โดยทำการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสด้านความแข็ง ค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.10 และตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ค่าความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาแตกต่างกัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	ค่าความแข็ง (กรัม·แรง)
1	694.12±38.46 <sup>c</sup>
3	725.21±31.76 <sup>b</sup>
6	769.97±52.29 <sup>b</sup>
9	776.49±10.20 <sup>a</sup>
12	649.00±29.84 <sup>c</sup>
15	637.19±50.81 <sup>c</sup>

หมายเหตุ : <sup>a-c</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.11 ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ปริมาณกรดทั้งหมด และปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะเวลาในการเก็บรักษาแตกต่างกัน

ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)	pH	ปริมาณกรดทั้งหมด (%)	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)
1	6.16±0.01 <sup>a</sup>	0.05±0.00 <sup>cd</sup>	ND
3	6.13±0.02 <sup>b</sup>	0.05±0.01 <sup>cd</sup>	ND
6	6.06±0.02 <sup>c</sup>	0.06±0.01 <sup>bc</sup>	ND
9	6.06±0.01 <sup>c</sup>	0.07± 0.01 <sup>b</sup>	ND
12	6.04±0.01 <sup>cd</sup>	0.08±0.00 <sup>a</sup>	ND
15	6.03±0.01 <sup>d</sup>	0.09±0.01 <sup>a</sup>	ND

หมายเหตุ : <sup>a-d</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ค่าเฉลี่ย ± SD จากการทดลอง 3 ซ้ำ

ND หมายถึง ตรวจพบจำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า 10 โคโลนีต่อกรัม

จากตารางที่ 4.10 พบว่าในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในช่วงวันที่ 1 ถึง วันที่ 9 ค่าความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) คือ จาก 694.12±38.46 กรัม·แรง เป็น 776.49±10.20 กรัม·แรง แต่เมื่อทำการเก็บรักษาต่อจนถึงวันที่ 12 และวันที่ 15 ค่าความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่กลับลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) คือ 637.19±50.81 กรัม·แรง แต่เมื่อพิจารณาค่าความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในวันที่ 1 และวันที่ 15 พบว่าค่าความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) จากตารางที่ 4.11 พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ของ

ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีแนวโน้มลดลงจาก 6.16 เป็น 6.03 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) ซึ่งสอดคล้องกับผลของปริมาณกรดทั้งหมดเมื่อคำนวณเทียบกับกรดแลคติก พบว่าปริมาณกรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P \leq 0.05$ ) อย่างไรก็ตามตรวจไม่พบการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เมื่อทำการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ตลอดระยะเวลา 15 วัน ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารประเภทอาหารปรุงสุกแล้วแช่เย็นหรือแช่แข็ง และต้องอุ่นก่อนบริโภค (กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์, 2560) โดยจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดต้องไม่เกิน  $1 \times 10^6$  ต่อตัวอย่างอาหาร 1 กรัม จึงแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถเก็บรักษาได้อย่างน้อย 15 วัน

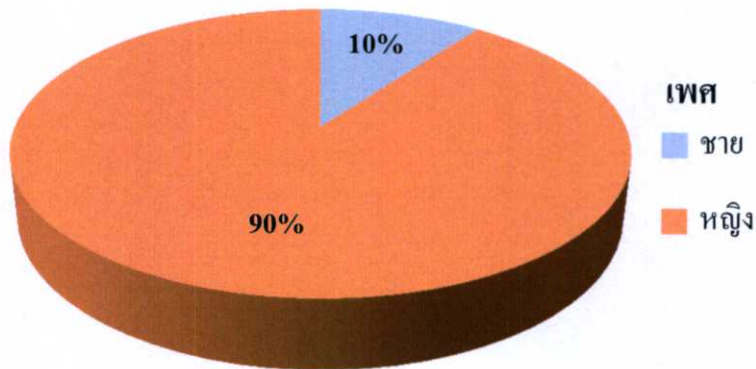
#### 4.4 ผลการศึกษาการยอมรับเมนูอาหารคาว และหวานเมื่อใช้ไข่มุกข้าวเป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารผู้สูงอายุ

นำเสนอการประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในเมนูอาหารสำหรับผู้สูงอายุ จำนวน 2 เมนูได้แก่ ได้แก่ “สเต็กปลากระพง เสิร์ฟคู่กับยำส้มโอไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” และ “พุดดิ้งมะม่วงไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” โดยใช้สภาวะในการเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้จากข้อ 4.2 คือ สภาวะไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมอินนูลินที่ 5 กรัม จากนั้นทำการทดสอบความชอบ และการยอมรับโดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ 9 point Hedonic scale โดยคัดเลือกผู้สูงอายุ ที่มีอายุตั้งแต่ 60 ปี – 70 ปี และมีความรู้ หรือมีความสนใจด้านอาหารจำนวน 10 ท่าน ทำการทดสอบ ณ ตลาด อ.ต.ก. (องค์การตลาดเพื่อเกษตรกร) ทำการเสิร์ฟตัวอย่างทั้ง 2 เมนู ต่อผู้ทดสอบ 1 ท่าน โดยมีปัจจัยที่ทำการทดสอบได้แก่ ลักษณะปรากฏ ความเข้ากันของเมนู รสชาติ เนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม และการยอมรับ ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.8 ถึง 4.10 และตารางที่ 4.12 และ 4.13

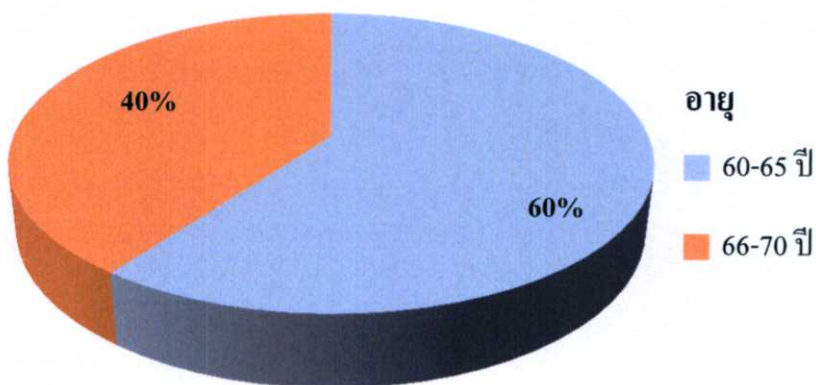
การประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในเมนูอาหารสำหรับผู้สูงอายุ ในเมนู “สเต็กปลากระพง เสิร์ฟคู่กับยำส้มโอไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” มีแนวคิดที่อาหารจานนี้ผู้สูงอายุจะได้รับสารอาหารครบถ้วน โดยได้รับโปรตีนเป็นหลักจากปลากระพง คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (complex carbohydrate) จากไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ วิตามิน และเกลือแร่จากส้มโอ และวัตถุดิบอื่นๆ (รายละเอียดเมนูแสดงดังภาคผนวก 1)

สำหรับเมนู “พุดดิ้งมะม่วงไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” มีแนวคิดจากการที่ส่วนผสมในขนมนี้มีปริมาณของน้ำตาล และไขมันที่ค่อนข้างสูง การเสริม complex carbohydrate ที่ได้จากไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมอินนูลิน เป็นการเพิ่มเส้นใยอาหารที่ช่วยส่งเสริมระบบย่อยอาหาร (รายละเอียดเมนูแสดงดังภาคผนวก 2)

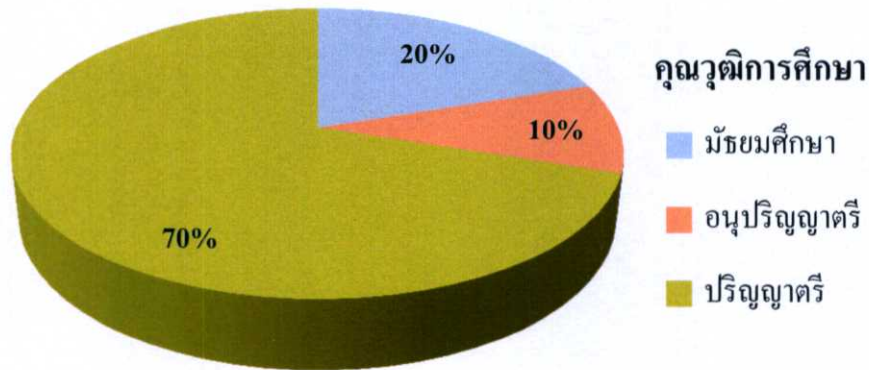
จึงกล่าวได้ว่าสามารถใช้ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหารในธุรกิจบริการอาหารได้ โดยสามารถใช้ตกแต่งเมนูอาหารต่างๆ เพื่อเพิ่มความสวยงาม ความน่าสนใจ และความแปลกใหม่ ในขณะที่เดียวกันก็สามารถเพิ่มคุณค่าทางอาหารด้วย เนื่องจากไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีคุณสมบัติเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน (complex carbohydrate) ที่ได้จากข้าวกล้อง และการเสริมอินนูลิน นอกจากนี้การนำไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มาประยุกต์ในเมนูสำหรับผู้สูงอายุ ความแปลกใหม่ยังช่วยเพิ่มการเจริญอาหารให้กับผู้สูงอายุได้



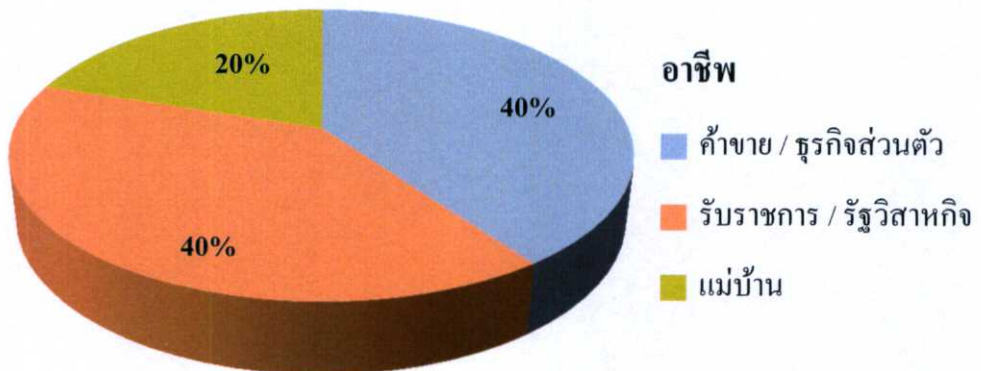
ภาพที่ 4.8 ข้อมูลทั่วไปด้านเพศของผู้ทดสอบ



ภาพที่ 4.9 ข้อมูลทั่วไปด้านอายุของผู้ทดสอบ



ภาพที่ 4.10 ข้อมูลทั่วไปด้านคุณวุฒิการศึกษาของผู้ทดสอบ



ภาพที่ 4.11 ข้อมูลทั่วไปด้านอาชีพของผู้ทดสอบ

จากการทดลองพบว่า ในจำนวนผู้สูงอายุที่ทำการทดสอบคิดเป็นผู้สูงอายุเพศชายร้อยละ 10 และเพศหญิงร้อยละ 90 แสดงดังภาพที่ 4.8 มีอายุอยู่ในช่วง 60 – 65 ปีคิดเป็นร้อยละ 60 และช่วง 66 – 70 ปีร้อยละ 40 (ภาพที่ 4.9) มีคุณวุฒิการศึกษาในระดับมัธยมศึกษา อนุปริญญาตรี และปริญญาตรีร้อยละ 20, 10 และ 70 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.10) และมีผู้สูงอายุที่ประกอบอาชีพปัจจุบันหรือก่อนเกษียณได้แก่ อาชีพค้าขาย/ธุรกิจส่วนตัว รับราชการ/รัฐวิสาหกิจ และแม่บ้านร้อยละ 40, 40 และ 20 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.11) และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ และการยอมรับต่อเมนู “ปลากะพงเสิร์ฟคู่กับ ยำส้มโอไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” พบว่าคะแนนเฉลี่ยความชอบต่อปัจจัยคุณภาพด้าน ลักษณะปรากฏ ความเข้ากันของเมนู รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเท่ากับ 8.40, 8.10, 8.10, 7.90 และ 8.20 คะแนนตามลำดับ ซึ่งทุกปัจจัยได้รับคะแนนอยู่ในเกณฑ์ ชอบมาก และได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบคิดเป็นร้อยละ 100 ดัง

แสดงในตารางที่ 4.11 และจากตารางที่ 4.12 พบว่า เมนู “พุดดิ้งมะม่วงไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” ได้รับความเห็นชอบต่อปัจจัยคุณภาพด้านลักษณะปรากฏเท่ากับ 9 คะแนน คือ อยู่ในเกณฑ์ชอบมากที่สุด โดยได้รับความเห็นชอบด้านความเข้ากันของเมนู รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมเท่ากับ 8.5, 8.5, 8.4 และ 8.7 คะแนนตามลำดับ และได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบคิดเป็นร้อยละ 100 ดังแสดงในตารางที่ 4.12 โดยผู้สูงอายุที่ทำการทดสอบได้ให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมว่า ควรปรับปรุงรสชาติของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ให้มีความหอมของข้าวมากขึ้น เนื่องจากมีรสชาติจัด จึงทำให้โดนรสชาติจากส่วนผสมอย่างอื่นกลบ หากปรับให้มีความหอมของข้าวจะทำให้ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีความโดดเด่น และน่ารับประทานยิ่งขึ้น จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถใช้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้สูงอายุได้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ และการยอมรับต่อเมนู “ปลากะพง เสิร์ฟคู่กับ ยำส้มโอไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่”

ปัจจัยคุณภาพ	ค่าเฉลี่ยคะแนน
ลักษณะปรากฏ (หน้าตาของอาหาร)	8.40±0.70
ความเข้ากันของเมนู	8.10±0.88
รสชาติ	8.10±0.88
เนื้อสัมผัส	7.90±0.99
ความชอบโดยรวม	8.20±0.79
การยอมรับผลิตภัณฑ์	ร้อยละ 100

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ และการยอมรับต่อเมนู “พุดดิ้งมะม่วงไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่”

ปัจจัยคุณภาพ	ค่าเฉลี่ยคะแนน
ลักษณะปรากฏ (หน้าตาของอาหาร)	9.00±0.00
ความเข้ากันของเมนู	8.50±0.85
รสชาติ	8.50±0.71
เนื้อสัมผัส	8.40±0.70
ความชอบโดยรวม	8.70±0.48
การยอมรับผลิตภัณฑ์	ร้อยละ 100

## สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การทดลองศึกษาการเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของข้าวหุงสุก และน้ำสำหรับการเตรียมน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่คือ 1:4 โดยน้ำหนัก

จากนั้นใช้โปรแกรมทางสถิติด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง (RSM) ในการวางแผนการทดลองเพื่อทำนายอัตราส่วนที่เหมาะสม ของความเข้มข้นสารละลาย โซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์ในการผลิตไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยพิจารณาเลือกตัวแปรตอบสนองด้านค่าความแข็งเป็นปัจจัยในการทำนาย กำหนดให้ปริมาณของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์เท่ากับต่ำสุด และค่าความแข็งเท่ากับสูงสุด เนื่องจากต้องการให้ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่มีการพองเต็มที่แข็งแรงมากที่สุดในขณะที่ใช้ปริมาณของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์น้อยที่สุด พบว่าจุดที่เหมาะสม (optimization) จากการทำนายความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมอัลจิเนต และแคลเซียมคลอไรด์เท่ากับ ร้อยละ 1.25 และร้อยละ 1.31 โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การอธิบาย ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.99 และ โมเดลนี้มีค่าความแข็งจากการทำนายเท่ากับ 825.87 กรัม-แรง และเมื่อนำสถานะนี้ไปทดลองเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ พบว่า ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ได้ มีค่าความแข็งเท่ากับ 828.47 กรัม-แรง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทำนาย

การศึกษาผลของระยะเวลาในการแช่น้ำต่อการเกิดเจลของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้อัตราส่วนที่ได้จากการทดลองข้างต้น จากนั้นเก็บรักษาตัวอย่างในภาชนะบรรจุน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส และทำการตรวจวิเคราะห์ทุก 2 ชั่วโมง จนครบ 16 ชั่วโมงพบว่า ระยะเวลาในการแช่น้ำส่งผลต่อปัจจัยคุณภาพด้าน น้ำหนัก ขนาด สี และเนื้อสัมผัส (ค่าความแข็ง) ของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยพิจารณาจากระยะเวลาที่น้อยที่สุด ที่ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เกิดเจลได้สมบูรณ์ พบว่า ระยะเวลาในการแช่ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในน้ำที่เหมาะสมคือ อย่างน้อย 8 ชั่วโมง

ผลการศึกษาการเสริมอินนูลินในผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยกำหนดปริมาณของอินนูลินที่ 2, 5, และ 8 กรัม ต่อ ปริมาณของน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 50 กรัม และทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการเปรียบเทียบความแตกต่างของลักษณะกับตัวอย่างควบคุม (difference from control) เพื่อคัดเลือกระดับของอินนูลินที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากตัวอย่างที่มีปริมาณของอินนูลินสูงที่สุด และได้รับสเกลความแตกต่างเฉลี่ยน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม

(ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ไม่ได้เสริมอินนูลิน) พบว่าระดับของอินนูลินที่เหมาะสมในการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่คือ 5 กรัม ต่อปริมาณน้ำข้าวไรซ์เบอร์รี่ 50 กรัม

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระหว่างการเก็บรักษา โดยทำการเก็บรักษาไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในกล่องพลาสติกโพลีเอทิลีนกล่องละ 50 กรัม บรรจุน้ำสเตอร์ไรซ์ 50 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 วัน พบว่า ไม่พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในระหว่างการเก็บรักษา จึงสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่สามารถเก็บรักษาได้ อย่างน้อย 15 วัน

การศึกษาการยอมรับเมนูอาหารคาว และหวานเมื่อใช้ไข่มุกข้าวเป็นวัตถุดิบสำหรับอาหารผู้สูงอายุโดยประยุกต์ใช้ผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในเมนูอาหารสำหรับผู้สูง ได้แก่เมนู “สเต็กปลากระพง เสิร์ฟคู่กับยำส้มโอไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” และเมนู “พุดดิ้งมะม่วงไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (9 point Hedonic scale) พบว่า เมนู “ปลากระพงเสิร์ฟคู่กับยำส้มโอไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” ได้รับความเห็นชอบทางประสาทสัมผัสอยู่ในช่วง 8 คะแนน ในขณะที่เมนู “พุดดิ้งมะม่วงไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่” ได้รับความเห็นชอบทางประสาทสัมผัสอยู่ในช่วง 8 - 9 คะแนน กล่าวคือ ทั้ง 2 เมนูได้รับการยอมรับความชอบอยู่ในเกณฑ์ ชอบมาก - ชอบมากที่สุด และได้รับการยอมรับจากผู้สูงอายุที่ทำการทดสอบร้อยละ 100

#### ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการเพิ่มกลิ่นรสข้าวในไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยการเติมกลิ่นรสข้าว
2. ศึกษาการสูญเสียอินนูลินจากไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ในระหว่างการเก็บรักษา
3. ศึกษาการเสริมสารอาหารชนิดอื่นๆในไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

## บรรณานุกรม

- กรมการข้าว (ม.ป.ป.) พันธุ์ข้าว. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.brrd.in.th/rkb2/varieties/images/content/image/ricephysio/seed-compare.png>.
- กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์. 2560. ประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ ฉบับที่ 3 เรื่องเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร.
- กระทรวงสาธารณสุข. 2541. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 182 เรื่องฉลากโภชนาการ. กัมปนาท หวลนุตตา และ ธนิกันต์ แสงน้อม. 2556. การประยุกต์ใช้พอลิเมอร์ที่ได้จากทรัพยากรทางทะเลในทางเภสัชกรรม. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 18(2) : 263-273.
- ข้าวไรซ์เบอร์รี่ และสรรพคุณเพื่อสุขภาพ. 2560. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.honestdocs.co/riceberry-and-its-benefits>.
- จรัล ทรัพย์เสรี. 2552. **DOE Central Composite Design**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://www.tp.a.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/FQ145\\_p72-74.pdf](http://www.tp.a.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/FQ145_p72-74.pdf).
- คุณฎี อุดตภาพ. 2559. สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต-ไฮโดรคอลลอยด์และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BC T611/Chap4/chapter4\\_2.html](http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BC T611/Chap4/chapter4_2.html).
- นิตดา หงษ์วิวัฒน์. 2552. ข้าวกล้อง มหัศจรรย์อาหารต้านโรค. กรุงเทพฯ : แสงแดด. 119 หน้า.
- นิธิยา รัตนานพนธ์. 2553. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์. 487 หน้า.
- นवलพรรณ นงศ์เยาว์, นันทน์ภัส แก้วประดับ, พรรณี รัตนชัยสิทธิ์ และจิรศักดิ์ คงเกียรติขจร. 2557. การวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบแอนโทไซยานินในรำข้าวสี. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 10, 649-658.
- บรรจบ ชุณหสวัตติกุล. 2553. ข้าวกล้องดีต่อสุขภาพ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://www.thaicam.go.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=314:-8-&catid=81:2010-08-06-03-43-56&Itemid=147](http://www.thaicam.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=314:-8-&catid=81:2010-08-06-03-43-56&Itemid=147).
- พนม ทองมาก. 2557. “การขึ้นรูปทรงกลมของคาเวียร์กะทิโดยใช้โซเดียมอัลจิเนตและการประยุกต์ใช้ในอาหารไทย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการและบริการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พิมพ์ชนก (นามแฝง). 2556. ประโยชน์ของ“ข้าวไรซ์เบอร์รี่”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.thaihealth.or.th/Content/6908-%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0>

%B9%82%E0%B8%A2%E0%B8%8A%E0%B8%99%E0%B9%8C%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%20%E2%80%99%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B9%84%E0%B8%A3%E0%B8%8B%E0%B9%8C%E0%B9%80%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B9%88%E2%80%99.html.

พระพรหม โพธิ์ทอง. ม.ป.ป. **วัตถุเจือปนในอาหาร (Food additive)**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :

<http://haamor.com/th/%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%96%E0%B8%8%E0%B9%80%E0%B8%88%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%9B%E0%B8%99%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%B2%E0%B8%AB%E0%B8%B2%E0%B8%A3/>.

รวีพร ศรีสำราญ, ฉวีวรรณ พันธุ์ไชยศรี, ธเนศ แก้วกำเนิด และวิจิตรา แดงปรก. 2553. “ผลการเติมอินูลินต่อคุณภาพทางกายภาพและสมบัติทางประสาทสัมผัสของไส้กรอกไก่ไข่ม้วนต่ำ.” หน้า 421-427. ใน การประชุมวิชาการ ประจำปี 2553. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

รุสมัน คะแซสามะ. 2557. “การสกัดและการทำบริสุทธิ์โพลิโกแซคคาไรด์จากเนื้อแก้วมังกรและการประเมินคุณสมบัติการเป็นสารพรีไบโอติก.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

รัชณี พุทธา. 2560. มารูจักอินูลิน(inulin)ในบทบาทพรีไบโอติก(prebiotic)กันเถอะ. บทความวิชาการ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยบูรพา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://agri-tech.sakaeo.buu.ac.th/images/imagenews/article/Ratchanee\\_Puttha\\_2.docx\\_%E0%B8%81%E0%B8%A1%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E%E0%B8%99%E0%8%98.pdf](http://agri-tech.sakaeo.buu.ac.th/images/imagenews/article/Ratchanee_Puttha_2.docx_%E0%B8%81%E0%B8%A1%E0%B8%A0%E0%B8%B2%E0%B8%9E%E0%B8%99%E0%8%98.pdf).

วรรณวิมล พุ่มโพธิ์. 2558. “การผลิตเต้าหู้โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบทรงกลม.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วรรณมา คุลยชญ. 2549. **เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 166 หน้า.

วันดี วราวิทย์. 2551. **โพรไบโอติกและพรีไบโอติก**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.doctor.or.th/clinic/detail/6931>.

ศิริพร ดันจ้อ, ครรชิต จุฑประสงค์, ชัญญุติตา ไชยโต และสนั่น จอกลอย. 2555. อินูลินและฟรุกโตโพลิโกแซคคาไรด์ในแก่นตะวันสายพันธุ์ต่างๆ. วารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 17(11) : 25-34

- ศิวาพร ศิวเวช. 2546. **วัตถุดิบอาหาร เล่ม 1. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ, นครปฐม. 380 หน้า.**
- ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2557. **คุณสมบัติทางโภชนาการของข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://dna.kps.ku.ac.th/index.php/articles-rice-rsc-rgdu-knowledge/29-2015-03-27-02-04-15/53-riceberry>.
- สวามินี ธีระวุฒิ และปฏิยุทธ์ ขวัญอ่อน. 2558. **การยืดอายุการเก็บรักษาหอยแมลงภู่สดด้วยการเคลือบอัลจินต ผสมสารกันหืนร่วมกับการบรรจุแบบปรับสภาพบรรยากาศ: ผลของสารละลายอัลจินตผสมสารกันหืน** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [http://digitalcollect.lib.buu.ac.th/dcms/files/2559\\_082](http://digitalcollect.lib.buu.ac.th/dcms/files/2559_082).
- สิริสา สุมงคล. 2556. “การเพิ่มการรอดชีวิตของแบคทีเรียโปรไบโอติกโดยวิธีการห่อหุ้มร่วมกับเส้นใยจากพืชหัว.” **วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.**
- สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2559. **บทสรุปสำหรับผู้บริหาร.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://service.nso.go.th/nso/web/survey/surpop2-1-16.html>.
- อนุวัตร แจ่มชัด. 2552. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 136 หน้า.**
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. **ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 366 หน้า.**
- โยธกา ปัชชา และ สาโรจน์ สิริสันสนียกุล. 2555. **ไรซ์เบอร์รี่: ข้าวต้านอนุมูลอิสระ.** [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.biotec.or.th/TSB/images/stories/journal/E-mag%20March%20-%20August%202012.pdf>.
- ใหม่ มูลโสม. 2558. **อาหารสำหรับผู้สูงอายุ. กลุ่มงานพัฒนาทรัพยากรสารสนเทศ สำนักวิชาการ AOAC. 2012. Official Method of Analysis of AOAC International. 19<sup>th</sup> ed. Washington, D.C., U.S.A.**
- Cocktail In A Sphere: Mojito Spherification Recipe.** 2014. [Online]. Available : <http://www.souschef.co.uk/bureau-of-taste/wp-content/plugins/slideshow-gallery/vendors/timthumb.php?src=wp-content/uploads/slideshow-gallery/gooseberry-mojitosphere.jpg&w=624&h=444&q=100&a=t>.
- Harington, J. 1965. The Desirability Function. **Industrial Quality Control.** 21 : 494-498.
- Herrea M.G, Lozano-Esquivel I.E, Ponce de León-Ramírez Y.R, Martínez-Padilla L.P. 2012.

- Effect of added calcium chloride on the physicochemical and rheological properties of aqueous mixtures of sodium caseinate/sodium alginate and respective oil-in-water emulsions.** *Food Hydrocolloids*. 29 : 175-184.
- Jozef. 2012. **Modern cooking introduction.** [Online]. Available :[https://www.slideshare.net/Jozef\\_a/modern-cooking-introduction-11405775](https://www.slideshare.net/Jozef_a/modern-cooking-introduction-11405775).
- Lazic, Z. R. 2004. **Design of Experiments in Chemical Engineering-a Practical Guide.** WILEY-VCH, Verlag GmbH and Co. KGaA, Weinheim.
- Lee, P. and Rogers, M.A. 2012. “Effect of calcium source and exposure-time on basic caviar spherification using sodium alginate.” **International Journal of Gastronomy and Food Science**. 1 : 96-100.
- LeRoux M. A., Farshid G., and Lori A. S. 1999. “Compressive and shear properties of alginate gel: effect of sodium ions and alginate concentration.” **Journal of biomedical materials research**. 47 : 46-53.
- Logsdon, J. 2015. **Spherification.** [Online]. Available : <http://www.amazingfoodmadeeasy.com/info/modernist-techniques/more/spherification-technique>.
- Nerdygummy. น.ป.ป. โขเดียมอัลจิเนต (Sodium Alginate) คืออะไร?. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : [https://iwp.com/www.nerdygummy.com/wp-content/uploads/2015/08/alg2\\_png24.png?w=800](https://iwp.com/www.nerdygummy.com/wp-content/uploads/2015/08/alg2_png24.png?w=800).
- Nguyen, J. 2011. **Spherification: Cantaloupe Caviar and Noodles.** [Online]. Available : [http://2bp.blogspot.com/-MCjNcMhIngg/TkiJmGqv6I/AAAAAAAAAXk/g\\_6M9HE\\_9Sh4/s1600/IMG\\_8000.jpg](http://2bp.blogspot.com/-MCjNcMhIngg/TkiJmGqv6I/AAAAAAAAAXk/g_6M9HE_9Sh4/s1600/IMG_8000.jpg).
- Ren, L. 2008. “Production of Alginate Beads.” The degree of Master in Food Technology, Massey University.
- Richtier, G. Henrique, S. Virginia, S. and Martha, E. 2015. **Development and sensory evaluation of yogurt added of “caviar” of carrot by children.** n.p., 132-140
- The cooking lab. 2011. **Modernist cuisine Vol 4.** Bellevue.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก.

## ตารางผลการทดลอง

ตาราง ก.1 ลักษณะทางกายภาพด้านน้ำหนัก ขนาด และเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนข้าวหุงสุก และน้ำ	ลักษณะทางกายภาพ		
	น้ำหนัก (กรัม)	ขนาด (มิลลิเมตร)	ค่าความแข็ง (กรัม·แรง)
1:04	0.99±0.03 <sup>a</sup>	11.71±0.15 <sup>a</sup>	701.93±42.65 <sup>c</sup>
1:06	0.98±0.03 <sup>a</sup>	11.73±0.14 <sup>a</sup>	768.00±64.50 <sup>b</sup>
1:08	0.93±0.05 <sup>b</sup>	11.50±0.24 <sup>b</sup>	881.14±70.45 <sup>a</sup>
1:10	0.91±0.04 <sup>b</sup>	11.58±0.10 <sup>b</sup>	840.13±80.00 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : <sup>a-c</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตาราง ก.2 ลักษณะทางกายภาพด้านสีของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่เตรียมได้เมื่อใช้อัตราส่วนของข้าวหุงสุก และน้ำที่แตกต่างกัน

อัตราส่วนข้าวหุงสุก และน้ำ	ลักษณะทางกายภาพ		
	$L^*$	$a^*$	$b^*$
1:04	33.71±0.64 <sup>a</sup>	12.72±0.29 <sup>a</sup>	-1.44±0.41 <sup>c</sup>
1:06	32.64±0.78 <sup>b</sup>	11.76±0.19 <sup>b</sup>	-1.97±0.20 <sup>b</sup>
1:08	32.72±0.48 <sup>b</sup>	11.37±0.20 <sup>c</sup>	-2.08±0.16 <sup>b</sup>
1:10	32.51±0.46 <sup>b</sup>	11.06±0.16 <sup>d</sup>	-2.44±1.58 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : <sup>a-d</sup> หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแนวตั้งที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

## ภาคผนวก ข.

### การวิเคราะห์ทางเคมี

#### ข.1 การวิเคราะห์หาปริมาณกรดทั้งหมด (กรดแลกติก) (AOAC,2012)

##### การเตรียมสารเคมี

ข.1.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH เข้มข้น 0.1 โมลาร์)  
ชั่ง NaOH 8 กรัม ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าขนาดทศนิยม 2 ตำแหน่ง ละลายด้วยน้ำกลั่น ต้ม ที่ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 2000 มิลลิลิตร ในขวดปรับปริมาตรน้ำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยโพแทสเซียมไฮโดรเจนเทลเลต เข้มข้น 0.1 โมลาร์

ข.1.2 สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนเทลเลต (potassium hydrogen phthalate;  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  เข้มข้น 0.1 โมลาร์)

นำ  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  ประมาณ 5 กรัม อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน Desecrator ชั่ง  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน 1.6338 กรัม ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ในบีกเกอร์ 200 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร คนให้ละลายเทใส่ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ กลั่น

การคำนวณหาความเข้มข้นของ  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$

มวลโมเลกุลของ  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 = 204.22$

น้ำหนักของ  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  ที่ชั่ง ได้ = 1.6338 กรัม

ละลายในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

ความเข้มข้นของ  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4 = 1.6338 \times 1000$

$= 204.22 \times 100$

$= 0.0800$  โมลาร์

ข.1.3 ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthaline;  $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ ) เข้มข้น 1%

ชั่ง Phenolphthaline 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง ใส่ในบีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 95% จำนวน 60 มิลลิลิตร คนให้สารละลาย ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้สารละลายโปตัสเซียมไฮโดรเจนเทลเลต (potassium hydrogen phthalate) ที่เตรียมไว้ ทำการไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้การหาจุดยุติของการไทเทรชัน โดยวิธีโพเทนชิโอเมตริก ไตเตรชัน (potentiometric titration) คือ หาจุดยุติโดยการใส่ เครื่องพีเอชมิเตอร์ จุดยุติคือเมื่อมีค่าพีเอช 8.2 คำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์โดยใช้สูตร

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

### วิธีวิเคราะห์

การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดในไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ชั่งไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ 5 กรัม นำมาบดให้ละเอียดใส่ลงในขวดรูปชมพู่ เติมน้ำ กลั่น 25 มิลลิลิตร หยด Phenolphthalein 2-3 หยด ไทเทรตด้วย 0.1 N NaOH จนได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาตร NaOH ที่ใช้ แล้วนำมาคำนวณปริมาณกรดเป็นร้อยละกรดแลกติกโดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละกรดทั้งหมดในรูปกรดแลกติก} = \frac{N \times V \times 90.08 \times 100}{\text{ปริมาณตัวอย่าง} \times 1000}$$

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N

V = ปริมาตรเป็นมิลลิตรของสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต

90.08 = น้ำหนักสมมูลของกรดแลกติก (กรัม)

### ข.2 การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การวิเคราะห์ค่าพีเอช ในเนื้อไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ทำการ Calibration เครื่อง pH meter โดยใช้สารละลาย buffer pH 7 และ pH 4 จากนั้นชั่งเนื้อไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ 25 กรัม นำมาบดให้ละเอียดเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร จุ่ม electrode จากนั้นอ่านค่าที่แสดงในหน้าจอ

## ภาคผนวก ค.

## การวิเคราะห์ทางกายภาพ

## ค.1 การวัดสีของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

เครื่องมือ : (chroma meter; minolta CR – 400, Japan)

ตัวอย่าง : ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่จำนวน 10 เม็ด

1.1 ปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน

(white blank;  $L^* = 97$ ,  $a^* = -0.18$ ,  $b^* = 1.84$ )

1.2 ทำการวัดสีโดยแนบเครื่องวัดเข้ากับตัวอย่าง วัดทั้งหมด 10 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของการวัด

1.3 บันทึกค่าสีที่ได้ในรูปแบบค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  โดยที่

$L^*$  หมายถึง ค่าความสว่าง

มีค่าอยู่ในช่วง 0-100

$a^*$  หมายถึง ค่าสีแดง และสีเขียว

เมื่อ  $a^*$  มีค่าเป็นบวก คือ สีแดง

เมื่อ  $a^*$  มีค่าเป็นลบ คือ สีเขียว

$b^*$  หมายถึง ค่าสีเหลือง และสีน้ำเงิน

เมื่อ  $b^*$  มีค่าเป็นบวก คือ สีเหลือง

เมื่อ  $b^*$  มีค่าเป็นลบ คือ สีน้ำเงิน



ภาพที่ ค.1 การวัดสีของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

## ค.2 การวัดเนื้อสัมผัสของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

เครื่องมือ : เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (texture analyzer) รุ่น TA-xt.plus

ตัวอย่าง : ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่จำนวน 10 เม็ด

- 2.1 ปรับมาตรฐานเครื่อง (calibration) ตามโปรแกรม
- 2.2 ทำการวัดเนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 มิลลิเมตร (p/35)
- 2.3 ตั้งค่าระยะ (stain) ที่ร้อยละ 50 และตั้งค่าความเร็วการเคลื่อนที่ของ Load cell ดังนี้
  - 2.3.1 Pre-Test Speed = 1.0 มิลลิเมตร / วินาที
  - 2.3.2 Test Speed = 5.0 มิลลิเมตร / วินาที
  - 2.3.3 Post-Test Speed = 5.0 มิลลิเมตร / วินาที



ภาพที่ ค.2 การวัดเนื้อสัมผัสของไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

## ภาคผนวก ง.

### การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

#### ง.1 วิธีการตรวจหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC, 2012)

##### 1) การเตรียมตัวอย่างที่เป็นของแข็ง

เตรียมตัวอย่างไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ ใส่ตัวอย่างลงในถุงพลาสติกที่ใช้สำหรับเครื่องตีป่น ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 25 กรัม เติมน้ำยาเจือจาง 225 มิลลิลิตร ตีป่นด้วยเครื่อง Stomacher นาน 1 นาที ตัวอย่างที่ได้จะมีระดับการเจือจาง 1:10 ( $10^{-1}$ ) จากนั้นทำ dilution ต่อ เป็น  $10^{-2}$  และ  $10^{-3}$

##### 2) การเตรียมน้ำยาสำหรับเจือจาง Buttlefield's phosphate buffered

###### 2.1 การเตรียมน้ำยาสต็อก

ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) 34 กรัม ในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร ปรับ pH ให้ได้ 7.2 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1N และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร มาเชื่อมใน autoclave อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

###### 2.2 การเตรียม Dilution blank

ตวงสารละลายสต็อก 1.25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น ตวงใส่ขวดที่มีปริมาตร 225 มิลลิลิตร (สำหรับเจือจางตัวอย่าง 25 กรัม) จากนั้นดูดปริมาตร 9 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลองขนาด 12×150 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปมาเชื่อมที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ด้วยเครื่อง autoclave

## ภาคผนวก จ.

## แบบประเมินทางคุณภาพประสาทสัมผัส

## จ.1 แบบสอบถามด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบต่อผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

## แบบสอบถามด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ

ผลิตภัณฑ์ ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ วันที่ ..... ผู้ทดสอบ .....

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่าง ให้คะแนนความชอบตามที่ท่านรู้สึก ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง (กรุณาบ้วนปากก่อนทำการทดสอบตัวอย่าง) โดยสเกลความชอบมีดังนี้

- 1 = ไม่ชอบมากที่สุด                      2 = ไม่ชอบมาก                      3 = ไม่ชอบปานกลาง  
 4 = ไม่ชอบเล็กน้อย                      5 = เฉยๆ                      6 = ชอบเล็กน้อย  
 7 = ชอบปานกลาง                      8 = ชอบมาก                      9 = ชอบมากที่สุด

ปัจจัยคุณภาพ	คะแนนความชอบ (คะแนน 1-9)			
	รหัสตัวอย่าง .....	รหัสตัวอย่าง .....	รหัสตัวอย่าง .....	รหัสตัวอย่าง .....
ลักษณะปรากฏ ( ความสม่ำเสมอ ,ผิวเรียบเนียน )				
สี				
กลิ่นรส				
เนื้อสัมผัส				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ.....  
 .....  
 .....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

## จ.2 แบบสอบถามด้วยการเปรียบเทียบความแตกต่างกับตัวอย่างควบคุม

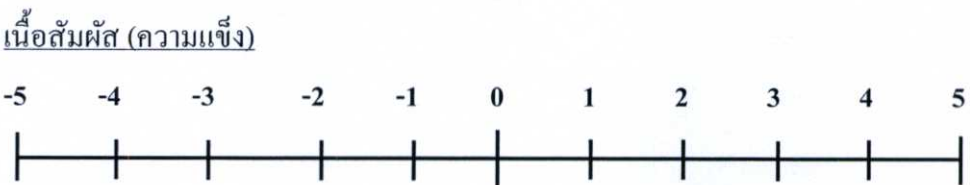
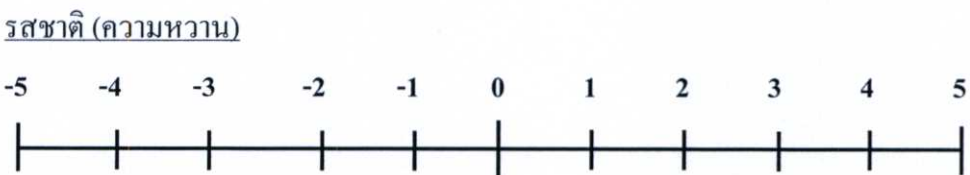
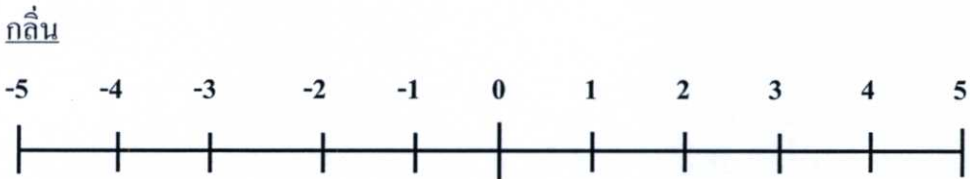
ผลิตภัณฑ์ : ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เสริมอินนูลิน วันที่ \_\_\_\_\_

ผู้ทดสอบ \_\_\_\_\_

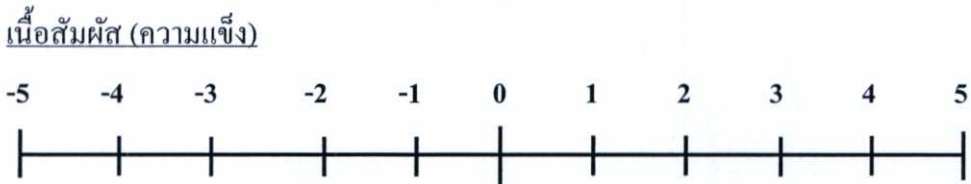
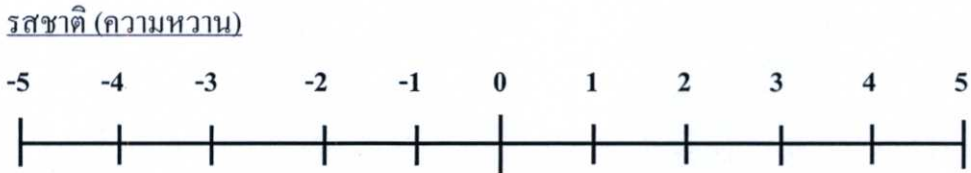
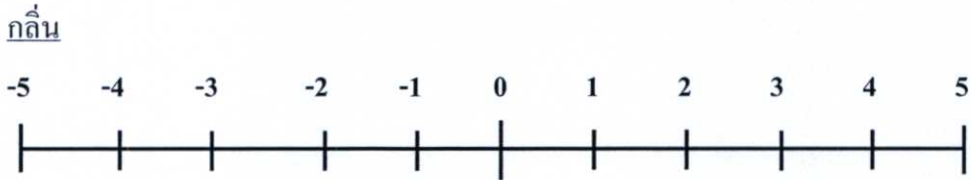
คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างกับตัวอย่าง C โดยทดสอบตัวอย่าง C ก่อน แล้วจึงทดสอบตัวอย่างที่มีรหัสที่ละตัวอย่าง โดยขีดเครื่องหมาย / บนเส้นสเกลตามที่ท่านรู้สึก ให้ตรงกับรหัสตัวอย่าง

- สเกล 0 หมายถึง ไม่แตกต่าง (เมื่อเทียบกับตัวอย่าง C)
- สเกล -1 ถึง -5 หมายถึง แตกต่างในทางน้อยกว่า (เมื่อเทียบกับตัวอย่าง C)
- สเกล 1 ถึง 5 หมายถึง แตกต่างในทางมากกว่า (เมื่อเทียบกับตัวอย่าง C)

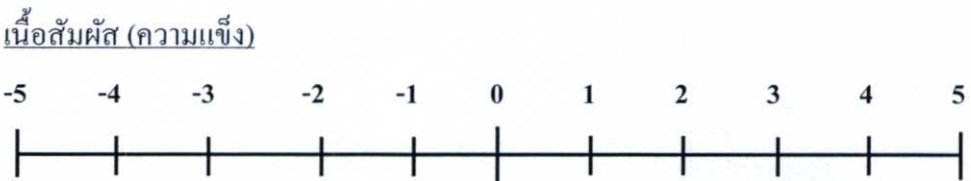
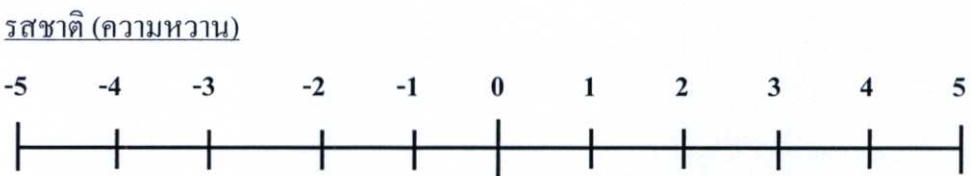
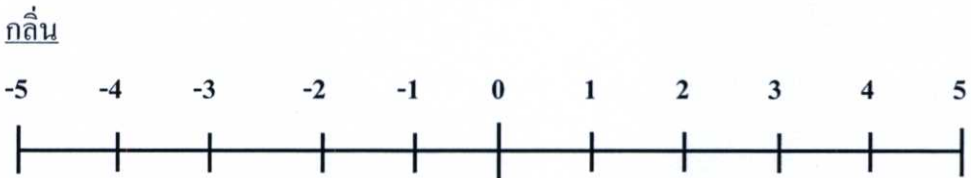
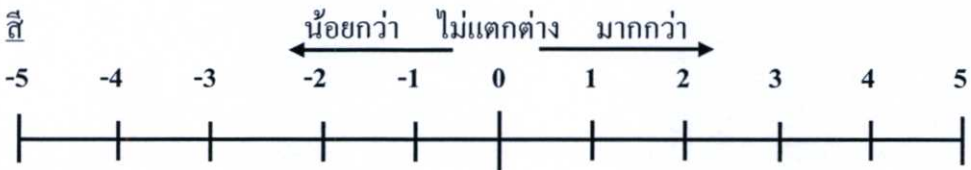
รหัส.....



รหัส.....



รหัส.....



ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

### จ.3 แบบสอบถามความชอบ และการยอมรับผลิตภัณฑ์ “ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่”

เรียน ผู้ตอบแบบสอบถาม

เรื่อง การทดสอบการยอมรับเมนูอาหารคาว และหวาน เมื่อใช้ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่เป็นวัตถุดิบ  
 คำชี้แจง แบบทดสอบชุดนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์ “ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่”  
 ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปทรงกลมเพื่อใช้ในอาหาร เพื่อประกอบวิทยานิพนธ์ของ นางสาวญาตาวิ  
 ลิจิตสมุรณ์ นักศึกษาปริญญาโท สาขาการจัดและบริการอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
 คุณทหารลาดกระบัง จึงใคร่ขอความร่วมมือจากท่าน กรุณาตอบแบบสอบถามให้สมบูรณ์ ข้อมูล  
 ทั้งหมดจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้ และไม่มีผลกระทบใดๆต่อท่านทั้งสิ้น  
 ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถาม โดยมีรายละเอียดของคำถาม  
 ดังต่อไปนี้

#### ส่วนที่1 ข้อมูลสถานภาพทั่วไป

คำแนะนำ กรุณาใส่เครื่องหมาย / ลงใน ( ) หน้าคำตอบที่ท่านเห็นว่าเหมาะสม และตรงตามความ  
 คิดเห็นของท่านมากที่สุด

1. เพศ

( ) ชาย ( ) หญิง

2. อายุ

( ) 60 - 65 ปี ( ) 66 - 70 ปี ( ) 70 ปีขึ้นไป

3. คุณวุฒิการศึกษา

( ) ต่ำกว่ามัธยมศึกษา ( ) มัธยมศึกษา ( ) อนุปริญญาตรี

( ) ปริญญาตรี ( ) ปริญญาโท ( ) สูงกว่าปริญญาโท

4. อาชีพปัจจุบัน หรือ ก่อนเกษียณอายุ

โปรดระบุ ( ..... )

ส่วนที่ 2 แบบสอบถามด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ และการยอมรับเมนูอาหารคาว และหวาน  
เมื่อใช้ไข่มุกข้าวเป็นวัตถุดิบ

คำแนะนำ กรุณาทำการทดสอบชิม และให้คะแนนความชอบให้ตรงกับความรู้สึกของท่าน โดย  
กำหนดเกณฑ์ให้คะแนนดังนี้

9 = ชอบมากที่สุด	8 = ชอบมาก	7 = ชอบปานกลาง
6 = ชอบเล็กน้อย	5 = เฉยๆ	4 = ไม่ชอบเล็กน้อย
3 = ไม่ชอบปานกลาง	2 = ไม่ชอบมาก	1 = ไม่ชอบมากที่สุด

1. เมนู สเต็กปลากระพง เสิร์ฟคู่กับ ยำส้มโอไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

ปัจจัยคุณภาพ	คะแนนความชอบต่อเมนู								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ลักษณะปรากฏ (หน้าตาของอาหาร)									
ความเข้ากันของเมนู									
รสชาติ									
เนื้อสัมผัส									
ความชอบโดยรวม									

การยอมรับผลิตภัณฑ์ ( )ยอมรับ ( )ไม่ยอมรับ

ข้อเสนอแนะ.....  
.....

2. เมนู พุดดิ้งมะม่วงไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

ปัจจัยคุณภาพ	คะแนนความชอบต่อเมนู								
	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ลักษณะปรากฏ (หน้าตาของอาหาร)									
ความเข้ากันของเมนู									
รสชาติ									
เนื้อสัมผัส (ด้านความแข็ง)									
ความชอบโดยรวม									

การยอมรับผลิตภัณฑ์ ( )ยอมรับ ( )ไม่ยอมรับ

ข้อเสนอแนะ.....  
.....

ขอบคุณที่ให้ความร่วมมือ

## ภาคผนวก ฉ.

## เมนูอาหารที่ประยุกต์ใช้ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

ฉ.1 สเต็กปลาทะเลย่าง เสิร์ฟคู่กับ ยำส้มโอไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ (grilled sea bass serve with “rice pearls” spicy pomelo salad )

## 1.1 ส่วนผสม

น้ำพริกเผา	20	กรัม
กะทิ	25	กรัม
น้ำตาลปีบ	33	กรัม
น้ำมะขามเปียก	25	กรัม
น้ำปลา	25	กรัม
เนื้อปลาทะเล	100	กรัม
เนื้อส้ม โอแกะแล้ว	100	กรัม
เนื้อไก่ฉีก (ต้มแล้ว)	50	กรัม
ถั่วลิสงคั่วบด	50	กรัม
มะพร้าวคั่ว	5	กรัม
หอมเจียว	5	กรัม
กุ้งแห้งบด	15	กรัม
ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	20	กรัม
พริกแดงทอดหั่นฝอย	สำหรับตกแต่ง	

## 1.2 วิธีทำ

- 1.2.1 ผสมน้ำพริกเผา กะทิ น้ำตาลปีบ น้ำมะขามเปียก และน้ำปลาเข้าด้วยกัน พักไว้
- 1.2.2 ย่างเนื้อปลาทะเลในกระทะเทพลอน ปูรุกรสด้วยเกลือ และพริกไทย
- 1.2.3 คลุกเคล้าเนื้อส้มโอกับน้ำยำในข้อ 1.2.1 ให้เข้ากัน ตามด้วยเนื้อไก่ฉีก ถั่วลิสงคั่วบด
- 1.2.4 จัดเสิร์ฟ โดยวางเนื้อปลาทะเลก่อนแล้วราดด้วยยำส้มโอไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ และแต่งด้วยพริกแดงทอดหั่นฝอย



ภาพที่ น.1 สเต็กปลากะพง เสิร์ฟคู่กับ ยำส้มโอ ไข่หมู ข้าวไรซ์เบอร์รี่

## ฉ.2 พุดดิ้งมะม่วงไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ (mango pudding with rice pearls )

### 2.1 ส่วนผสม (เนื้อพุดดิ้งมะม่วง)

เจลาตินผง	15	กรัม
น้ำเปล่า	50	กรัม
นมสดจืด	190	กรัม
วิปป์ครีม	80	กรัม
น้ำตาลทราย	40	กรัม
เนื้อมะม่วงสุก	500	กรัม
น้ำมะนาว	15	กรัม
สีผสมอาหารสีเหลือง	เล็กน้อย	
เนื้อมะม่วงสุกสไลด์ต่างๆ	สำหรับตกแต่ง	
ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่	10	กรัม

#### 2.1.1 วิธีทำ (เนื้อพุดดิ้งมะม่วง)

1. โรยเจลาตินผงลงในน้ำเปล่า แช่ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาทีจนกระทั่งอิมตัว พักไว้
2. ผสมนมสดจืด วิปป์ครีม และน้ำตาลทราย ตั้งไฟกลางคนให้น้ำตาลพอละลาย ใส่ ส่วนผสมเจลาตินลงไป และคนผสมต่อจนส่วนผสมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน พักไว้ให้เย็น
3. ปั่นเนื้อมะม่วงสุกจนกระทั่งเนื้อเนียนคล้ายกับซอส เทส่วนผสมของนมที่พักไว้ในข้อ 2 ลงผสมให้เข้ากันแล้วเทใส่ถ้วยพิมพ์โดยตั้งถ้วยพิมพ์ทำมุม 45 องศา แช่เย็นจนกระทั่งส่วนผสมเซ็ทตัว

## 2.2 ส่วนผสม (เนื้อพุดดิ้งกะทิ)

เจลาตินผง	13	กรัม
น้ำเปล่า	100	กรัม
กะทิ	220	กรัม
นมสดจืด	160	กรัม
น้ำตาลทราย	30	กรัม
เกลือ	5	กรัม

### 2.2.1 วิธีทำ (เนื้อพุดดิ้งกะทิ)

1. โรยเจลาตินผงลงในน้ำเปล่า แช่ทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที จนกระทั่งเจลาตินอิมตัว พักไว้
2. ผสมกะทิ นมสดจืด น้ำตาลทราย และเกลือ ในหม้อ ตั้งไฟกลาง คนให้น้ำตาลและเกลือละลาย ใส่ส่วนผสมเจลาติน และผสมต่อจนส่วนผสมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน พักไว้ให้หายร้อน
3. เทส่วนผสมกะทิลงในพิมพ์พุดดิ้งมะม่วงที่เช็ดตัวแล้ว และแช่เย็นจนกระทั่งส่วนผสมพุดดิ้งเซตตัวทั้งหมด
4. แต่งหน้าขนมด้วยมะม่วงสไลด์บางๆ และไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่



ภาพที่ ๑.2 เมนู “พุดดิ้งมะม่วงไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่”

ภาคผนวก ช.

## ภาพกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

### ช.1 ภาพกระบวนการเตรียมผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่



1. ผสมข้าวหุงสุก กับน้ำ 1:2โดยน้ำหนัก



2. ปั่นผสม โดยใช้ความเร็วสูงสุด 3 นาที



3. เทส่วนผสมลงในสารละลายโซเดียม  
อัลจิเนต



4. ปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นผสมแบบมือถือ



5. ปั่นจนกระทั่งเป็นเนื้อเดียวกัน



6. รินส่วนผสมลงในช้อนตวง (1มล.)



7. จุ่มช้อนลงในสารละลายแคลเซียม  
คลอไรด์



8. แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์  
20 นาที



9. ล้างด้วยน้ำกลั่น, พาสเจอร์ไรซ์ที่อุณหภูมิ  
80 °C 1 นาที

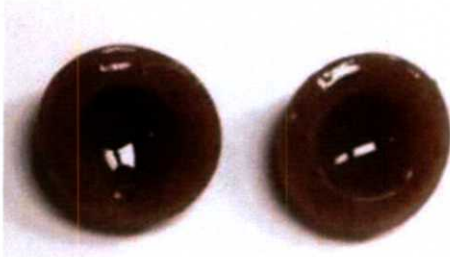


10. เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C

## ภาคผนวก ช.

## ภาพลักษณะด้านในของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่

ช.1 ภาพที่ลักษณะด้านในของผลิตภัณฑ์ไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ที่ระยะเวลาการแช่น้ำ 1-8 ชั่วโมง



ระยะเวลาการแช่น้ำ 1 ชั่วโมง



ระยะเวลาการแช่น้ำ 2 ชั่วโมง



ระยะเวลาการแช่น้ำ 3 ชั่วโมง



ระยะเวลาการแช่น้ำ 4 ชั่วโมง



ระยะเวลาการแช่น้ำ 5 ชั่วโมง



ระยะเวลาการแช่น้ำ 6 ชั่วโมง



ระยะเวลาการแช่น้ำ 7 ชั่วโมง



ระยะเวลาการแช่น้ำ 8 ชั่วโมง

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวญาตาวิ ลิขิตสมบุรณ์
วัน เดือน ปีเกิด	16 มิถุนายน พ.ศ. 2535
ที่อยู่	67 ซ.จรัญสนิทวงศ์ 40/1 แขวงบางยี่ขัน เขตบางพลัด กรุงเทพฯ ๙ 10700
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2556 จบการศึกษาระดับปริญญาตรี คหกรรมศาสตร์บัณฑิต คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ สาขาธุรกิจอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พ.ศ.2557 ศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการจัดและบริการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
การนำเสนอผลงาน	การเตรียมไข่มุกข้าวไรซ์เบอร์รี่ โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปทรงกลม การประชุมวิชาการงานเกษตรนเรศวร ครั้งที่ 14 “เกษตรและสุขภาพ” (Agriculture and Health) วันที่ 1 - 2 พฤศจิกายน 2559, คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก, ไทย