



น้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดพาสเจอร์ไรส์และพร้อมชง  
INSTANT AND PASTEURIZED ORGANIC RICE BRAN MILK

อัญฐพล อิศสระ

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร  
มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2558

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

น้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดพาสเจอร์ไรส์และพร้อมชง  
INSTANT AND PASTEURIZED ORGANIC RICE BRAN MILK

อัญฐพล อิศสระ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร

สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

น้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดพาสเจอร์ไรส์และพร้อมขง  
INSTANT AND PASTEURIZED ORGANIC RICE BRAN MILK

อัญชลิต อิศสระ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร  
2558

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทัศน์ สุระวัง)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สโรจน์ รอดคีน)

.....กรรมการ

(ดร. ณิชญา คนชื้อ)

©ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ อ่อนสอาด และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทัศน์ สุระวัง ประธานกรรมการสอบโครงร่างและสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ตามลำดับ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาโรจน์ รอดคีน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย และขอขอบคุณ ดร. ัญญา คนชื้อ กรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ัญฐวดี ดอนลาว ดร. ปิยาภรณ์ เชื้อมชัยตระกูล และ ดร. จิรัฏฐ์ ศิริเมืองมูล อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร ที่ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่าง จนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตากรุณาจึงขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ได้กรุณามอบทุนอุดหนุนวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาในการศึกษาค้นคว้าวิจัยและทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท อรุณรัตน์ จำกัด จังหวัดเชียงราย ที่กรุณาสับสนุนวัสดุอุปกรณ์ในการศึกษาค้นคว้าวิจัยในครั้งนี้ตลอดจนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง และนักวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่เอื้อเพื่อการใช้เครื่องมือในการศึกษาค้นคว้าวิจัย และข้อเสนอแนะต่างๆ

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาเป็นอย่างสูง ที่เปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียนตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และ พี่ๆ เพื่อนๆ ปริญญาโท และ ปริญญาเอก สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงทุกคน ที่แนะนำและให้ความรู้ในการทำวิจัยตลอดจนผู้เขียนหนังสือ และบทความต่างๆ จนสามารถทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ในระดับหนึ่ง

อัญฐพล อิศสระ

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	นํ้านมรำข้าวอินทรีย์ชนิดพาสเจอร์ไรส์และพร้อมซง
ชื่อผู้เขียน	อัฐพล อิศสระ
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีการอาหาร)
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาโรจน์ รอดคิน

### บทคัดย่อ

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญของคนไทยและประชากรอีกหลายชนชาติ จากกระบวนการสีข้าวส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ได้ ได้แก่ ปลายข้าว เปลือกหรือแกลบ และ รำข้าว ซึ่งรำข้าวที่ได้จากกระบวนการสีข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีประโยชน์หลายประการ นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย รำข้าวสามารถนำมาเป็นส่วนผสมของอาหารหลายชนิด เช่น ขนมปัง อาหารเด็กทารก อาหารเสริมโปรตีน เป็นต้น อย่างไรก็ตามไม่พบว่ามีการใช้รำข้าวมาผลิตเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำรำข้าวมาผลิตเป็นเครื่องดื่ม นํ้านมรำข้าว โดยเลือกใช้รำข้าวอินทรีย์เป็นวัตถุดิบตั้งต้น จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปศึกษาสมบัติด้านต่างๆ ได้แก่ กายภาพ เคมี ฤทธิ์ทางชีวภาพ จุลินทรีย์ และลักษณะทางประสาทสัมผัส

เตรียมรำข้าวอินทรีย์ (หอมมะลิ 105) โดยทำให้คงตัวด้วยวิธีการอบลมร้อน (60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง) บด และร่อนให้มีขนาด 35 เมช (500 ไมโครเมตร) เพื่อเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตนํ้านมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ จากนั้นศึกษาอัตราส่วนระหว่างรำข้าวต่อนํ้า สำหรับการผลิตนํ้านมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ พบว่า ที่อัตราส่วน 1: 15 โดยนํ้าหนักต่อปริมาตรเหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ปริมาณร้อยละผลผลิตที่สูง (ร้อยละ 47) เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นๆ จากนั้นเลือกอัตราส่วนดังกล่าวมาศึกษาสมบัติด้านความคงตัวด้วยการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ 5 ชนิด ได้แก่ กัวร์กัม แชนแทนกัม โลกัสปินกัม เพกทิน และคาร์ราจีแนน ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.05, 0.1, 0.3 และ 0.5 โดยนํ้าหนักต่อปริมาตร เปรียบเทียบกับการใช้เอนไซม์ผสมระหว่างอะไมเลสและเซลลูเลส (อัตราส่วน 1:1 ยูนิต์ต่อยูนิต์) ในการเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ พบว่า

น้ำนมข้าวที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (แซนแทนกัม ร้อยละ 0.1) ให้ผลด้านสมบัติต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ ดีกว่าการใช้เอนไซม์ผสม จึงเลือกน้ำนมข้าวดังกล่าวมาปรับปรุงกลิ่นรส (ธรรมชาติวนิลา และซ็อคโกแลต) และระดับความหวาน (น้ำตาลร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ต่างกันต่อไป จากผลการทดลองพบว่าน้ำนมข้าวกลิ่นรสวานิลลาที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 มีผลคะแนนของความชอบโดยรวมสูงที่สุด (6.52 คะแนน) ดังนั้นสูตรน้ำนมข้าวพาสเจอร์ไรส์ดังกล่าวได้นำมาแปรรูปเป็นน้ำนมข้าวอินทรีย์พร้อมชง และศึกษาองค์ประกอบและสมบัติด้านต่างๆ (เคมี กายภาพ ฤทธิ์ทางชีวภาพ จุลินทรีย์ และลักษณะทางประสาทสัมผัส) รวมถึงคุณค่าทางโภชนาการ

ผลการทำแห้งของน้ำนมข้าวอินทรีย์ชนิดผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมข้าวอินทรีย์พร้อมชงที่ได้ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เฉลี่ยร้อยละ 86.43, 4.84 และ 1.05 ตามลำดับ ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 220.56 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ปริมาณ 24.19 ไมโครโมลโทรลต่อกรัมตัวอย่าง ด้านคุณค่าทางโภชนาการพบว่า มีปริมาณกรดอะมิโนไลซีนมากที่สุด (624.23 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมตัวอย่าง) และพบปริมาณกรดไขมัน โอเมกา 3, 6 และ 9 รวมถึงปริมาณวิตามิน บี และฟอสฟอรัสที่สูงเช่นเดียวกัน น้ำนมข้าวอินทรีย์ผงที่ได้มีค่าความขาว 69.51 ปริมาณน้ำอิสระเท่ากับ 0.27 การละลายร้อยละ 56.54 ค่า pH เท่ากับ 6.31 และค่าความหนาแน่นรวมเท่ากับ 0.57 กรัมต่อมิลลิลิตร สมบัติด้านจุลินทรีย์พบว่ามีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดหลังเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส)  $1.2 \times 10^2$  CFU/ml ในขณะที่ไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรคเมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดมาตรฐานของอาหาร ลักษณะทางประสาทสัมผัสพบว่า ผู้บริโภคให้คะแนนต่อคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ ความหวาน ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม ต่อผลิตภัณฑ์ค่อนข้างสูง (มากกว่า 6 คะแนน) นอกจากนี้ค่าการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำนมข้าวอินทรีย์พร้อมชงเท่ากับร้อยละ 80

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าน้ำมันรำข้าวอินทรีย์พร้อมขงมีคุณค่าทางโภชนาการที่สูง มีกรดอะมิโนจำเป็นและกรดไขมันอิสระที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ด้านอนุมูลอิสระอีกด้วย ดังนั้นผลิตภัณฑ์ดังกล่าวสามารถเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกของเครื่องดื่มธัญพืช เพื่อสุขภาพสำหรับผู้บริโภคที่ตระหนักเรื่องสุขภาพ อย่างไรก็ตามข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาเป็นพื้นฐานในการพัฒนาน้ำมันรำข้าวอินทรีย์พร้อมขงให้มีคุณภาพที่ดีต่อไป

**คำสำคัญ:** ผลิตภัณฑ์อินทรีย์ / รำข้าว / เครื่องดื่มพร้อมขง / เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

<b>Thesis Title</b>	Instant and Pasteurized Organic Rice Bran Milk
<b>Author</b>	Utthapon Issara
<b>Degree</b>	Master of Science (Food Technology)
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Saroat Rawdkuen, Ph. D.

## **ABSTRACT**

Rice is a major source of nourishment for Thailand population and other people in the world. The milling process generates rice hull, husk, and rice bran (RB) as by-products. RB has high nutritional value as well as high antioxidant activity. Being high in nutritional qualities, RB has been used as a valuable food material for production of various food products including bakery product, baby food, and high protein powder supplement. However, there is no report on utilization of whole RB in healthy beverage production. Therefore, the objective of this study was to utilize organic RB for production of healthy beverage so called instant organic rice bran milk (IRBM). The properties of IRBM were investigated for physical, chemical, biological, and microbiological properties as well as sensory evaluation.

The organic rice bran was dried in the oven (60°C for 8 hr.), ground and then screened through a 35 mesh sieving machine (500 µM). The sample was used as the starting material for pasteurized rice bran milk production. The ratios of rice bran to water for rice bran milk (RBM) production were investigated and 1:15 (w/v) was appropriated for RBM production due to high percentage of yield (47%) when compared with other ratios. This condition was further used in the next step where five hydrocolloids i.e. guar gum, xanthan gum, locust bean gum, pectin and carrageenan were studied for improving the stability of the product. The different concentrations of hydrocolloids (0.05, 0.1, 0.3, and 0.5% (w/v)) were varied. Effect of hydrocolloids on stability

of product was then compared with the effect of enzymes mixture (alpha-amylase and cellulase at 1:1, Unit/Unit). The results showed that applying RBM with 0.1% (w/v) of xanthan gum provided the better product stability than employing enzymatic hydrolysis. Subsequently, development of RBM formula was carried out. The optimum flavor compared between natural, vanilla and chocolate and sweetness level by varying sugar content (0, 1, 3, and 5% sucrose) were studied. Vanilla flavor with 5% sugar showed the highest score of overall liking (6.52) from consumer assessment. Thus, this formula was chosen for IRBM production and its properties (chemical, physical, biological, microbiological and sensory evaluation) were analyzed.

Chemical compositions of IRBM including carbohydrate, protein and lipid were 86.43%, 4.84%, and 1.05%, respectively. Total phenolic content was 220.56 mg Gallic acid/gram of sample. The radicals scavenging DPPH was 24.19  $\mu$ M Trolox equivalent/gram of sample. For nutritional aspect, lysine was the predominant amino acid (624.23 mg/100 g of sample) and omega 3, 6, and 9 as well as vitamin B and phosphorus were also observed. The obtained IRBM had whiteness value of 69.51, pH of 6.31 and 0.27 of water activity. The percentage of solubility was 56.54% and bulk density was 0.57 g/ml. Microbiological determination after 7 days storage (25°C) showed that total plate count was  $1.2 \times 10^2$  CFU/ml, while no pathogenic microorganisms was not detected as expected by the food regulation. Sensory profile was slightly high score with all attributes including: color, flavor, taste, appearance and overall liking (more than 6). In addition, the percentage of consumer acceptance for IRBM product was presented 80%.

According to the results, it could be concluded that IRBM has high nutritional properties. It also contains essential amino acid and free fatty acid that beneficial to human body. Besides, IRBM provides high antioxidant capacity. As a result, the IRBM can be an alternative plant-based beverage product for health concern consumer. However, IRBM need further experiment to improve its quality attributes by using these preliminary results.

**Keywords:** Organic product / Rice bran / Instant beverage / Healthy beverage

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(3)
บทคัดย่อภาษาไทย	(4)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(7)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(6)
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้	3
<b>2 ทบทวนเอกสาร</b>	<b>4</b>
2.1 ข้าว (Rice)	4
2.2 กระบวนการสีข้าว (Milling process)	9
2.3 รำข้าว (Rice bran)	11
2.4 การนำรำข้าวมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า	17
2.5 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ (Healthy beverage)	20
2.6 การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ	21
2.7 มาตรฐาน / ข้อกำหนด คุณภาพและการตรวจวัดคุณภาพ	24
2.8 แนวโน้มตลาดเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ	26
2.9 ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloid)	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่</b>	
2.10 เอนไซม์ (Enzyme)	44
2.11 การใช้ประโยชน์ของเอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหารและในกระบวนการแปรรูปอาหาร	45
<b>3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง</b>	<b>48</b>
3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมี วัสดุและอุปกรณ์	48
3.2 วิธีการทดลอง	52
<b>4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	<b>65</b>
4.1 การผลิตและลักษณะของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์	65
4.2 การปรับปรุงลักษณะคุณภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์	78
4.3 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติด้านต่างๆของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์	89
4.4 การปรับปรุงกลิ่นรสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์	98
4.5 การผลิตน้ำนมรำข้าวชนิดผง	103
<b>5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>118</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	118
5.2 ข้อเสนอแนะ	119
<b>รายการอ้างอิง</b>	<b>120</b>
<b>ประวัติผู้เขียน</b>	<b>136</b>

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ผลผลิตข้าวของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 (ล้านตันข้าวสาร)	4
2.2 ผลผลิตข้าวของโลกระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 (ล้านตันข้าวสาร)	5
2.3 ปริมาณการบริโภคข้าวของโลกระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 (ล้านตันข้าวสาร)	6
2.4 ปริมาณสารอาหารในข้าวชนิดต่างๆ	7
2.5 เปรียบเทียบปริมาณสารอาหารต่อข้าว 100 กรัม ระหว่างข้าวกล้องกับข้าวขัดสี	8
2.6 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	11
2.7 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวหยาบ และรำข้าวละเอียดจากข้าว	13
2.8 กรดอะมิโนในรำข้าว	14
2.9 ความสำคัญและประโยชน์ของกรดอะมิโนแต่ละชนิดต่อร่างกายมนุษย์	15
2.10 สารสำคัญในรำข้าวที่มีผลต่อสุขภาพ	17
2.11 การใช้ประโยชน์จากรำข้าวในผลิตภัณฑ์ต่างๆ	18
2.12 ปริมาณการใช้กัมแต่ละชนิดตามหน้าที่ในอุตสาหกรรมอาหาร	30
2.13 หน้าที่ของไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด และปริมาณจำกัดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	31
2.14 ปริมาณการใช้ประโยชน์ของไฮโดรคอลลอยด์ในอุตสาหกรรม	32
2.15 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคาร์ราจีแนนแต่ละชนิด	35
2.16 ชนิด หน้าที่ และการประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ	41
2.17 การใช้เอนไซม์ในกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่มชนิดต่างๆ	46
3.1 สารเคมีสำหรับการทดลอง	49
3.2 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง	51
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวอินทรีย์ นำนมรำข้าว และนํ้านมถั่วเหลืองทางการค้า	68

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.2 ค่าสีของน้ำนมร่าข้าวพาสเจอร์ไรส์และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า	69
4.3 สมบัติทางเคมีของน้ำนมร่าข้าวพาสเจอร์ไรส์และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า	71
4.4 การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมร่าข้าวพาสเจอร์ไรส์ (1:15) และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า (ผู้ทดสอบ 50 คน)	76
4.5 สมบัติทางเคมีของน้ำนมร่าข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิด และต่างความเข้มข้น	80
4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำนมร่าข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน	83
4.7 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติทางเคมีของน้ำนมร่าข้าวพาสเจอร์ไรส์	90
4.8 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อค่าสีของน้ำนมร่าข้าวพาสเจอร์ไรส์เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า	91
4.9 ผลของการปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมร่าข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแทนแทนกัมร้อยละ 0.1	102
4.10 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมร่าข้าวอินทรีย์ชนิดผง	103
4.11 สมบัติทางกายภาพและเคมีกายภาพของน้ำนมร่าข้าวอินทรีย์ชนิดผง	104
4.12 ค่าสีของน้ำนมร่าข้าวชนิดผง	105
4.13 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำนมร่าข้าวอินทรีย์ชนิดผง	107
4.14 ปริมาณกรดอะมิโนของน้ำนมร่าข้าวอินทรีย์ชนิดผง	110
4.15 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำนมร่าข้าวอินทรีย์ชนิดผง	111

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.16 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดผง	113
4.17 สมบัติด้านจุลินทรีย์ของน้ำนมร่ำข้าวพาสอินทรีย์เจอร์ไรส์และน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดผงระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน	114
4.18 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมร่ำข้าวชนิดผงเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงทางการค้า (ผู้ทดสอบ 50 คน)	116

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 สีของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ (ก่อนผ่านกระบวนการขัดสี)	6
2.2 กระบวนการสีข้าว	9
2.3 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว	10
2.4 โครงสร้างทางเคมีของคาร์ราจีแนนชนิดต่างๆ แคลปป์ (A) แลมดา (B) และไอโอตา (C)	34
2.5 โครงสร้างพอลิกลาแลกทูโรแนนของเพกทิน	36
2.6 โครงสร้างปฐมภูมิของแซนแทนกัม	37
2.7 โครงสร้างโมเลกุลของกัวร์กัม	38
2.8 โครงสร้างโมเลกุลของโลคัสบีนกัม	39
4.1 ร้อยละผลผลิตของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ในอัตราส่วนรำข้าว : น้ำที่แตกต่างกัน	65
4.2 ความคงตัวของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน	73
4.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (A) และ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (B) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า	75
4.4 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ (1:15) และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า	77
4.5 การกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้น	86
4.6 ความคงตัว (ร้อยละ) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิด และต่างความเข้มข้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน	88

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.7 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์	94
4.8 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อความคงตัว (ร้อยละ) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน	95
4.9 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (A) และ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (B) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า	97
4.10 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 และกลีเซอรอลหรือความหวานร้อยละ 5 เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า	99
4.11 องค์ประกอบรวม (PCA) ของลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 และกลีเซอรอลหรือระดับความหวานที่ต่างกัน	101
4.12 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวชนิดผงเปรียบเทียบกับน้ำนมและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ (A) ถั่วเหลืองชนิดผงทางการค้า (ผู้ทดสอบ 50 คน) (B) น้ำนมรำข้าวชนิดผง	117

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาการทำวิจัย

ข้าวเป็นพืชอาหารที่สำคัญของคนไทย คนเอเชีย รวมไปถึงประชากรอีกหลายชนชาติ จากสถิติในปีการผลิต พ.ศ. 2555/2556 พบว่าประเทศไทยเป็นผู้ผลิตข้าวลำดับที่ 6 ของโลกรองจากประเทศจีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังคลาเทศ และเวียดนาม โดยมีผลผลิตข้าวรวม 20.26 ล้านตันข้าวสาร (USDA, 2012) อย่างไรก็ตามข้าวจัดเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ครองสถิติอันดับหนึ่งของประเทศไทยในด้านปริมาณการผลิตหลายทศวรรษติดต่อกัน นอกจากนี้การส่งออกข้าวของไทยจาก พ.ศ. 2541 จนถึง พ.ศ. 2551 มีแนวโน้มสูงขึ้น และผลการสำรวจล่าสุดในปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยมียอดการส่งออกข้าวมากถึง 10.50 ล้านตันข้าวสาร (สมพร อิศวิลานนท์ และปรุพห์ สันติธรรมรักษ์, 2555)

ในกระบวนการสีข้าวนอกจากจะได้เมล็ดข้าวเป็นผลผลิตหลักแล้ว ยังมีผลพลพลอยได้ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสีข้าว ได้แก่ ปลายข้าว (ร้อยละ 17) เปลือกหรือแกลบ (ร้อยละ 25) จมูกและเชื้อหุ้มเมล็ดหรือที่เรียกว่า “รำข้าว” (ประมาณร้อยละ 10 ของข้าวทั้งเมล็ด) จากงานวิจัยพบว่า รำข้าวที่ได้จากกระบวนการสีข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการสูงและมีประโยชน์ต่อมนุษย์ โดยเป็นแหล่งของโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามินบี และแร่ธาตุต่างๆ อีกมากมาย นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย อย่างไรก็ตามผลพลอยได้ส่วนใหญ่มักจะนำไปเป็นส่วนผสมของอาหารสุกร หรือใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น น้ำมันรำข้าว ส่วนผสมของอาหารสัตว์ โดยทั่วไปราคาของรำข้าวจะอยู่ที่ประมาณกิโลกรัมละ 8-10 บาท ในขณะที่ราคาของน้ำมันรำข้าวมีค่าอยู่ที่ลิตรละ 90-135 บาท ซึ่งนับเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับรำข้าวได้ในระดับหนึ่ง อย่างไรก็ตามหลังผ่านกระบวนการสกัดน้ำมันจากรำข้าว เศษเหลือที่เกิดขึ้นอีกก็คือกากรำข้าวสกัดน้ำมัน ซึ่งพบว่ายังไม่มีนำไปใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าหรือเต็มศักยภาพเท่าที่ควร นอกจากนี้ยังพบว่ารำข้าวสามารถใช้เป็นวัตถุดิบ หรือส่วนผสมในอาหารเพิ่มมากยิ่งขึ้น เช่น นำไปใช้ในการผลิตขนมปัง (Tuncel, Yilmaz, Kocabyk & Uygur, 2014) ส่วนผสมในอาหารเด็กทารก เนื่องจาก

มีการอะมิโนจำเป็นที่เด็กต้องการและไม่ทำให้เกิดอาการแพ้ (Shih, 2003) อาหารเข้าัญพืช อาหารเสริมโปรตีน และใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เนื้อและไส้กรอก (Prakash, 1996) เป็นต้น ตลาดเครื่องดื่มนมในปัจจุบันถือเป็นตลาดที่มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉพาะเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เนื่องจากปัจจุบันผู้คนตระหนักและให้ความสำคัญต่อปัญหาสุขภาพมากขึ้น ดังนั้นการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้เป็นอย่างดี ถึงแม้ว่าจะมีเครื่องดื่มที่เกี่ยวข้องกับข้าว (นํ้านมข้าว) หรือนำสารสกัดจากข้าวมาใช้ประโยชน์เพื่อสุขภาพบ้างแล้วในปัจจุบัน แต่ยังไม่พบการนำข้าวมาใช้ผลิตเป็นเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ดังนั้นหากสามารถนำข้าวมาเพิ่มมูลค่าโดยพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ นํ้านมข้าว น่าจะเป็นอีกหนึ่งแนวทางที่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวได้อย่างเต็มรูปแบบ โดยไม่มีเศษเหลือเกิดขึ้นจากการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ดังกล่าวอีก

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อผลิตนํ้านมข้าวอินทรีย์ชนิดพาสเจอร์ไรส์และพร้อมชง

1.2.2 เพื่อศึกษาลักษณะคุณภาพของผลิตภัณฑ์นํ้านมข้าวอินทรีย์

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ผลิตนํ้านมข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์ต้นแบบโดยศึกษาผลของสัดส่วนข้าวต่อปริมาณนํ้าในการผลิต

1.3.2 ศึกษาสมบัติด้านต่างๆ ทางเคมี (ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณกรดทั้งหมด ความคงตัว ค่าสี ค่าความหนืด) ภายนอก องค์ประกอบทางเคมี (ปริมาณโปรตีน ความชื้น ไขมัน เส้นใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต และปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ สมบัติด้านเชื้อจุลินทรีย์ และลักษณะทางประสาทสัมผัสของนํ้านมข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์

1.3.3 ศึกษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์นํ้านมข้าวอินทรีย์ด้วยการใช้สารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) ในกลุ่มของไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดกัน (ได้แก่ กัวร์กัม แชนแทนกัม โลคัสบีนกัม เพกทิน และคาร์ราจีแนน) และต่างความเข้มข้น (ร้อยละ 0.05, 0.1, 0.3 และ 0.5 โดยนํ้าหนักต่อปริมาตร) และ การลดขนาดของโมเลกุลเซลลูโลสและแป้งในนํ้านมข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์

ด้วยเอนไซม์กลุ่มอะไมเลสและเซลลูเลสในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน (สัดส่วนผสมของเอนไซม์ 1:1 (ยูนิตต่อยูนิต) ที่ 50, 100, 300 และ 500 ยูนิต)

1.3.4 ผลิตน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงพร้อมชง และวิเคราะห์ลักษณะคุณภาพด้านต่างๆ (เคมี กายภาพ ฤทธิ์ทางชีวภาพ สมบัติด้านจุลินทรีย์ และลักษณะทางประสาทสัมผัส) ของผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ทางการค้าในลักษณะเดียวกัน (นมถั่วเหลืองพาสเจอร์ไรส์และพร้อมชง)

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

### 1.4.1 ผลจากการวิจัย

- 1.4.1.1 ได้น้ำนมรำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์ต้นแบบ
- 1.4.1.2 ได้เครื่องคัมน้ำนมรำข้าวอินทรีย์พร้อมชง
- 1.4.1.3 ทราบคุณค่าทางโภชนาการในน้ำนมรำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์และพร้อมชง

### 1.4.2 ผลกระทบ

- 1.4.2.1 เพิ่มมูลค่าและการใช้ประโยชน์จากรำข้าวได้อย่างคุ้มค่า
- 1.4.2.2 เพิ่มแหล่งทางเลือกของเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพให้กับผู้บริโภค
- 1.4.2.3 องค์กรที่เกี่ยวข้องมีรายได้เพิ่มขึ้นและผู้บริโภคมีสุขภาพดีขึ้น

## บทที่ 2

### ทบทวนเอกสาร

#### 2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์อย่างมาก ทุกวันนี้คนเอเชียประมาณ 3,000 ล้านคนบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก ข้าวจึงนับว่ามีความสำคัญและมีคุณประโยชน์ต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์นับแต่อดีตถึงปัจจุบัน จากสถิติพบว่าประเทศไทยเป็นผู้ผลิตข้าวลำดับที่ 6 ของโลก (ร้อยละ 4.30) รองจากประเทศจีน (ร้อยละ 30.41) อินเดีย (ร้อยละ 22.12) อินโดนีเซีย (ร้อยละ 7.98) บังกลาเทศ (ร้อยละ 7.23) และเวียดนาม (ร้อยละ 5.88) โดยมีผลผลิตข้าวรวม 20.26 ล้านตันข้าวสาร (USDA, 2012) อย่างไรก็ตามข้าวจัดเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่ครองสถิติอันดับหนึ่งของประเทศไทยในด้านปริมาณการผลิตหลายทศวรรษติดต่อกัน ซึ่งผลผลิตข้าวของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 และผลผลิตข้าวของโลกระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 จะแสดงดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 ตามลำดับ นอกจากนี้การส่งออกข้าวของไทย จาก พ.ศ. 2554 จนถึง 2558 มีแนวโน้มสูงขึ้น และผลการสำรวจล่าสุดในปี พ.ศ. 2557 ประเทศไทยมียอดการส่งออกข้าวมากถึง 10.8 ล้านตันข้าวสาร (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2557)

ตารางที่ 2.1 ผลผลิตข้าวของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 (ล้านตันข้าวสาร)

รายการ	2554/55	2555/56	2556/57 (2)	2557/58 (1)	ผลต่างร้อยละ (1) และ (2)
ผลผลิตรวม	20.460	20.200	20.460	20.500	0.20

ที่มา สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2557

ตารางที่ 2.2 ผลผลิตข้าวของโลกระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 (ล้านตันข้าวสาร)

ประเทศ	ปี พ.ศ.				ผลต่างร้อยละ (1) และ (2)
	2554/55	2555/56	2556/57 (2)	2557/58 (1)	
จีน	140.700	143.000	142.530	144.000	1.03
อินเดีย	105.310	105.240	106.540	102.000	-4.26
อินโดนีเซีย	36.500	36.550	36.000	37.000	2.78
บังกลาเทศ	33.700	33.820	34.390	34.600	0.61
เวียดนาม	27.152	27.537	28.000	28.200	0.71
ไทย	20.460	20.200	20.460	20.500	0.20
ฟิลิปปินส์	10.710	11.428	11.858	12.200	2.88
อื่นๆ	40.627	41.100	41.978	41.196	-1.86

ที่มา สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2557

จากการคาดการณ์ของ World Market and Trade หรือ USDA ประเทศสหรัฐอเมริกา คิดเป็นเมตริกตัน เปรียบเทียบระหว่าง 7 ประเทศที่มีการผลิตข้าวสูงที่สุดของโลก (จีน อินเดีย อินโดนีเซีย บังกลาเทศ เวียดนาม ฟิลิปปินส์ และไทย) ทั้งนี้ประเทศไทยมีการบริโภคข้าวระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 อยู่ในเกณฑ์ 10.4-10.9 ล้านตันข้าวสาร และคาดว่าจะบริโภคเพิ่มขึ้นอีกในปี พ.ศ. 2559 ซึ่งคิดเป็นร้อยละการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณการบริโภคข้าวของโลกระหว่างปี พ.ศ. 2554-2558 (ล้านตันข้าวสาร)

ประเทศ	ปี พ.ศ.				ผลต่างร้อยละ (1) และ (2)
	2554/55	2555/56	2556/57 (2)	2557/58 (1)	
จีน	139.600	144.000	146.300	148.000	1.16
อินเดีย	93.334	94.031	99.180	99.000	-0.18
อินโดนีเซีย	38.188	38.127	38.500	39.200	1.82
บังกลาเทศ	34.300	34.500	34.900	35.200	0.86
เวียดนาม	19.650	21.900	22.000	21.900	-0.45
ไทย	10.400	10.600	10.875	10.900	0.23
ฟิลิปปินส์	12.860	12.850	12.850	13.200	2.72
อื่นๆ	60.128	62.087	63.766	63.523	-0.38

ที่มา สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี พ.ศ. 2557

ข้าวอุดมไปด้วยความหลากหลายทางพันธุกรรมกับจำนวนของสายพันธุ์ที่ปลูกทั่วโลก ในข้าวธรรมชาติที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการขัดสี (Un-milled) จะมีสีที่แตกต่างกันออกไปเป็นจำนวนมาก ทั้งสีขาว สีน้ำตาล สีแดง สีม่วง และ สีดำ (ดังแสดงในภาพที่ 2.1)



ที่มา บริษัท เนสท์เล่ (ไทย) จำกัด (2555)

ภาพที่ 2.1 สีของข้าวสายพันธุ์ต่างๆ (ก่อนผ่านกระบวนการขัดสี)

เมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีสีสันแตกต่างกันเหล่านี้ จะมีสารอาหารที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามข้าวที่ยังไม่ผ่านกระบวนการขัดสีจะมีปริมาณสารอาหารสูงกว่าข้าวขาวหรือข้าวสารที่ผ่านการขัดสีแล้ว ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังตารางที่ 2.4 ปัจจุบันพบว่ามีข้าวเพียง 2 ชนิดเท่านั้นที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายของคนทั่วโลก ได้แก่ ข้าวกล้อง (Brown rice) และ ข้าวขาวหรือข้าวขัดสี (White - polished rice) จากงานวิจัยแห่งสถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดลปี พ.ศ. 2538 เขียนไว้โดย Anonymous ได้รวบรวมและเปรียบเทียบเป็นตารางข้อมูลคุณค่าโภชนาการระหว่างข้าวกล้องและข้าวที่ขัดสี (ข้าวขาว) ดังแสดงในตารางที่ 2.5 อย่างไรก็ตามถึงแม้จะมีการผลิตข้าวที่สูงและมีการบริโภคเป็นจำนวนมาก ข้าวยังสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้อีก เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวอื่นๆ เส้นหมี่หรือเส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมปังกรอบ และ แป้งแผ่น ทำจากข้าว เป็นต้น (Juliano, 1985)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณสารอาหารในข้าวชนิดต่างๆ

ชนิดของข้าว	โปรตีน (กรัม/100 กรัม)	เหล็ก (มิลลิกรัม/100 กรัม)	สังกะสี (มิลลิกรัม/100 กรัม)	ใยอาหาร (กรัม/100 กรัม)
สีขา-ข้าวขัด	6.8	1.2	0.5	0.6
สีน้ำตาล	7.9	2.2	0.5	2.8
สีแดง	7.0	5.5	3.3	2.0
สีม่วง	8.3	3.9	2.2	1.4
สีดำ	8.5	3.5	-	4.9

ที่มา FAO: Food and Nutrition Division (2004)

อรอนงค์ นัยวิกุล (2556) ได้แบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ข้าวไทยเป็น 4 กลุ่มหลักได้แก่

1. ผลิตภัณฑ์จากเมล็ดข้าว เช่นข้าวกล้อง หรือข้าวสาร บรรจุลงแบบธรรมดา หรือแบบสุญญากาศ เมื่อนำข้าวกล้อง หรือข้าวสารมาแปรรูปอีกชั้น เป็นข้าวถึงสำเร็จรูป คือข้าว 7 นาที ข้าวผสมหุง 5 นาที และข้าวสำเร็จรูป คือ ข้าวบรรจุกระป๋อง หรือบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว และข้าวแช่เยือกแข็ง เป็นต้น

2. ผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าว ทำเป็นอาหารเส้น เช่น ก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน เส้นหมี่ อาหารว่าง เช่น ขนมอบกรอบ อาหารหวาน เช่น ขนมถ้วย และขนมชั้น เป็นต้น

3. ผลิตภัณฑ์หมักดอง เช่น ข้าวหมาก สาโท เหล้าขาว และน้ำส้มสายชู เป็นต้น

4. ผลิตภัณฑ์จากผลพลอยได้ของข้าว เช่น รำข้าวทำเป็นน้ำมันรำข้าว และนำส่วนของรำที่สกัดไขมันออกแล้วไปใช้เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารอื่น เพื่อเป็นแหล่งเส้นใยอาหารได้อีกมากมายหลายชนิด ส่วนแกลบนำไปทำเชื้อเพลิงเป็นส่วนใหญ่

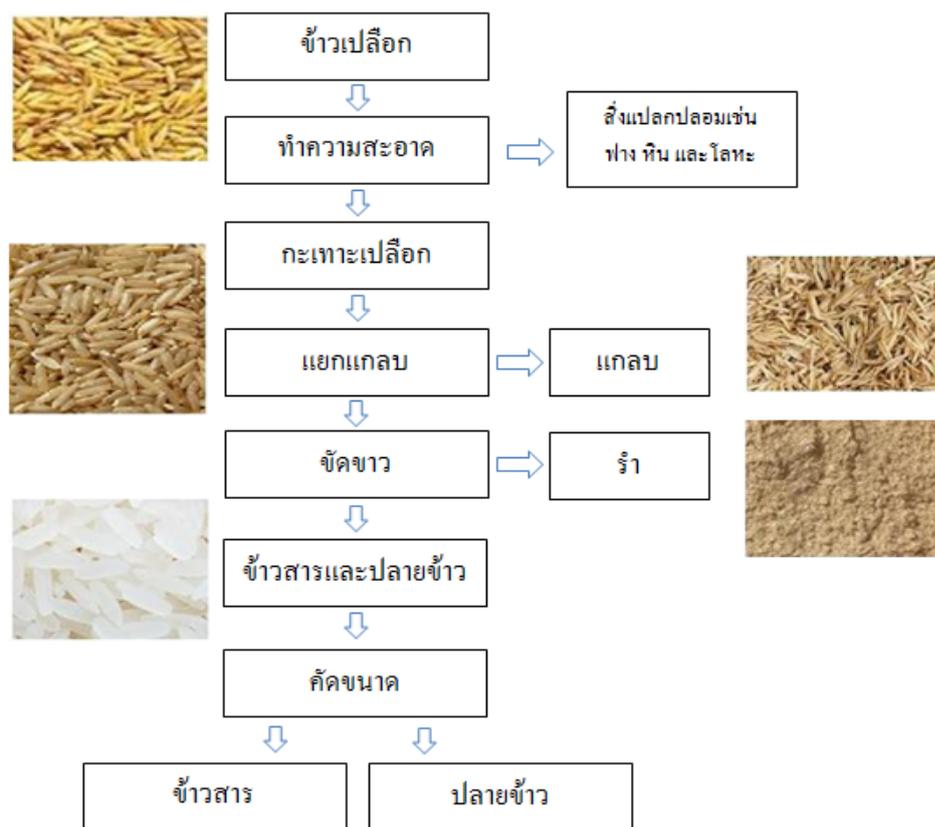
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบปริมาณสารอาหารต่อข้าว 100 กรัม ระหว่างข้าวกล้องกับข้าวขัดสี

สารอาหาร	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดสี
คาร์โบไฮเดรต	75.10	79.40
โปรตีน	7.10	6.70
ไขมัน	2.00	0.80
ใยอาหาร	2.10	0.70
โซเดียม	84.00	79.00
โพแทสเซียม	144.00	121.00
แคลเซียม	9.00	6.00
ฟอสฟอรัส	276.00	195.00
แมกนีเซียม	60.00	27.00
เหล็ก	1.30	1.20
สังกะสี	0.49	0.48
ทองแดง	0.11	0.14
วิตามิน บี1	0.26	0.07
วิตามิน บี 2	0.04	0.02
ไนอะซิน	5.40	1.79

ที่มา Anonamous (2538)

## 2.2 กระบวนการสีข้าว

กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ของประเทศไทยได้รายงานสถานการณ์การผลิตและการตลาดข้าวของโลกว่า ในปี พ.ศ. 2555 ทั่วโลกมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวสูงถึง 988.63 ล้านไร่ ได้ผลผลิตเป็นข้าวเปลือกและข้าวสารประมาณ 700.7 และ 470.2 ล้านตัน ตามลำดับ ทั้งนี้ กระบวนการขัดสีข้าวเปลือกโดยทั่วไปจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ข้าวสารประมาณร้อยละ 68-70 แกลบร้อยละ 20-24 และรำข้าวร้อยละ 8-10 นั่นคือในช่วงปีที่ผ่านมาปริมาณเศษวัสดุคูปที่ไม่ถูกใช้ประโยชน์ซึ่งได้จากกระบวนการขัดสีข้าวทั่วโลกมากกว่า 200 ล้านตัน และในประเทศไทยประมาณ 8.6 ล้านตัน แบ่งเป็นแกลบและรำข้าวประมาณ 5.8 และ 2.8 ล้านตัน ตามลำดับ ซึ่งกระบวนการสีข้าวโดยทั่วไปจะมีขั้นตอนหลักๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.2

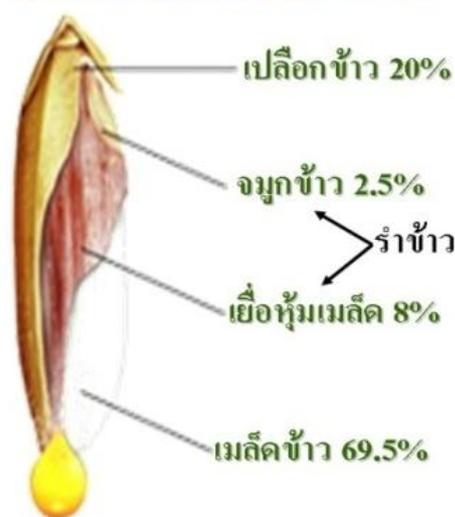


ที่มา พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนปนนท์ (2556)

ภาพที่ 2.2 กระบวนการสีข้าว

อย่างไรก็ตามจากกระบวนการสีข้าวนอกจากจะได้เมล็ดข้าวที่เป็นผลผลิตหลักกว่าร้อยละ 69.5 แล้ว (ภาพที่ 2.3) ยังมีผลิตผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการสีข้าว ได้แก่ เปลือกข้าว ร้อยละ 20 จมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดหรือที่เรียกว่า “รำข้าว” อีกประมาณร้อยละ 10.5 ของข้าว ทั้งเมล็ด (ศูนย์หัวใจสิริกิติ์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2555) ซึ่งในเมล็ดข้าว จะมีวิตามิน แร่ธาตุ และสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกายรวมกว่า 20 ชนิด แต่ข้าวที่อุดมไปด้วยคุณค่าของสารอาหารที่กล่าวมานี้ จะต้องผ่านการสีแต่น้อย คือ สีเอาเปลือกข้าวหรือที่ชาวบ้านเรียกว่า "แกลบ" ออกโดยที่ยังมีจมูกข้าว และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวที่เราเรียกว่า "รำ" อยู่ ซึ่งจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวนี้ยังคงมีคุณค่าอาหารที่มีประโยชน์มากมายอีกด้วย

### ส่วนประกอบของข้าว



ที่มา ศูนย์หัวใจสิริกิติ์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2555)

ภาพที่ 2.3 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว

## 2.3 รำข้าว

รำข้าว (Rice bran) หมายถึง ส่วนเชื่อมหุ้มผล เชื่อมหุ้มเมล็ด ส่วนของ Nucellus, Aleurone และ Sub-aleurone และมักจะรวมส่วนของคัพภะเข้าไว้ด้วย เนื่องจากในกระบวนการขัดสีข้าวกล้องให้ เป็นข้าวสาร ส่วนใหญ่ต้องการข้าวสารที่ขาวจึงขัดผิวข้าวกล้องจนถึงชั้น Sub-aleurone ทำให้คัพภะ หลุดจากเนื้อเมล็ดรวมอยู่ด้วย ดังนั้น ปริมาณ ชนิดของโครงสร้าง และองค์ประกอบทางเคมีของ รำข้าวที่ได้จากกระบวนการขัดสีข้าวจะขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าว สภาพแวดล้อมที่ปลูก รวมถึง กรรมวิธีในการขัดผิวเมล็ดข้าวกล้อง รำข้าวเป็นส่วนที่ได้จากกระบวนการสีและกระบวนการ ขัดขาวข้าว โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ รำหยาบ (ซึ่งได้จากการขัดผิวเมล็ด ข้าวกล้อง) และรำละเอียด (ได้จากการขัดขาวและขัดมัน) แต่อย่างไรก็ตามรำข้าวที่ได้ยังมีคุณค่า ทางอาหารในด้านโภชนาการค่อนข้างสูง ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า วิตามิน และเกลือแร่ ต่างๆ ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการนำรำข้าวมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย เช่น ใช้ในอุตสาหกรรม อาหาร ปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวอย่างแพร่หลาย ซึ่งองค์ประกอบพื้นฐานทางเคมีที่สำคัญของรำข้าว (ไขมันเต็ม และสกัดน้ำมัน) รำข้าวหยาบ และ รำข้าวละเอียดจะแสดงในตารางที่ 2.6 และตารางที่ 2.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าว (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

ชนิดของรำข้าว	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
ไขมันเต็ม	12.0	13.7	12.1	14.4	25.4
สกัดน้ำมัน	18.3	5.4	11.2	8.6	31.6

ที่มา Connor, Saunders and Kohler (1976)

พบว่าในรำข้าวไขมันเต็มจะมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก (ร้อยละ 25-43) รองลงมาคือ ไขมัน (ร้อยละ 13-20) โปรตีน (ร้อยละ 12-14) เถ้า (ร้อยละ 12) และเส้นใย (ร้อยละ 8-14) และเมื่อสกัดไขมันออกแล้วองค์ประกอบหลักซึ่งมีมากเป็นอันดับที่ 2 ในรำข้าวสกัด ไขมันรองจากคาร์โบไฮเดรตคือ โปรตีน (ร้อยละ 13-18) (Connor et al. 1976) จากองค์ประกอบ ดังกล่าวทำให้รำข้าวมักจะถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดน้ำมันรำข้าว หรือถูกนำไปผลิตเป็น

อาหารสัตว์ หรือในบางครั้งจะมีการผลิตโปรตีนเข้มข้นจากกากรำข้าวที่เหลือจากการสกัดน้ำมัน ออกไปแล้วได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าโปรตีนจากรำข้าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ใน อุตสาหกรรมอาหารได้หลายชนิด เช่น ขนมปัง (Tuncel et al, 2014) อาหารเข้าชัญพืช อาหารเสริม โปรตีน เครื่องดื่ม และเป็นส่วนประกอบในอาหารทารกหรืออาหารเด็กเล็กอีกด้วย เนื่องจากมี กรดอะมิโนจำเป็นที่เด็กต้องการ (ดังแสดงในตารางที่ 2.8) และไม่ทำให้เกิดอาการแพ้ (Shih, 2003) อย่างไรก็ตามชนิดและปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวจะแตกต่างกันออกไปตามชนิด สายพันธุ์ของข้าว หรือแหล่งที่ปลูกของข้าว เป็นต้น

รำข้าวนอกจากประกอบไปด้วยโปรตีนและกรดอะมิโนที่จำเป็นแล้ว ยังอุดมไปด้วยวิตามิน ซึ่งได้แก่ วิตามินอี ไทอามิน ไนอะซิน รวมไปถึงเกลือแร่ เช่น อะลูมิเนียม แคลเซียม คลอรีน เหล็ก แมงกานีส แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม โซเดียม และสังกะสี อีกด้วย (Sunders, 1990) นอกจากนี้ยังพบว่ารำข้าวยังประกอบไปด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพสำคัญในปริมาณสูงซึ่งมีผล ต่อการป้องกันโรคในร่างกายมนุษย์ (Ryan, 2011) ซึ่งรำข้าวนอกจากเป็นแหล่งชีวโมเลกุลที่สำคัญ แล้ว ยังมีปริมาณของแกมมาออร์ซานอล ( $\gamma$ -Oryzanols) สูง อีกทั้งยังมีสารในกลุ่มไฟโตสเตอรอล (Phytosterols) กลุ่มพอลิฟีนอล (Polyphenols) และวิตามินอี ทั้งชนิดโทโคเฟอรอล (Tocopherols) และโทโคไตรอีนอล (Tocotrienols) (แสดงในตารางที่ 2.10) สารเหล่านี้เป็นองค์ประกอบทางเคมี ที่มีคุณค่าต่อสุขภาพจากการมีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน สารต้านออกซิเดชันที่มีในรำข้าวทุกชนิด สามารถช่วยลดอนุมูลอิสระในร่างกายได้จึงลดภาวะเครียดออกซิเดชัน (Oxidation stress) ที่เป็น สาเหตุของโรคเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคหลอดเลือด โรคมะเร็ง และโรคเบาหวาน เป็นต้น (บังอร ศรีพานิชกุลชัย, ผดุงขวัญ จิตโรภาส และอรุณศรี ปรีเปรม, 2548)

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวหยาบ และรำข้าวละเอียดจากข้าว

องค์ประกอบทางเคมี (คิดที่ความชื้นร้อยละ 14)	รำหยาบ	รำละเอียด
โปรตีน (ร้อยละไนโตรเจน×6.25)	12.0-15.6	11.8-13.0
ไขมัน (ร้อยละ)	15.0-19.7	10.1-12.4
เส้นใยหยาบ (ร้อยละ)	7.0-11.4	2.3-3.2
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	34.1-52.3	51.1-55.0
เถ้า (ร้อยละ)	6.6-9.9	5.2-7.3
แคลเซียม (มิลลิกรัมต่อกรัม)	0.3-1.2	0.5-0.7
แมกนีเซียม (มิลลิกรัมต่อกรัม)	5.0-13.0	6.0-7.0
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกรัม)	11.0-25.0	10.0-22.0
ฟิทิน ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อกรัม)	9.0-22.0	12.0-17.0
ซิลิกา (มิลลิกรัมต่อกรัม)	6.0-11.0	2.0-3.0
สังกะสี (ไมโครกรัมต่อกรัม)	43.0-258.0	17.0-60.0
วิตามิน		
โทอะมีน (บี 1) (ไมโครกรัมต่อกรัม)	12.0-24.0	3.0-19.0
ไรโบเฟลวิน (บี 2) (ไมโครกรัมต่อกรัม)	1.8-4.3	1.7-2.4
ไนอะซิน (ไมโครกรัมต่อกรัม)	267.0-499.0	224.0-389.0

ที่มา อรอนงค์ นัยวิกุล (2556)

ตารางที่ 2.8 กรดอะมิโนในรำข้าว

กรดอะมิโน	ปริมาณกรดอะมิโน/โปรตีน			
	Houston et al. (1969)	Juliano (1985)	Wang et al. (1999)	Tang et al. (2003)
ไลซีน	4.81	5.50	4.70	5.40
ฮิสทีดีน	2.71	3.00	2.90	3.30
อาร์จินีน	8.28	9.00	8.90	10.20
กรดแอสพาร์ติก	9.09	10.50	8.00	11.20
ทรีโอนีน	3.78	4.40	3.70	3.70
เซรีน	4.68	5.30	4.10	4.50
กรดกลูตามิก	13.58	15.30	12.50	18.10
โพรลีน	4.23	-	-	-
ไกลซีน	5.47	6.10	5.40	6.20
อะลานีน	6.15	6.80	6.10	7.30
ซิสเทอีน	2.32	2.60	1.60	-
วาเลีน	6.00	5.70	6.30	7.00
เมไทโอนีน	2.32	2.00	2.20	-
ไอโซลิวซีน	3.94	3.00	3.90	4.50
ลิวซีน	6.91	8.00	7.40	8.00
ไทโรซีน	3.13	3.70	3.30	3.70
ฟีนิลอะลานีน	4.43	5.10	4.60	5.10
ทริปโตเฟน	-	0.70	1.20	-
แอสพาราจีน	-	-	-	-
กลูตามีน	-	-	-	-

ที่มา Fabian and Ju (2011)

จากตารางที่ 2.8 ซึ่งจะมีกรดอะมิโนเพียง 8 ชนิดเท่านั้นที่ถือว่าเป็นกรดอะมิโนจำเป็น เพราะร่างกายจะไม่สามารถสร้างขึ้นเองได้ ต้องได้รับจากการรับประทานอาหารต่างๆ รวมไปถึงอาหารเสริม และยังมีกรดอะมิโนจำเป็นอีกตัวหนึ่ง คือ ฮิสทีดีน ซึ่งจัดเป็นกรดอะมิโนจำเป็นสำหรับเด็กและทารกเท่านั้น นอกจากนี้ก็ยังมีกรดอะมิโนไม่จำเป็นซึ่งร่างกายสามารถสร้างขึ้นเองได้ อย่างไรก็ตามกรดอะมิโนแต่ละตัวทั้งที่ร่างกายสามารถสร้างเองได้ และไม่สามารถสร้างเองได้มีความสำคัญและหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไปต่อร่างกายมนุษย์ ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ความสำคัญและประโยชน์ของกรดอะมิโนแต่ละชนิดต่อร่างกายมนุษย์

ชนิดกรดอะมิโน	ความสำคัญ/หน้าที่/ประโยชน์
<b>กรดอะมิโนไม่จำเป็น</b>	
กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	หน้าที่หลักคือเป็นเชื้อเพลิงให้แก่สมอง ช่วยจัดการกับแอมโมเนียส่วนเกิน
กรดแอสพาร์ติก (Aspartic acid)	ช่วยในการขับแอมโมเนียซึ่งเป็นสารอันตรายออกจากร่างกาย จึงช่วยปกป้องระบบประสาทส่วนกลาง
กลูตามีน (Glutamine)	เป็นส่วนหนึ่งของกลูตาไธโอน มีส่วนช่วยให้ฉลาดขึ้น และช่วยเพิ่มระดับของโกรทฮอร์โมน
ไกลซีน (Glycine)	ช่วยรักษาภาวะต่อมไธสมองทำงานน้อย รักษาโรคกล้ามเนื้อฝ่อลีบ รักษาภาวะน้ำตาลต่ำ
ซิสเทอีน (Cysteine)	ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ และมีความจำเป็นสำหรับทารกและผู้สูงอายุ
เซรีน (Serine)	ช่วยเผาผลาญไขมัน เพิ่มการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อและระบบภูมิคุ้มกันในร่างกาย
ไทโรซีน (Tyrosine)	ช่วยส่งเสริมการทำงานของต่อมหมวกไต ต่อมไธสมองต่อมไพรอยด์ และช่วยรักษาอาการซึมเศร้า
โพรลีน (Proline)	ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ และช่วยปรับปรับ โครงสร้างผิว
อะลานีน (Alanine)	ช่วยคุมระดับน้ำตาลในเลือดและลดอาการต่อมลูกหมากโต

## ตารางที่ 2.9 (ต่อ)

ชนิดกรดอะมิโน	ความสำคัญ/หน้าที่/ประโยชน์
อาร์จินีน (Arginine)	กระตุ้นการหลั่งโกรทฮอร์โมน เพิ่มจำนวนอสุจิ เพิ่มสมรรถภาพทางเพศ ช่วยเผาผลาญไขมันในร่างกายและลดระดับคอเลสเตอรอลชนิดดี
แอสพาราจีน (Asparagine)	ช่วยแก้ไขความบกพร่องทางสมองในเด็กที่มีปัญหาพันธุกรรมผิดปกติ
<b>กรดอะมิโนจำเป็น</b>	
ทริปโตเฟน (Tryptophan)	ลดความเครียด บรรเทาอาการไมเกรน ช่วยส่งเสริมการนอนหลับอย่างเป็นธรรมชาติ
ทรีโอนีน (Threonine)	ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกัน ช่วยเผาผลาญไขมัน และมีส่วนสำคัญในการสร้างกรดอะมิโนอย่าง ไกลซีน และ เซรีน
ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine)	เพิ่มความตื่นตัวเสริมความจำ บรรเทาอาการซึมเศร้า ลดความอยากอาหาร และช่วยเพิ่มความสนใจในเรื่องเพศ
เมไธโอนีน (Methionine)	เป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระอันตรายพลัง และช่วยในการย่อยสลายไขมัน
ลิวซีน (Leucine)	ช่วยกระตุ้นการทำงานของสมอง เพิ่มพลังให้กล้ามเนื้อ และช่วยให้เซลล์ประสาทแข็งแรงขึ้น
ไลซีน (Lysine)	ช่วยเสริมสมาธิ ช่วยป้องกันโรคเรื้อรังและโรคกระดูกพรุน บรรเทาปัญหาด้านการสืบพันธุ์
วาเลีน (Valine)	ช่วยกระตุ้นสมรรถนะของสมอง และช่วยประสานกันของกล้ามเนื้อ
ไอโซลิวซีน (Isoleucine)	ช่วยเสริมสร้างการเจริญเติบโต และเสริมสร้างการทำงานของระบบประสาท ช่วยพัฒนาการเรียนรู้
ฮิสทีดีน (Histidine)	เป็นกรดอะมิโนจำเป็น สำหรับทารกและเด็กเท่านั้น

ทิมา นันทยา จงใจเทศ (2549)

### ตารางที่ 2.10 สารสำคัญในรำข้าวที่มีผลต่อสุขภาพ

สารสำคัญ	ปริมาณ (ส่วนในล้านส่วน: ppm)
ไฟโตสเตอรอล	2,230-4,400
แกมมาออริซานอล	2,200-3,000
โทโคเฟอรอล และโทโคไตรอินอล	210-440
โพลีฟีนอล	305-309
สควารีน	4,000

ที่มา บังอร ศรีพานิชกุลชัย, ผดุงขวัญ จิตโรภาส และอรุณศรี ปรีเปรม (2548)

## 2.4 การนำรำข้าวมาใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่า

จากประโยชน์ของรำข้าวที่ได้จากกระบวนการสีข้าวนั้น นักวิจัยและผู้ประกอบการมีความต้องการเพิ่มมูลค่าให้กับรำข้าวทั้งชนิดหยาบและละเอียด จึงมีการศึกษาและนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 การใช้ประโยชน์จากรำข้าวในผลิตภัณฑ์ต่างๆ

ผลิตภัณฑ์จากรำข้าว	การประยุกต์ใช้รำข้าว	แหล่งอ้างอิง
น้ำมันรำข้าว	เป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับบริโภคที่มีคุณภาพดีเนื่องจากมีคลอเรสเตอรอลต่ำ	Friedman (2013)  Rigo, Pohlmann, Guterres & Ruver Beck (2014) Kaewboonnum, Wachararuji & Shotipruk (2008)
ใยข้าว	สามารถใช้เป็นสารเคลือบในอาหาร เช่น เคลือบช็อกโกแลตและผลไม้	บุญชัย เบญจรงค์กุล (2557)
อาหารเสริม	ใช้สาร Gamma-oryzanol, Lecithin และวิตามินอี จากการสกัดรำข้าวมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเสริม	Shih (2003) และบุญชัย เบญจรงค์กุล (2557)
ส่วนผสมในอาหารเด็กอ่อนหรือทารก	ใช้รำข้าวแบบละเอียดผสมในอาหารเด็กอ่อนเพื่อช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ	Shih (2003)
อาหารสัตว์	ใช้รำข้าวชนิดหยาบเพื่อเป็นส่วนผสมในการผลิตอาหารสัตว์	บุญชัย เบญจรงค์กุล (2557)
ส่วนผสมในขนมปัง	ใช้รำข้าวแบบละเอียดเป็นส่วนผสม	Tuncel et al. (2014)

ตารางที่ 2.11 (ต่อ)

ผลิตภัณฑ์จากรำข้าว	การประยุกต์ใช้รำข้าว	แหล่งอ้างอิง
อาหารเข้าธัญพืช อาหารเสริม โปรตีน เครื่องดื่ม	ใช้รำข้าวแบบละเอียดเป็นส่วนผสม	Shih (2003)
เครื่องสำอางและครีมบำรุงผิว	นำน้ำมันรำข้าวมาเป็นส่วนผสมในการผลิตเครื่องสำอางและครีมบำรุงผิว หรือ โลชั่นต่างๆ เนื่องจากในน้ำมันรำข้าวประกอบด้วยสารที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ เช่น แกรมมาออริซานอล และวิตามินอี ซึ่งช่วยบำรุงผิวพรรณให้ความชุ่มชื้น และชะลอความเหี่ยวย่นของผิวได้	Lerma-García, Herrero-Martínez, Simó-Alfonso, Mendonça & Ramis-Ramos (2009) Friedman (2013)
เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์เนื้อและไส้กรอก	ใช้รำข้าวแบบละเอียดเป็นส่วนผสม	Prakash (1996)
เครื่องดื่มรำข้าวอินทรีย์ (แต่งกลิ่น และรสชาติ)	ใช้รำข้าวแบบละเอียดในการผลิตเป็นเครื่องดื่มรำข้าวอินทรีย์ แต่งกลิ่นรสซ็อกโกแลตและสตอเบอรี่	Faccin, Miotto, Vieira, Barreto & Amante (2009)
ผลิตภัณฑ์นม (โยเกิร์ต) และอื่นๆ เช่น โยเกิร์ตพร้อมดื่ม	ใช้สารสีที่อยู่ในรำข้าวสีดำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต	Nontasan, Moongngarm & Deeseenthum (2012) Gao, Kaneko, Hirata, Toorisaka, & Hano (2008) Li, Lu, Yang, Han, & Tan (2012)

## 2.5 ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

ตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในประเทศไทยนับว่าเป็นตลาดที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากปัจจัยหนุนที่สำคัญคือ กระแสการรักษาสุขภาพเชิงป้องกัน ถึงแม้ว่าจะไม่มีรายงานอย่างชัดเจนจากทางการแพทย์ แต่ผู้คนส่วนใหญ่มีความเชื่อว่าการบริโภคอาหารหรือเครื่องดื่มที่ดีต่อสุขภาพจะช่วยให้สุขภาพร่างกายไม่เจ็บป่วย และสามารถช่วยลดภาวะเสี่ยงที่ก่อให้เกิดโรคร้ายไข้เจ็บได้ จากสถิติที่ผ่านมาพบว่าตลาดเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ทั้งการดำเนินชีวิตที่เปลี่ยนแปลง ความกดดันจากสภาพเศรษฐกิจและสภาพแวดล้อมในสังคมที่เปลี่ยนแปลงไป รวมถึงการตระหนักถึงเรื่องสุขภาพมากขึ้นของผู้บริโภคในปัจจุบัน

ธัญพืช ได้แก่ ข้าว ข้าวฟ่าง ถั่วเขียว ถั่วลิสง ถั่วเหลือง และงา เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ ใช้เป็นอาหารสัตว์และส่งออกต่างประเทศต่างๆ ทั่วโลก ในตลาดโลกมีการแข่งขันทางการค้ามากขึ้น การกีดกันการนำเข้าธัญพืช ทำให้ธัญพืชของไทยมีราคาไม่แน่นอน บางปีตกต่ำมาก และบางปีประสบปัญหาภาวะล้นตลาด ดังนั้นถ้าสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ จะสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับธัญพืช และช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น รวมถึงยังอาจเป็นสินค้าส่งออกไปต่างประเทศ ช่วยลดการเสียดุลการค้าของประเทศไทยลงได้เช่นกัน

ปัจจุบันพบเครื่องดื่มประเภทนมมากมายในท้องตลาดที่ผลิตจากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมและจากแหล่งอื่น เช่น พืชและธัญพืช ซึ่งเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพที่เลียนแบบนมชนิดที่นิยมส่วนใหญ่จะใช้วัตถุดิบจากพืช อาจใช้ในรูปของการใช้เมล็ดพืช เช่น เมล็ดพืชน้ำมันและธัญพืช มาผลิตโดยตรงหรืออาจใช้ในรูปของโปรตีนสกัดจากเมล็ดพืชและใบพืช อาจเรียกเครื่องดื่มว่า นมพืช (Vegetable milk) ผลิตภัณฑ์เลียนแบบนมและผลิตภัณฑ์นมจากพืชที่พัฒนาตัวแรกๆ คือ ถั่วเหลืองและถั่วลิสง นมถั่วเหลืองเป็นผลิตภัณฑ์ที่บริโภคกันมากและผลิตหลายรูปแบบแต่ยังมีปัญหาด้านกลิ่นรส ซึ่งผู้บริโภคบางกลุ่มไม่ยอมรับทำให้การขยายตัวอยู่ในวงจำกัด เป็นผลให้การศึกษาค้นคว้าโดยการนำเอาวัตถุดิบชนิดอื่นๆ ทั้งพืชและสัตว์หลายแหล่งมาใช้ในการผลิต ซึ่งวัตถุดิบจากสัตว์ ได้แก่ เวย์โปรตีน, หางนมผง, โปรตีนเคซีน, โปรตีนปลาเข้มข้น เป็นต้น ส่วนวัตถุดิบจากพืช เช่น ถั่วพู งา และเมล็ดพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ จากธัญพืชต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ในรูปของโปรตีนเข้มข้น (Protein isolates) หรือรูปโปรตีนสกัดจากใบพืช (Leaf protein) รวมทั้งโปรตีนเซลล์เดียว (Single cell protein) จากยีสต์ มากไปกว่านั้นการพัฒนา นมพืชนี้ ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับนม นมเหมาะสำหรับผู้ที่มีอาการแพ้แลคโตส (Lactose intolerant) เนื่องจากขาดเอนไซม์แลกเตส และต้องการใช้ไขมันจากพืชแทนไขมันสัตว์

เพราะไขมันสัตว์มีผลต่อการเกิดโรคหัวใจขาดเลือดและความดันโลหิตสูง โดยทั่วไปเครื่องดื่มเลียนแบบนมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท โดยสรุปดังนี้

2.5.1 เครื่องดื่มเลียนแบบนมจากเมล็ดพืชน้ำมัน (Oilseed) เช่น เครื่องดื่มจากเมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดถั่วลิสง เมล็ดถั่วพู และเมล็ดงา เป็นต้น

2.5.2 เครื่องดื่มเลียนแบบนมจากเมล็ดธัญพืช (Cereal grain) เช่น เครื่องดื่มจากข้าวโพด และข้าวเจ้า เป็นต้น

อย่างไรก็ตามปัจจุบันผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพสามารถทำได้จากวัตถุดิบต่างๆ ที่มีประโยชน์ หนึ่งในนั้นรวมถึงข้าวที่เป็นอาหารหลักของคนส่วนใหญ่ในโลก ซึ่งข้าวสามารถนำมาผลิตเป็นเครื่องดื่มนมข้าวได้และในปัจจุบันนี้มีการผลิตขึ้นมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์แล้ว เนื่องจากข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีประโยชน์ มีคลอโรฟิลล์และยังปราศจากน้ำตาลแลคโตส ซึ่งไม่ทำให้เกิดการแพ้และเป็นผลดีต่อผู้บริโภคที่ไม่สามารถบริโภค นมวัวได้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าข้าวจะสามารถนำมาผลิตเป็นนมข้าวได้เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการทดแทนนมวัวในปัจจุบัน แต่ในนมข้าวก็ยังมีข้อเสียเมื่อเปรียบเทียบกับนมวัว ตัวอย่างเช่น มีปริมาณแคลเซียมต่ำ รวมถึงปริมาณโปรตีนในนมข้าวด้วย ดังนั้นนมข้าวส่วนใหญ่ที่พบในเชิงพาณิชย์มักจะมีการเติมแคลเซียม หรือสารอาหารต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นธัญพืชที่มีประโยชน์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้ใกล้เคียงกับนมวัวมากที่สุด

นอกจากนี้ยังพบการผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพมากมายในท้องตลาดที่ผลิตขึ้นมาจากพืช และธัญพืช ซึ่งเครื่องดื่มเหล่านี้อาจจะไม่ได้ให้พลังงานที่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับนมวัว แต่เครื่องดื่มเหล่านี้หรือที่เรียกว่า “Functional drink” จะช่วยในการทำให้ร่างกายสดชื่น มีการเติมคุณค่าทางโภชนาการต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น วิตามิน แร่ธาตุต่างๆ เพื่อช่วยเสริมสร้างการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายให้เป็นปกติ และสามารถช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคได้อีกด้วย

## 2.6 การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ

การผลิตเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในปัจจุบัน มีกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้บริโภค และความเป็นไปได้ในการผลิตนั้นๆ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่พบในเชิงพาณิชย์จะมีกระบวนการผลิตหลักๆ ที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ การผลิตแบบพาสเจอร์ไรส์ การผลิตแบบสเตอริไรส์ และการผลิตแบบผงพร้อมชง

### 2.6.1 การผลิตแบบพาสเจอร์ไรส์ (Pasteurization)

พาสเจอร์ไรส์ (Pasteurize) เป็นการฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อน การฆ่าเชื้อวิธีนี้สามารถทำลายเอนไซม์ต่างๆ รวมทั้งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ทั้งนี้อุณหภูมิที่ใช้ในการฆ่าเชื้อต้องไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส โดยผู้ผลิตสามารถเลือกใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 63 องศาเซลเซียส และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า หรือใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 72 องศาเซลเซียส และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่ อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ควรเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิต่ำเยือก เพราะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำสามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ของเชื้อจุลินทรีย์ได้ วิธีการพาสเจอร์ไรส์มี 2 วิธีดังนี้

#### 2.6.1.1 วิธีใช้ความร้อนต่ำ - เวลานาน (LTLT: Low Temperature - Long Time)

วิธีนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 62.8 - 65.6 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เมื่อผ่านความร้อนโดยใช้ เวลาตามที่กำหนดแล้ว ต้องเก็บอาหารไว้ในที่เย็นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า 7.2 องศาเซลเซียส กรรมวิธีการ นี้ นอกจากจะทำลายแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคแล้วยังยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ย่อยไขมันชนิดไลเปส (Lipase) ซึ่งเป็นตัวการทำให้เกิดกลิ่นหืนในน้ำมันด้วย

#### 2.6.1.2 วิธีใช้ความร้อนสูง - เวลาสั้น (HTST: High Temperature - Short Time)

วิธีนี้ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าวิธีแรก แต่ใช้เวลาน้อยกว่าคืออุณหภูมิ 71.1 องศาเซลเซียส คงไว้เป็นเวลา 15 วินาที อาหารที่ผ่านความร้อนแล้วจะได้รับการบรรจุลง กล่องหรือขวดโดยวิธีปราศจากเชื้อ แล้วนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 7.2 องศาเซลเซียส (ชมกฤษฎา เพื่อนพิภพ และปรัชญา แพนงคณ, 2554)

ในปี 2009 พบว่ามีการนำรำข้าวไปประยุกต์ใช้กับเครื่องคั้นพาสเจอร์ไรส์ ซึ่งเป็นการศึกษาของ Faccin et al. (2009) โดยใช้รำข้าวที่ได้มาจากข้าวสายพันธุ์ในประเทศบราซิล ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นพาสเจอร์ไรส์ที่ทำจากรำข้าวด้วยการเติมกลิ่น รสของโกโก้ สตอเบอร์รี่และสารให้ความหวานลงไป และตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ในด้าน ภายภาพ เคมี คุณค่าทางโภชนาการ และการประเมินคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคด้วยเช่นกัน จากผลการทดลองพบว่าผลิตภัณฑ์เครื่องคั้นรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ของทั้งสองรสชาติไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติในด้านขององค์ประกอบทางเคมี นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องคั้นนี้สามารถให้พลังงาน 450-478 กิโลจูลต่อลิตร ต่อการบริโภคในหนึ่งครั้ง ปริมาณของกรดไขมันในเครื่องคั้นไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของกรดไขมันในตัวรำข้าวที่ใช้ผลิต แต่พบว่าปริมาณของกรดอะมิโนของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างอย่างมากกับตัวรำข้าว อย่างไรก็ตามผลของการประเมินทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าผลิตภัณฑ์นี้มีคะแนนความชอบมากกว่า

6 คะแนนและเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่ ดังนั้นนักวิจัยสรุปว่ารำข้าวอาจเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพได้ แต่อาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านของจุลชีววิทยา สภาวะการเก็บรักษา และความปลอดภัยต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในด้านของกลิ่น สี รสชาติ และลักษณะปรากฏ ให้มีคุณภาพที่ดีและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้นอีกด้วย ดังนั้นการนำรำข้าวมาเพิ่มมูลค่าโดยนำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพนั้นจึงเป็นที่น่าสนใจอย่างมากในปัจจุบัน และควรมีการศึกษาค้นคว้า วิจัยเพิ่มเติมต่อไปในอนาคตอย่างต่อเนื่องอีกด้วย เพื่อเป็นการนำผลพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการสีข้าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับภาคอุตสาหกรรม (Faccin et al., 2009)

### 2.6.2 การผลิตแบบสเตอริไรส์ (Sterilization)

การฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อนเพื่อทำลายจุลินทรีย์ รวมทั้งสปอร์ของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและสปอร์ส่วนใหญ่ที่ทำให้อาหารเน่าเสีย กรรมวิธีการฆ่าเชื้อนี้ต้องใช้อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาที่เหมาะสม ปริมาณความร้อนที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารจะอยู่ในระดับที่เรียกว่า การฆ่าเชื้อเชิงการค้า (Commercial sterilization) หรือใช้ความร้อนในการสเตอริไรส์จะสูงกว่าจุดเดือด คือประมาณ 100-130 องศาเซลเซียส วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น UHT (Ultra High Temperature) โดยจะใช้อุณหภูมิ 135-150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-4 วินาที อาหารที่ผ่านการแปรรูปในระดับการฆ่าเชื้อเชิงการค้าอาจยังมีสปอร์ของแบคทีเรียทนร้อน (Thermophiles) หลงเหลืออยู่ แต่ไม่เป็นปัญหาเนื่องจากอาหารถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องหรือต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส สปอร์ของแบคทีเรียทนร้อนจึงไม่สามารถงอกและเพิ่มจำนวนต่อการทำให้อาหารเน่าเสียได้ (ยาวพา สุวัตติ, 2557)

### 2.6.3 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying)

เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับการทำแห้งสารละลายอินทรีย์ สารประเภทอิมัลชัน (Emulsion) และของเหลวชนิดต่างๆ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของผงแห้ง มักใช้วิธีนี้ในอุตสาหกรรมทางเคมีและอาหาร ผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่มีวางขายในปัจจุบันได้แก่ นมผง อาหารเด็ก ยา และสีย้อม การทำแห้งด้วยวิธีนี้ นอกจากจะใช้สำหรับทำแห้งอย่างรวดเร็วแล้ว ยังเป็นวิธีการที่มีประโยชน์มากในการลดขนาดและปริมาตรของของเหลวอีกด้วย จากการวิจัยและพัฒนาที่ต่อเนื่องกันมาทำให้วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยกลายเป็นวิธีการทำแห้งที่มีประสิทธิภาพและนิยมนำมาใช้ทำแห้งให้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิดในปัจจุบัน โดยหลักการของกระบวนการผลิตแบบผงจะมีดังนี้ คือ การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยนํ้าออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยอาศัยความร้อน กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการ

พ่นของเหลว (Feed) เป็นละอองขนาดเล็ก เข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปทั้งหมด และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง สำหรับกระบวนการทำแห้งให้กับอาหารเหล่านั้น จะเริ่มทำตั้งแต่ใส่อาหารเหลวลงในเครื่อง แล้วรอจนอาหารเหลวมีความชื้นในระดับที่เหมาะสมต่อการฉีดให้ออกมาเป็นละออง จากนั้นจึงแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งออกมา สำหรับตัวอย่างของเหลวที่นำมาทำแห้งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่เป็นตัวทำละลาย สารประเภทอิมัลชัน หรือสารแขวนลอยก็ได้ ส่วนเครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยคือเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (วสันต์ คิ้วงำจันทร์, 2546; รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2535; สมบัติ ขอทวีวัฒนา, 2529)

## 2.7 มาตรฐาน / ข้อกำหนด คุณภาพและการตรวจวัดคุณภาพ

ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 198 ปี พ.ศ.2543 อ้างโดยสำนักงานคณะกรรมการองค์การอาหารและยา (2543) ว่าด้วยการกำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน น้ำนมถั่วเหลืองในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทไว้ดังนี้

ข้อ 1 น้ำนมถั่วเหลือง หมายความว่า ของเหลวที่ได้จากถั่วเหลืองหรือส่วนหนึ่งส่วนใดของถั่วเหลือง และอาจผสมวัตถุอื่นที่มีคุณค่าทางอาหารด้วยหรือไม่ก็ได้ ทั้งนี้ ให้ความหมายรวมถึงน้ำนมถั่วเหลืองชนิดเข้มข้นที่ต้องเจือจางก่อนบริโภค และน้ำนมถั่วเหลืองชนิดแห้งที่ต้องละลายก่อนบริโภค

ข้อ 2 การผลิตน้ำนมถั่วเหลือง ต้องใช้ถั่วเหลืองเป็นส่วนประกอบหลัก และในกรณีที่เป็นน้ำนมถั่วเหลืองชนิดเหลวต้องผ่านกรรมวิธีแล้วแต่กรณี ดังต่อไปนี้

1) พาสเจอร์ไรส์ หมายความว่า กรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส โดยใช้อุณหภูมิและเวลาอย่างไรอย่างหนึ่ง ดังต่อไปนี้

1.1) อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 63 องศาเซลเซียส และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า

1.2) อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 72 องศาเซลเซียส และคงอยู่ที่อุณหภูมินี้ไม่น้อยกว่า 15 วินาที แล้วทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า

2) สเตอริไลส์ หมายความว่า กรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนไม่ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม

3) ยู เอช ที หมายความว่า กรรมวิธีฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 133 องศาเซลเซียส ไม่น้อยกว่า 1 วินาที แล้วบรรจุในภาชนะและในสภาวะที่ปราศจากเชื้อ ทั้งนี้จะต้องผ่านกรรมวิธีทำให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย

4) กรรมวิธีอย่างอื่นที่มีมาตรฐานเทียบเท่ากรรมวิธีตาม 1) 2) หรือ 3) ตามที่ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการอาหารและยา

5) กรรมวิธีอื่นที่ได้รับความเห็นชอบจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา

ข้อ 3 เครื่องดื่ม นำนมถั่วเหลืองจากที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด จะต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1) มีกลิ่นและรสตามลักษณะของนํานมถั่วเหลืองนั้น

2) มีลักษณะเป็นของเหลวเนื้อเดียวกัน

3) มีโปรตีนจากถั่วเหลืองไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 ของน้ำหนัก

4) มีไขมันจากถั่วเหลืองไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของน้ำหนัก

5) ไม่มีวัตถุกันเสีย

6) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

7) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์หรือสารเป็นพิษอื่นในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

8) ตรวจพบแบคทีเรียชนิด โคลิฟอร์ม น้อยกว่า 2.2 ต่อนํานมถั่วเหลือง 100 มิลลิลิตร โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (Most probable number)

9) ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิด อี. โคไล (*Escherichia coli*) ในนํานมถั่วเหลือง 0.1 มิลลิลิตร

10) ตรวจไม่พบแบคทีเรียในนํานมถั่วเหลืองที่ผ่านกรรมวิธีสเตอริไลส์ 0.1 มิลลิลิตร และมีแบคทีเรียไม่เกิน 10 ในนํานมถั่วเหลืองที่ผ่านกรรมวิธี ยู เอช ที 1 มิลลิลิตร

11) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาลนอกจากการใช้น้ำตาลได้ โดยใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหาร เอฟ เอ โอ/ดับเบิลยู เอช โอ, โคเด็กซ์ (Joint FAO/WHO, Codex) ที่ว่าด้วยเรื่อง วัตถุเจือปนอาหาร และฉบับที่ได้แก้ไขเพิ่มเติม

ในกรณีที่ไม่มีมาตรฐานกำหนดไว้ตามวรรคหนึ่ง ให้สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา ประกาศกำหนดโดยความเห็นชอบของคณะกรรมการอาหาร

12) ไม่มีสารปนเปื้อน เว้นแต่

12.1) สารหนู ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อนํานมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

12.2) ตะกั่ว ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อนํานมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

12.3) ทองแดง ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อนํานมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

- 12.4) สังกะสี ไม่เกิน 5 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม  
 12.5) เหล็ก ไม่เกิน 15 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม  
 12.6) คีบुक ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม  
 12.7) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อน้ำนมถั่วเหลือง 1 กิโลกรัม

ข้อ 4 น้ำนมถั่วเหลืองชนิดเข้มข้นเมื่อเจือจางตามที่กำหนดไว้ในฉลากแล้ว ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามข้อ 3

ข้อ 5 น้ำนมถั่วเหลืองชนิดแห้ง ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

- 1) มีลักษณะเป็นผงไม่เกาะเป็นก้อน
- 2) มีความชื้น ไม่เกินร้อยละ 6 ของน้ำหนัก
- 3) มีแบคทีเรียไม่เกิน 100,000 ในน้ำนมถั่วเหลืองชนิดแห้ง 1 กรัม
- 4) เมื่อละลายหรือผสมน้ำตามที่กำหนดไว้ในฉลากแล้ว ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตามข้อ 3

ข้อ 6 ผู้ผลิตหรือผู้นำเข้า น้ำนมถั่วเหลืองในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิทเพื่อจำหน่าย ต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง วิธีการผลิต เครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิต และการเก็บรักษาอาหาร

ข้อ 7 การใช้ภาชนะบรรจุ น้ำนมถั่วเหลือง ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ภาชนะบรรจุ

ข้อ 8 การแสดงฉลากของ น้ำนมถั่วเหลือง ให้ปฏิบัติตามประกาศกระทรวงสาธารณสุขว่าด้วยเรื่อง ฉลาก

## 2.8 แนวโน้มตลาดเครื่องดื่ມเพื่อสุขภาพ

ตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพในประเทศไทยนับว่าเป็นตลาดที่น่าสนใจ แม้ว่าภาวะเศรษฐกิจโดยรวมจะชะลอตัวก็ตาม อย่างไรก็ตามมีการส่งผลกระทบต่อตลาดอาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ เนื่องจากปัจจัยหลักที่สำคัญคือ กระแสการรักษาสุขภาพเชิงป้องกัน จากศูนย์อัจฉริยะเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร สถาบันอาหาร พบว่าพฤติกรรมผู้บริโภคและทัศนคติต่อผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพในกลุ่ม “อาหารเพื่อสุขภาพสำเร็จรูป หรือ อาหารเพื่อสุขภาพบรรจุภาชนะ (Packaged health food)” ซึ่งถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดตลาดค่อนข้างใหญ่ ด้วยมูลค่าตลาด 79,311 ล้านบาท หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 55.35 ของมูลค่าตลาดอาหารเพื่อ

สุขภาพทั้งหมดโดยมีการแยกสัดส่วนตลาดออกเป็นสัดส่วนได้ดังนี้ คือ 1) ผลิตภัณฑ์บำรุงร่างกาย ชนิดเครื่องดื่มหรือชนิดน้ำ (ร้อยละ 42.0) 2) ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพทั่วไป (ทั้งชนิดเม็ดและผง ไม่รวมวิตามิน) (ร้อยละ 35.0) 3) กลุ่มวิตามิน (ร้อยละ 16.0) และ 4) กลุ่มผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสำหรับเด็ก (ร้อยละ 7.0) ตามลำดับ โดย Euromonitor International คาดว่า ตลาดอาหารเพื่อสุขภาพสำเร็จรูปในไทยจะเติบโตอย่างรวดเร็วร้อยละ 14 ภายในปี พ.ศ. 2558 โดยมีปัจจัยขับเคลื่อนที่สำคัญ คือ แนวโน้มผู้บริโภคที่หันมานิยมอาหารเพื่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น ในด้าน ช่องทางการกระจายสินค้ามีความสะดวกสบายทำให้ผู้บริโภคตัดสินใจซื้อได้ง่ายขึ้น และที่สำคัญ การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการนำนวัตกรรมใหม่ๆ มาสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์เพื่อให้ตอบโจทย์ความต้องการของผู้บริโภคเฉพาะด้านคุณค่าอาหารที่ได้รับ เช่น กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเพื่อผู้บริโภคที่ต้องการควบคุมคอเลสเตอรอล ไขมันและน้ำตาล ผลิตภัณฑ์สำหรับความสวยงามด้านผิวพรรณ ผลิตภัณฑ์สำหรับสมอง และผลิตภัณฑ์สำหรับบำรุงหัวใจ เป็นต้น รวมทั้งการสร้างสรรคั บรรจุภัณฑ์ใหม่ๆ ที่ดี เข้ากับรูปแบบการใช้ชีวิต การแสดงคุณค่าหรือคุณประโยชน์หรือความ เป็นมาของส่วนผสมที่นำมาแสดงบนบรรจุภัณฑ์ ล้วนแล้วเป็นปัจจัยที่กระตุ้นให้เกิดการเลือกซื้อ ผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพสำเร็จรูป

อย่างไรก็ตามคาดว่าแนวโน้มในอนาคตของธุรกิจผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อ สุขภาพในประเทศไทย และทั่วโลกยังคงขยายตัวได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากผู้คนหันมาให้ความสำคัญ ใส่ใจด้านสุขภาพอนามัยมากขึ้น ทำให้ผู้คนมีการใช้จ่ายในเรื่องที่เกี่ยวกับการป้องกันและรักษา สุขภาพให้แข็งแรงมากขึ้น โดยทั้งคนไทยและคนชาติอื่นๆ บางส่วนเชื่อว่า การบริโภคอาหารและ เครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจะเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ช่วยให้สุขภาพแข็งแรงและอาจช่วยลดอัตราการเสี่ยง ของการเกิดโรคด้วยเช่นกัน ดังนั้นตลาดผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพจะยังคงมีการ ขยายตัวทั้งในแง่ของผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ และบริษัทรายใหม่ที่ทยอยเข้ามาในตลาด ซึ่งนับว่าเป็นผลดี กับผู้บริโภค เนื่องจากจะเกิดการแข่งขันของผู้ประกอบการที่สูง จึงส่งผลให้ผู้ประกอบการต้อง พัฒนาตนเองมากขึ้น โดยเฉพาะด้านคุณภาพ มาตรฐานของสินค้าและราคาอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

โดยสรุปแล้วธุรกิจผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพนับว่าเป็นธุรกิจที่น่าจับตามอง เนื่องจาก ยังคงมีโอกาสในการขยายตัวได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีปัจจัยหนุนคือ กระแสการรักษาสุขภาพ เชิงป้องกัน รวมทั้งการขยายฐานลูกค้า โดยการที่ผู้ประกอบการให้ความรู้และข้อมูลที่ต้องการของ อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพ ซึ่งอ้างอิงมาจากผลงานวิจัยและพัฒนาของสถาบันที่ได้รับการ ยอมรับในระดับสากล ดังนั้นการจะประกอบธุรกิจผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มเพื่อสุขภาพให้ ได้ผลสำเร็จหรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้ประกอบการแต่ละรายที่จะต้องมีมาตรการทาง การตลาดที่ดี สามารถขายแข่งขันกับคู่แข่งได้ ในราคาที่ไม่แพง และสินค้ามีคุณภาพดี โดยต้องผ่าน

การรับรองจากองค์การอาหารและยา กระทรวงสาธารณสุข ซึ่งเท่ากับเป็นการรับรองคุณภาพและความปลอดภัยในการบริโภค เนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ นับว่าเป็นปัจจัยสำคัญอันดับต้นๆ ในการพิจารณาเลือกซื้ออาหารเสริมเพื่อสุขภาพของผู้บริโภคในอนาคต

## 2.9 ไฮโดรคอลลอยด์

ไฮโดรคอลลอยด์ หมายถึง โพลีเมอร์ชนิดชอบน้ำ (Hydrophilic) ที่ได้จากพืช สัตว์ จุลินทรีย์ รวมถึงโพลีเมอร์ดัดแปรจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ สารกลุ่มนี้ไม่ละลายในน้ำ แต่จะแขวนลอย (Disperse) อยู่ในน้ำ โดยจับกับโมเลกุลของน้ำไว้ดี โดยทั่วไปจะเป็นโพลีเมอร์ที่มีสายยาวและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ในโมเลกุลอาจประกอบไปด้วยโมโนแซ็กคาไรด์ชนิดเดียวกันทั้งหมด (โฮโมโพลีแซ็กคาไรด์) เช่น เดกซ์แทรน และฟอสโฟแมนแนน หรือประกอบด้วยโมโนแซ็กคาไรด์หลายชนิด (เฮเทอโรโพลีแซ็กคาไรด์) เช่น กัมอะราบิก และกัมคารายา เป็นต้น

กัม (Gums) หมายถึง สารที่มีลักษณะเหนียว เมื่อละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำจะทำให้สารละลายที่ได้มีความหนืดสูงหรือมีลักษณะเป็นเจล ในอุตสาหกรรมอาหารจึงได้นำสารเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์เป็นสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (Thickener) สารทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Emulsifier) สารแขวนตะกอน (Suspending agent) สารทำให้เกิดเจล (Gelling agent) สารทำให้เกิดฟิล์ม (Film-forming agent) เป็นสารห่อหุ้ม (Encapsulating agent) และหน้าที่อื่นๆ ในผลิตภัณฑ์อาหารอีกมากมาย ซึ่งหน้าที่ดังกล่าวนี้จะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น เช่น มีลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏที่ดี รวมถึงช่วยยืดอายุการวางขายของผลิตภัณฑ์อาหารได้นาน

ไฮโดรคอลลอยด์สามารถจำแนกเป็นชนิดต่างๆ ได้ 2 วิธี คือ (นิธิยา รัตนานพนธ์, 2553)

1. จำแนกตามแหล่งที่มา ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มหลักๆ ได้แก่

1.1) ไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากธรรมชาติ ส่วนใหญ่ได้มาจากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ยาง เมล็ด ราก หัว และได้จากสาหร่ายทะเลบางชนิดได้มาจากสัตว์ เช่น เจลาติน

1.2) ไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นอนุพันธ์ของสารที่ได้จากธรรมชาติ หรือดัดแปรสารจากธรรมชาติ (Modified natural) เช่น อนุพันธ์ของเซลลูโลส และอนุพันธ์ของสตาร์ช

1.3) ไฮโดรคอลลอยด์ที่เป็นสารสังเคราะห์ (Synthetic) เช่น พอลิไวนิลไพโรลิดีน และพอลิเอทิลีนออกไซด์พอลิเมอร์

อย่างไรก็ตามไฮโดรคอลลอยด์ที่มักเป็นที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารนั้น ได้แก่ ไฮโดรคอลลอยด์ในกลุ่มที่ได้จากธรรมชาติ

2. จำแนกตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลและ Functional หรือ Reactive group ที่อยู่ในโมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งอาจเป็นประจุลบ (Anionic) ไม่มีประจุ (Non-ionic) หรือเป็นกลาง (Neutral) สำหรับพอลิแซ็กคาไรด์กัมชนิดที่มีประจุลบ คือ พวกที่มีหมู่ซัลเฟต หมู่คาร์บอกซิลิก และหมู่ฟอสเฟต

### 2.9.1 สมบัติทั่วไปของไฮโดรคอลลอยด์

#### 2.9.1.1 การกระจายตัวในน้ำ (Dispersibility in water)

ไฮโดรคอลลอยด์ส่วนใหญ่จะสามารถละลายได้ดีในน้ำร้อน มีเพียงบางชนิดเท่านั้นที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น เช่น กัมอะราบิก และกัมบางชนิดจะละลายได้บ้างในดัวทำละลายอินทรีย์ การที่ไฮโดรคอลลอยด์มีความสามารถในการละลายหรือการกระจายตัวได้ในน้ำผันแปรแตกต่างกันเรียกว่า “Degree of solubility” ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ อุณหภูมิและความเข้มข้น ไฮโดรคอลลอยด์หรือกัมส่วนใหญ่จะละลายได้ดีที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 1-2 ในขณะที่อนุพันธ์ของเซลลูโลสบางชนิดสามารถละลายได้ที่ความเข้มข้นสูงๆ เนื่องจากมีความหนืดต่ำ อย่างไรก็ตามการละลายของไฮโดรคอลลอยด์ส่วนใหญ่ต้องใช้ความร้อน และการละลายกัมจะต้องทำอย่างระมัดระวัง เนื่องจากกัมเหล่านี้มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิก จึงทำให้เกิดการคูดน้ำได้อย่างรวดเร็วและส่งผลให้เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน

#### 2.9.1.2 ความหนืด (Viscosity)

ไฮโดรคอลลอยด์หรือสารพวกกัม เมื่อละลายในน้ำจะได้สารละลายที่มีความหนืดมากขึ้น และจะมีความหนืดต่างกันในสารละลายกัมต่างชนิดกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของสารละลาย ได้แก่ ธรรมชาติชนิดของกัม อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ละลาย และความเข้มข้นของสารละลาย เป็นต้น

ตารางที่ 2.12 ปริมาณการใช้กัมแต่ละชนิดตามหน้าที่ในอุตสาหกรรมอาหาร

หน้าที่	ร้อยละ
เพิ่มความคงตัว, ช่วยพองตัว และ ช่วยกระจายคราบน้ำมัน	25
เพิ่มความหนืด	23
สารช่วยให้เกิดฟิล์ม	17
สารช่วยกักเก็บน้ำ	12
ช่วยทำให้รวมตัว / แข็งตัว	7
คอลลอยด์	6
สารหล่อลื่น และ ลดแรงเสียดทาน	5
อื่นๆ	5

ทิมา นิธิยา รัตนาปนนท์ (2553)

### 2.9.1.3 การเกิดเจล (Gel formation)

เพกทิน เอการ์ สตาร์ช แอลจินेट และคาร์ราจีแนน เป็นกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์กัมที่สามารถเกิดเจลได้เมื่อได้รับสภาวะที่เหมาะสม เช่น เพกทินจะเกิดเจลได้เมื่อมีน้ำร้อน น้ำตาลและกรด สตาร์ชละลายในน้ำร้อนหรือต้มกับนมจะได้เจลที่มีเนื้อนุ่ม เอการ์ก็เช่นเดียวกัน จะเกิดเจลได้ดีเมื่อต้มจนเดือด ส่วนคาร์ราจีแนนจะเกิดเจลเมื่อละลายในน้ำร้อนแล้วตั้งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเกิดเจลของไฮโดรคอลลอยด์บางชนิดอาจต้องใช้สภาวะที่พิเศษ เช่น ต้องการโพแทสเซียมไอออน หรือแคลเซียมไอออน ในการทำให้เกิดเจล ดังนั้นจากสมบัติต่างๆ ที่กล่าวมานั้นจึงทำให้มีการนำไฮโดรคอลลอยด์มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากขึ้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหารให้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ไฮโดรคอลลอยด์ ต้องขึ้นอยู่กับสมบัติของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิด และหน้าที่ที่ต้องการแตกต่างกันออกไปดังแสดงในตารางที่ 2.12 และ ตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 หน้าที่ของไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด และปริมาณจำกัดที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ไฮโดรคอลลอยด์	หน้าที่			ปริมาณจำกัดในการใช้ (ร้อยละ)
	เพิ่มความหนืด	เกิดเจล	เพิ่มความคงตัว	
กัวร์กัม	+	-	-	1.5
โลคัสบีนกัน	+	-	-	1.5
เพกทิน	-	+	+	2.0
แอลจินेट	+	+	+	1.0
เอการ์	-	+	+	1.0
คาร์ราจีแนน	-	+	+	1.5
กัมทรากาแคนต์	+	-	-	2.0
กัมอะราบิก	+	-	+	50.0
สตาร์ช	+	-	+	2.0
แซนแทนกัม	+	-	+	1.0

ที่มา นิธิยา รัตนานพนนท์ (2553) และ Viebke, Al-Assaf and Phillips (2014)

### 2.9.2 การใช้ประโยชน์ของไฮโดรคอลลอยด์

ปัจจุบันไฮโดรคอลลอยด์ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมอื่นๆ อย่างแพร่หลาย ประเทศสหรัฐอเมริการายงานปริมาณการใช้ของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดดังแสดงในตารางที่ 2.14 อย่างไรก็ตามการนำพอลิแซ็กคาไรด์กัมมาใช้ทำหน้าที่ในผลิตภัณฑ์อาหารใดๆ นั้น ต้องขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและสมบัติเฉพาะตัวของกัมชนิดนั้นๆ ด้วย นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิดอาจใช้ไฮโดรคอลลอยด์มากกว่าหนึ่งชนิดมาผสมกันเพื่อให้เกิดลักษณะที่ดีของผลิตภัณฑ์สุดท้ายก็ได้ อย่างไรก็ตามปัจจุบันการนำกัมมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ นั้นยังคงมีการค้นคว้าวิจัยอย่างต่อเนื่อง และยังมีการพัฒนาไฮโดรคอลลอยด์ชนิดใหม่ๆ ขึ้นมาด้วย เพื่อช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น

ตารางที่ 2.14 ปริมาณการใช้ประโยชน์ของไฮโดรคอลลอยด์ในอุตสาหกรรม

ไฮโดรคอลลอยด์	ปริมาณการใช้ (ล้านปอนด์)		
	อุตสาหกรรมอาหาร	อุตสาหกรรมอื่นๆ	ปริมาณทั้งหมด
แป้งข้าวโพด	600.0	2,500.0	3,100.0
กัมอาระบิก	24.0	7.0	31.0
กัวร์กัม	20.0	45.0	65.0
คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	16.0	100.0	116.0
เซลลูโลส			
เพกทิน	12.0	-	12.0
แอลจินेट	10.0	2.0	12.0
กัมแกตติ	10.0	1.0	11.0
โลคัสต์บินกัม	9.0	3.0	12.0
คาร์ราจีแนน	9.0	0.2	9.2
แซนแทนกัม	3.0	9.0	12.0
เมทิลเซลลูโลส	3.0	53.0	55.0
กัมทราคาแคนต์	1.3	0.2	1.5
กัมคารายา	1.0	7.0	8.0
เอการ์	0.3	0.4	0.7
เฟอเซลลาแรน	0.3	-	0.3

ที่มา นิธิยา รัตนปนนท์ (2553)

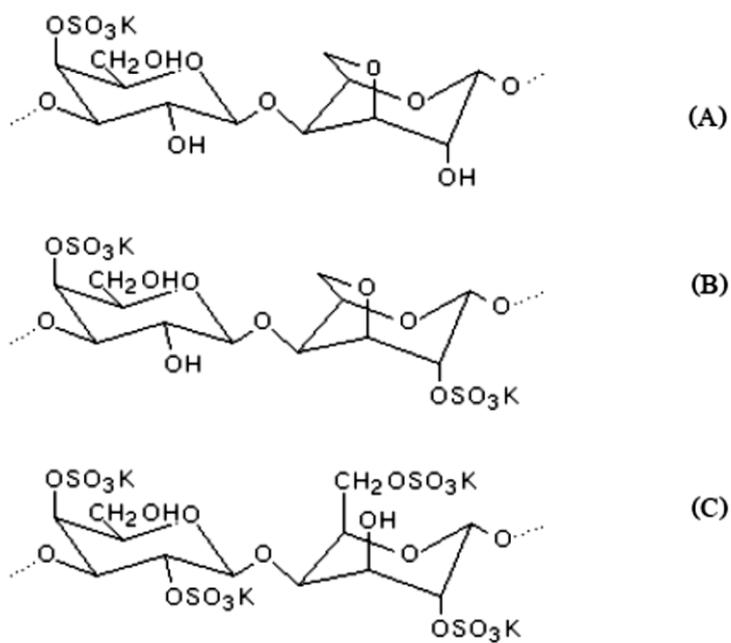
### 2.9.3 คาร์ราจีแนน (Carrageenan)

คาร์ราจีแนนเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ซัลเฟต (Polysaccharidesulfate) ชนิดหนึ่งที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง คาร์ราจีแนนแบ่งออกเป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ แคปป์-คาร์ราจีแนน ( $\kappa$  ; kappa), ไอโอตา-คาร์ราจีแนน ( $\iota$  ; iota), และแลมดา-คาร์ราจีแนน ( $\lambda$  ; lambda) ในสาหร่ายส่วนใหญ่มีคาร์ราจีแนนอย่างน้อย 2-3 ชนิดผสมกันอยู่ แคปป์ และ ไอโอตา คาร์ราจีแนนเท่านั้นที่มีสมบัติเกิดเจลได้เมื่อมีโปแตสเซียมไอออน ส่วนแลมดา คาร์ราจีแนนเกิดเจลไม่ได้ (Thomas, 1997)

คาร์ราจีแนนทั้งสามชนิดมีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลกาแลคโตสที่ถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยกรดซัลฟิวริกที่ตำแหน่งและระดับต่างๆ กัน แคลปาคาร์ราจีแนนเป็น galactose-4-sulfate ที่ต่อกันด้วยพันธะ 1-3 และต่อกับ 3,6-anhydro-D-galactose ด้วยพันธะ 1-4 ในโมเลกุลของ 3,6-anhydro-D-galactose คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 จะถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยหมู่ซัลเฟตประมาณร้อยละ 20-30 และบางส่วนของพันธะ 1-4 อาจเป็น galactose-6-sulfate แทน 3,6-anhydro-D-galactose แคลปาคาร์ราจีแนนมีความไวต่อโปแตสเซียม และสามารถตกตะกอนแยกออกมาจากคาร์ราจีแนนชนิดอื่นได้โดยใช้โปแตสเซียมคลอไรด์

โครงสร้างโมเลกุลของ แลมดาคาร์ราจีแนน ประกอบด้วย galactose-2- sulfate ต่อกันด้วยพันธะ 1-3 และต่อกับ galactose-2,6-disulfate ด้วยพันธะ 1-4 บางครั้งที่พันธะ 1-3 อาจต่อกับกาแลคโตสก็ได้ แลมดาคาร์ราจีแนนไม่ไวต่อโปแตสเซียม ไอโอตาคาร์ราจีแนนเป็นชนิดที่มีความไวต่อแคลเซียม สกัดได้จาก *Eucheuma spinosum* ในโมเลกุลประกอบด้วย galactose-4-sulfate ต่อกันด้วยพันธะ 1-3 และมี 3,6-anhydro-D-galactose-2- sulfate มาต่อพันธะ 1-4 และบางครั้งที่พันธะ 1-4 อาจมีหมู่ซัลเฟตอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5 ก็ได้

การใช้คาร์ราจีแนนผสมลงในอาหารที่มีโปรตีน หมู่ซัลเฟตในโมเลกุลของคาร์ราจีแนนจะทำปฏิกิริยากับหมู่ที่มีประจุในโมเลกุลของโปรตีนได้ ดังนั้นการนำคาร์ราจีแนนไปใช้ประโยชน์กับผลิตภัณฑ์นม เช่น เดิมคาร์ราจีแนนลงในส่วนผสมของไอศกรีมจะช่วยให้เป็นเนื้อเดียวกันได้ง่าย และไม่มีส่วนที่เป็นของเหลวแยกตัวออกกระหว่างการเก็บรักษา คาร์ราจีแนนที่มีอยู่หลายชนิดสามารถนำไปใช้ร่วมกับสารอื่นๆ ได้มากมายหลายชนิดในอุตสาหกรรมอาหาร ตัวอย่างเช่น แป้งน้ำตาล และ กัม เป็นต้น (นิธิยา รัตนานนท์, 2553) ภาพโครงสร้างทางเคมีของคาร์ราจีแนนแต่ละชนิดจะแสดงดังภาพที่ 2.4



ที่มา Clegg (1995)

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของคาร์ราจีแนนชนิดต่างๆ แคปปา (A) แลมดา (B) และไอโอตา (C)

สมบัติของคาร์ราจีแนน (ตารางที่ 2.15) จะขึ้นอยู่กับประจุลบของหมู่ซัลเฟตที่อยู่ในโมเลกุลเป็นสำคัญและยังแตกต่างกันในแต่ละชนิดของคาร์ราจีแนนด้วย ทำให้มีสมบัติเด่นในการเกิดปฏิกิริยากับโปรตีนและสามารถนำไปใช้ประโยชน์กับอาหารที่มีน้ำนมเป็นส่วนผสมได้ (นิธิยา รัตนปนนท์, 2553)

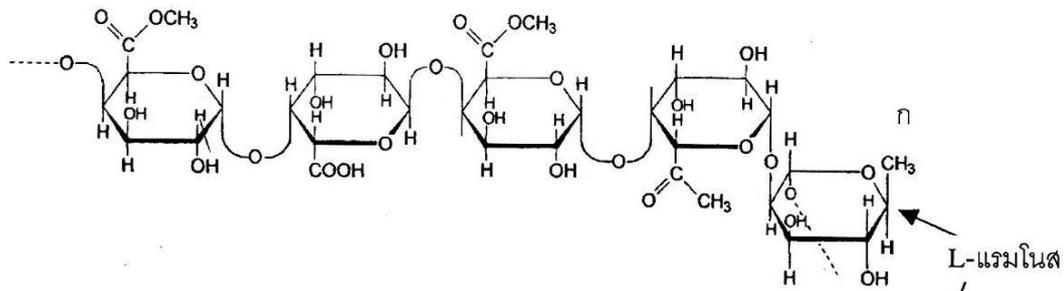
ตารางที่ 2.15 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของคาร์ราจีแนนแต่ละชนิด

สมบัติ	ชนิดของคาร์ราจีแนน		
	แคปปา (kappa, K)	แลมดา (lambda, λ)	ไอโอตา (iota, I)
ปริมาณซัลเฟต (ร้อยละ)	25	35	32
ปริมาณของหมู่ 3-6-แอสไโคร	ร้อยละ 28	0	30
ผลของไอออนของโลหะ	เกิดเจลกับ K <sup>+</sup>	ไม่เกิดเจล	เกิดเจลกับ Ca <sup>2+</sup>
สมบัติของเจล	เปราะและเกิดซินเนอเรซิสง่าย / ไส	-	ยืดหยุ่นและไม่เกิดซินเนอเรซิส / ไส
การละลายน้ำ	ไม่ละลายในน้ำเย็น ละลายในน้ำร้อน	ไม่ละลายในน้ำเย็น ละลายในน้ำร้อน	ไม่ละลายในน้ำเย็น ละลายในน้ำร้อน

ที่มา Graham (1978)

#### 2.9.4 เพกทิน (Pectin)

เพกทินทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบโครงสร้างที่พบในพืชทุกชนิด โดยเฉพาะที่ผนังเซลล์และระหว่างเซลล์ (Intercellular) มีมากในผลไม้หลายชนิด เช่น เปลือกส้มและเปลือกมะนาว (ร้อยละ 20-30 โดยน้ำหนัก) และแอปเปิ้ล (ร้อยละ 15) เป็นต้น ในพืช เพกทินทำหน้าที่เปรียบเหมือนตัวเชื่อมยึดเซลล์ต่างๆ ของเนื้อเยื่อไว้ทำให้ผลไม้คงรูปอยู่ได้ โมเลกุลเพกทินประกอบขึ้นจากกรด  $\alpha$ -D-กาแลกโทไฟเรโนซิลยูโรนิก ต่อเชื่อมกันเป็นสายโซ่ตรงและยาว โดยจับระหว่างกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4-ไกลโคซิดิก บางส่วนของหมู่คาร์บอกซิล บนสายโซ่จะมีหมู่เมทิลมาเอสเทอร์ฟายด์ด้วย (ภาพที่ 2.5) เพกทินยังมีพวกสายกิ่งที่ประกอบด้วยน้ำตาลชนิดที่เป็นกลาง โดยเฉพาะน้ำตาล L-รามโนส น้ำตาลอื่นที่พบได้แก่ D-กาแลกโทส และ L-อาราบีโนส เป็นต้น โมเลกุลเฉลี่ยของเพกทินประมาณ  $10^4$  ถึง  $10^5$  คาลตัน นอกจากนี้เพกทินยังมีความเสถียรสูงสุดที่ค่า pH ประมาณ 3.5



ที่มา วรรณมา ตูลยชัย (2551)

### ภาพที่ 2.5 โครงสร้างพอลิกลाइโคโรรแนนของเพกทิน

โมเลกุลของเพกทินประกอบไปด้วยทั้งหมู่คาร์บอกซิลที่อยู่ในรูปของ  $-\text{COOCH}_3$  และ  $-\text{COOH}$  อิสระ ดังนั้นเพกทินที่ผลิตในทางการค้าจึงสามารถแบ่งตามระดับของเมทิลเอสเทอร์ฟิเคชันได้ 2 ชนิด ดังนี้

1. เพกทินที่มีเมทอกซิลสูง (HM-เพกทิน) เป็นกลุ่มที่มีระดับของเมทิลเลชัน (DM) มากกว่าร้อยละ 50

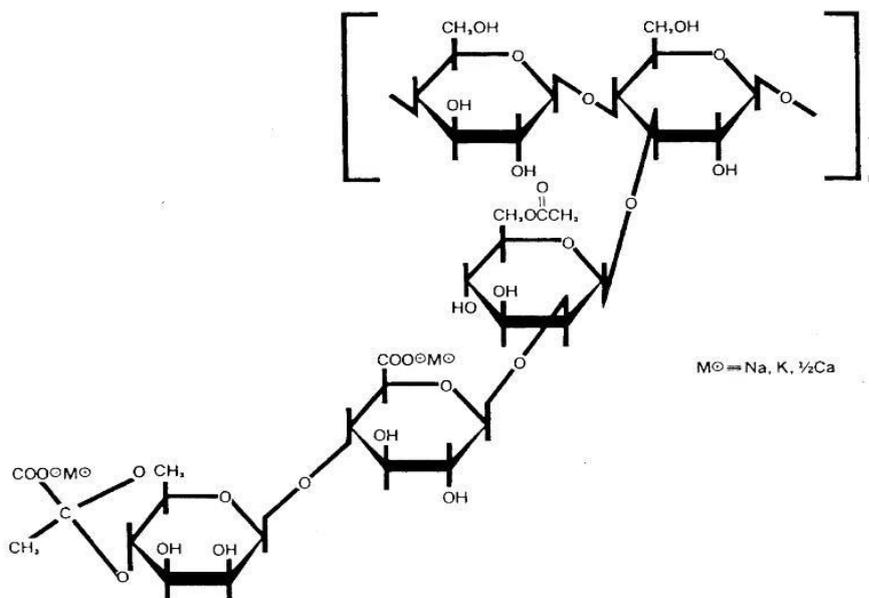
2. เพกทินที่มีเมทอกซิลต่ำ (LM-เพกทิน) เป็นกลุ่มที่มีค่า DM ต่ำกว่าร้อยละ 50 นั้นหมายถึงหมู่คาร์บอกซิลอื่นๆ จะอยู่ในรูปของ  $-\text{COOH}$  อิสระ

อย่างไรก็ตามเพกทินทั้งสองชนิดจะเกิดเจลได้ด้วยกลไกที่แตกต่างกัน โดย HM-เพกทิน จะเกิดเจลได้ต้องมีของแข็งละลายได้ เช่น น้ำตาลมากกว่าร้อยละ 55 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ค่า pH ประมาณ 2-3 (จะต้องไม่มากกว่า 3.5) ส่วน LM-เพกทิน จะเกิดเจลนั้นอาจไม่ต้องมีของแข็งละลายได้ แต่ต้องมีพวกไอออนชนิดสองบวก เช่น แคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) อยู่ประมาณร้อยละ 3 ในสารละลายนั้น รวมทั้งค่า pH ต้องไม่มากกว่า 6.5 (วรรณมา ตูลยชัย, 2551)

#### 2.9.5 แชนแทนกัม (Xanthan gum)

แชนแทนกัมเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ละลายน้ำได้ สังเคราะห์โดยแบคทีเรีย *Xanthomonas* โดยเฉพาะ *X. campestris* NRRL-B-1459 ด้วยกระบวนการหมักแบบใ้อากาศ (Submerged) มี D-กลูโคสเป็นแหล่งอาหารคาร์บอนหลักหรืออาจใช้น้ำตาลซูโครสหรือสตาร์ชก็ได้ แชนแทนกัมมีโครงสร้างเป็นน้ำตาล 5 ตัวต่อกันประกอบด้วย D-กลูโคส 2 หน่วย D-แมนโนส 2 หน่วย และกรด D-กลูโคนิก 1 หน่วย (ภาพที่ 2.6) ถ้าพิจารณาเฉพาะสายโซ่หลักจะเป็น  $\beta$ -D-กลูโคส ต่อกัน

ด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 4-ไกลโคซิดิก คล้ายกับโครงสร้างของเซลลูโลส แต่มีไทรแซ็กคาไรด์ (D-แมนโนส 2 หน่วย และ กรด D-กลูโคโนิก 1 หน่วย) เป็นสายกิ่งจับต่อกับ D-กลูโคส ของสายโซ่หลักด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 3-ไกลโคซิดิก โดยจับเว้นสลับไปที่ละหนึ่ง D-กลูโคส (จับที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ของโครงสร้าง)



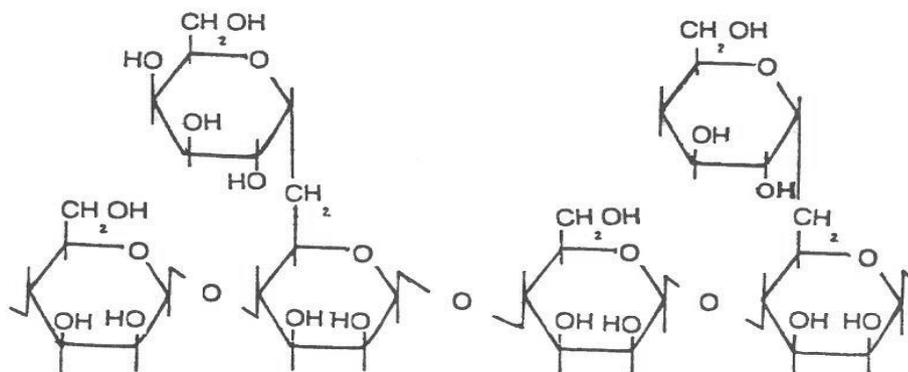
ที่มา วรรณภา ตูลยชัย (2551)

ภาพที่ 2.6 โครงสร้างปฐมภูมิของแซนแทนกัม

แซนแทนกัมละลายได้ในสภาวะทั้งน้ำเย็นและน้ำร้อน และให้ของเหลวที่มีความหนืดสูง แม้จะใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อย เช่น ร้อยละ 0.3-0.5 แซนแทนกัมมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง  $3 \times 10^5$  ถึง  $8 \times 10^6$  ดาลตัน นอกจากนี้แซนแทนกัมยังมีข้อดีคือ จะให้ความหนืดที่เสถียรของค่า pH ที่กว้าง (pH 2-13) และแซนแทนกัมยังแสดงสมบัติการเป็นพลาสติกเทียม (Pseudoplasticity) ที่ดีอีกด้วย จึงทำให้มีการนำแซนแทนกัมไปใช้ในอาหารหลายอย่าง เช่น การใช้ในไอศกรีม จะช่วยควบคุมการเกิดผลึกของน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ ทำให้น้ำเชื่อมผสมดีขึ้นและละลายช้าลง ใช้ในน้ำเชื่อมหรือไซรัป เช่น ไซรัปช็อคโกแลต ซึ่งแซนแทนกัม (ร้อยละ 0.05-0.1) จะช่วยให้ผงโกโก้กระจายตัวดีขึ้นในตัวอย่างไซรัป หรือตัวอย่างที่เป็นสารละลาย

### 2.9.6 กัวร์กัม (Guar gum)

กัวร์กัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้มาจากเมล็ดของพืชวงศ์ถั่ว (*Cyamopsis tetragonolobus* และ *C. psoraloides*) ในวงศ์ Leguminosae กัวร์กัมคือกาแลกโทแมนแนนชนิดหนึ่ง ประกอบขึ้นจากน้ำตาล D-กาแลกโทส และ D-แมนโนส ในอัตราส่วน 1:2 โดยสายโซ่หลักจะประกอบด้วย  $\beta$ -D-แมนโนไพแรโนส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1, 4 ไกลโคซิดิก และมีโมเลกุลเดี่ยวของ  $\alpha$ -D-กาแลกโทส เป็นสายกิ่งที่เชื่อมต่อกับสายโซ่หลักด้วยพันธะ  $\alpha$ -1, 6-ไกลโคซิดิก โดยเว้นระยะทีละหนึ่งหน่วยของ  $\beta$ -D-แมนโนไพแรโนส ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ที่มา นิธิยา รัตนปนนท์ (2553)

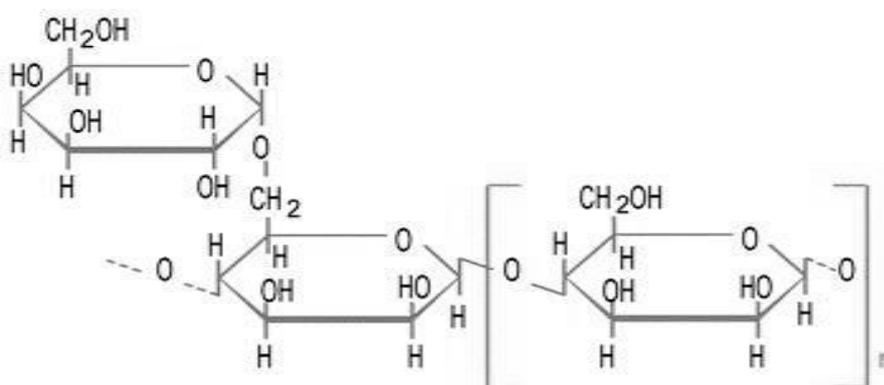
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของกัวร์กัม

กัวร์กัมมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 220,000 – 300,000 ดาลตัน แต่เนื่องจากมีสายกิ่งมากจึงสามารถทำให้สารละลายหนืดได้เมื่อละลายน้ำ ซึ่งกัวร์กัมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 ในน้ำ จะให้ความหนืดประมาณ 2,500 – 5,000 Pa.s ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และกัวร์กัมจะทนต่อ pH ได้ในช่วงกว้าง (ประมาณ pH 1 - 10) ดังนั้นกัวร์กัมจึงมีการนำไปใช้ประโยชน์ในอาหารได้มากมาย เนื่องจากกัวร์กัมสามารถไฮเดรตน้ำและให้ความหนืดที่สูง จึงสามารถใช้เป็นสารช่วยให้อุ่นและช่วยทำให้เกิดความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหารได้ เช่น ไอศกรีม เนยแข็งชนิดป้ายทา และน้ำตาลไอซิ่ง เป็นต้น

### 2.9.7 โลคัสต์บีงกัม (Locust bean gum)

โลคัสต์บีงกัม ได้จากเมล็ดของต้นคารอบ (Carob, *Ceratonia siliqua*) เป็นพืชในวงศ์ถั่ว เช่นเดียวกับถั่วลิสง (Leguminosae) โลคัสต์บีงกัมประกอบด้วยกาแลกโทแมนแนนเป็นส่วนใหญ่ (ประมาณร้อยละ 73) และองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ความชื้น โปรตีน และเส้นใย โครงสร้างของ โลคัสต์บีงกัมคล้ายถั่วลิสงคือ ประกอบด้วยน้ำตาล D-กาแลกโทส และ D-แทนโนส โดยทั่วไป อัตราส่วนของ D-กาแลกโทส และ D-แทนโนส จะเป็น 1:4 มีสายโซ่หลักประกอบด้วย  $\beta$ -D-แมนโนไพเรโนส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ 1, 4 ไกลโคซิดิก และมีสายกิ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว  $\alpha$ -D-กาแลกโทไพเรโนส ซึ่งจับต่อกับสายโซ่หลักด้วยพันธะ 1, 6 ไกลโคซิดิก แต่สายกิ่งจะมีเฉพาะบางช่วงของโซ่หลักโดยจะพบที่ทุกๆ หน่วยของน้ำตาลและสลับกับบางช่วงของโซ่หลักที่ไม่มีสายกิ่งเลย

โลคัสต์บีงกัมจะไม่ละลายน้ำ แต่การต้มจะช่วยให้ละลายดีขึ้น การต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จะช่วยให้โลคัสต์บีงกัมไฮเดรตน้ำได้สมบูรณ์และเมื่อเย็นตัวลงจะมีการกระจายตัวอยู่ในน้ำ จึงสามารถใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดได้ กลไกสำคัญของการต้มคือความร้อนจะไปทำลายพันธะที่จับยึดระหว่างบริเวณของสายโซ่หลักของ  $\beta$ -1, 4-D-แมนแนน บริเวณที่ไม่มีสายกิ่งทำให้น้ำสามารถเข้าไปได้และทำให้การไฮเดรตน้ำดีขึ้น โลคัสต์บีงกัมเป็นสารที่ให้ความหนืดได้ดีมาก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 หลังจากนำไปต้มที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วทิ้งให้เย็น พบว่าสารละลายมีความหนืดประมาณ 3,500 Pa.s (ที่ 25 องศาเซลเซียส) และที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 ความหนืดจะขึ้นสูงถึง 28,000 Pa.s



ที่มา นิธิยา รัตนปนนท์ (2553)

ภาพที่ 2.8 โครงสร้างโมเลกุลของโลคัสต์บีงกัม

อย่างไรก็ตาม โลคัสต์บีนกัมเป็นอีกหนึ่งชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ที่นิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ไอศกรีม ผลิตภัณฑ์แปรรูปเนื้อพวกไส้กรอก เนยแข็งชนิดป้ายทา น้ำสลัด และซอสมะเขือเทศ เป็นต้น นอกจากนี้ยังนิยมนำไปใช้ในอาหารสัตว์กระป๋องที่ต้องผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิของหม้อนึ่งความดันสูงอีกด้วย ซึ่ง โลคัสต์บีนกัมจะจับยึดน้ำไว้ ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีความหนืดตามที่ต้องการ (วรรณฯ ตูลยชัย, 2551)

แม้ว่าไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดที่กล่าวมาข้างต้นจะเป็นที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร การเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์หรือความต้องการของผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการเป็นหลัก เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์แต่ละตัวมีสมบัติที่แตกต่างกันจึงขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการเลือกใช้ และปริมาณการใช้ด้วยเช่นกัน ตารางที่ 2.16 สรุปชนิด หน้าที่ และการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ ของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิด

ตารางที่ 2.16 ชนิด หน้าที่ และการประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ

ไฮโดรคอลลอยด์	หน้าที่	การประยุกต์ใช้	อ้างอิง
กัวร์กัม	สารเพิ่มความคงตัว และสารเพิ่มความหนืด	ผลิตภัณฑ์นม ยกเว้น นมจืดชนิดเหลว นมเปรี้ยวไม่ปรุงแต่ง ครีมพาสเจอร์ไรซ์ครีมสเตอริไรส์ ครีมยูเอชที วิปปิงครีม และครีมไขมันต่ำ	Javidi, Razavi, Behrouzian, and Alghooneh (2016) Tuinier, ten Grotenhuis and de Kruif (2000)
	ใช้เป็นสารที่ทำให้มีลชั้นคงตัว และสารเพิ่มความคงตัว	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (ขนมปัง เค้ก และแป้งขนมปังแช่แข็ง)	Skara, Novotni, Cukelj, Smerdel, and Curic (2013)
	สารเพิ่มความคงตัว	เครื่องดื่มน้ำผักผลไม้ (น้ำแครอท)	Liang, Hu, Ni, Wu, Chen, and Liao (2006)
	สารเพิ่มความคงตัว	เครื่องดื่มโยเกิร์ต และเครื่องดื่มจากธัญพืช	Koksoy and Kilic (2004)
แซนแทนกัม	สารเพิ่มความคงตัว	เบเกอรี่ (แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวสาลี และขนมปัง)	Shittu, Aminu and Abulude (2009)
	ใช้เป็นสารที่ทำให้มีลชั้นคงตัว และสารเพิ่มความคงตัว	เครื่องดื่มอิมัลชัน	Mirhosseini, Tan, Hamid, and Yusof (2008)
	สารเพิ่มความคงตัว และความหนืด	ไอศกรีม	Javidi et al. (2016)

ตารางที่ 2.16 (ต่อ)

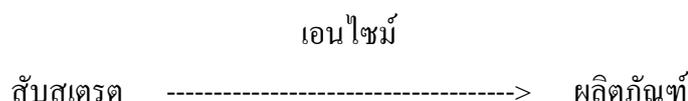
ชนิดไฮโดรคอลลอยด์	หน้าที่	การประยุกต์ใช้	อ้างอิง
โกล์สปีนกัม	สารเพิ่มความคงตัว	สารละลายซูโครสแช่แข็ง	Fernández, Martino, Zaritzky, Guignon, and Sanz (2007)
	สารเพิ่มความคงตัว และช่วยให้เนื้อสัมผัสเนียน	ไอศกรีม	Javidi et al. (2016)
	ช่วยลดปริมาณไขมันในอาหารประเภทอิมัลชัน	อาหารประเภทอิมัลชัน	Chung, Degner, and McClements (2013)
เพกทิน	ใช้เป็นสารที่ทำให้อิมัลชันคงตัว และสารเพิ่มความคงตัว	ผลิตภัณฑ์ขนมอบ (ขนมปัง เค้ก และแป้งขนมปังแช่แข็ง)	Skara et al. (2013)
	สารเพิ่มความคงตัว และป้องกันการตกตะกอน	ผลิตภัณฑ์นม และนมเปรี้ยว (ป้องกันการตกตะกอนโปรตีนเคซีน)	Kiani, Mousavi, Razavi, and Morris (2010) Krzeminski, Prell, Weiss, and Hinrichs (2014)
	สารเพิ่มความคงตัว	ผลิตภัณฑ์นมถั่วเหลือง	Krongsin Gamonpilas, Methacanon, Panya, and Goh (2015)

ตารางที่ 2.16 (ต่อ)

ชนิดไฮโดรคอลลอยด์	หน้าที่	การประยุกต์ใช้	อ้างอิง
คาร์ราจีแนน	สารเพิ่มความหนืด	ผลิตภัณฑ์ชีส	Cerníkova, Bunka, Pavlinek, Brezina, Hrabe, and Valasek (2008)
	ช่วยลดการชุ่มน้ำของผลิตภัณฑ์ และเพิ่มความคงตัว	ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ชนิดต่างๆ (แอปเปิ้ล พีช และฝรั่ง เป็นต้น)	Ibrahim, Hassan, Abd-Elrashid, El-Massry, Eh-Ghorab, Manal, and Osman (2011)
	สารเพิ่มความคงตัว	ผลิตภัณฑ์นม (Skimmed milk และ whey protein)	Jensen, Rolin, and Ipsen (2010) Matia-Merino and Singh (2007)

## 2.10 เอนไซม์

เอนไซม์ คือ โปรตีนที่ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต การทำงานของเอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงสูงต่อชนิดของสับสเตรต ที่เปลี่ยนให้เป็นผลิตภัณฑ์ดังสมการ



เอนไซม์เป็นโปรตีนที่ประกอบไปด้วยพอลิเมอร์ของกรดอะมิโนเรียงต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ ซึ่งมีขนาดโมเลกุลผันแปรตั้งแต่ 12,000 – 1,000,000 ดาลตัน เอนไซม์บางชนิดอาจมีสารอื่นเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลด้วย เช่น มีคาร์โบไฮเดรต ฟอสเฟต แร่ธาตุ หรือมีโคแฟกเตอร์ต่างๆ เอนไซม์ทุกชนิดมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีเช่นเดียวกับโปรตีนทุกประการ อย่างไรก็ตามความแตกต่างของโปรตีนเอนไซม์และโปรตีนที่ไม่ใช่เอนไซม์ คือ เอนไซม์จะมีความจำเพาะเจาะจงในการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีทุกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้เอนไซม์ยังมีบทบาทในการควบคุมทิศทางการของปฏิกิริยา และทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเฉพาะทางโครงสร้าง (Stereospecific) ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้เป็นอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ หรือเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นต่อร่างกายซึ่งเป็นผลดีต่อสุขภาพ นอกจากนี้เอนไซม์ยังมีความสำคัญมากต่อคุณภาพของอาหาร หรือแม้แต่การเสื่อมสลายและการเน่าเสียของอาหารก็ขึ้นอยู่กับการทำงานของเอนไซม์ด้วยเช่นกัน และในกระบวนการแปรรูปอาหารบางชนิดจะต้องเติมเอนไซม์ลงไป เพื่อปรับปรุงหรือเร่งกระบวนการผลิต ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะและคุณภาพที่ดี

เอนไซม์สามารถจำแนกตามลักษณะของปฏิกิริยาทางเคมี ที่มีเอนไซม์เป็นคะตะลิสต์ได้เป็น 6 กลุ่ม ดังนี้ (1) ออกซิโดรีดักเตส (2) ทรานส์เฟอเรส (3) ไฮโดรเลส (4) ไลเอส (5) ไอโซเมอเรส และ (6) ไลเอส อย่างไรก็ตามแม้ว่าเอนไซม์จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีของสิ่งมีชีวิตแล้ว การทำงานของเอนไซม์จะมีสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากยิ่งขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ ได้แก่ ความเข้มข้นของสับสเตรต ความเข้มข้นของเอนไซม์ ผลของพีเอช (pH) ผลของอุณหภูมิ และปริมาณน้ำอิสระ / ความเข้มข้นของน้ำ

## 2.11 การใช้ประโยชน์ของเอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหารและในกระบวนการแปรรูปอาหาร

การใช้เอนไซม์สำหรับอุตสาหกรรมอาหารกำลังได้รับความสนใจมากขึ้น และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ การนำเอนไซม์มาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารสำหรับอุตสาหกรรมอาหารในประเทศไทย ได้แก่ อุตสาหกรรมการแปรรูปแป้งและผลิต อุตสาหกรรมเบเกอรี่และขนมปังกรอบ อุตสาหกรรมสารปรุงแต่งรสชาติอาหาร อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องดื่มและนม และอุตสาหกรรมเครื่องดื่มและน้ำผลไม้ รวมถึงอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อสัตว์แปรรูป (วิราสิณี จันทรเป็ง และนพพล เล็กสวัสดิ์, 2556) นอกจากนี้ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เอนไซม์กับกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่มดัง แสดงในตารางที่ 2.17 เนื่องจากเอนไซม์ช่วยลดระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิตและการแปรรูปอาหารได้ เช่น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์เร็วขึ้น หรือนำไปใช้กำจัดสารประกอบที่ปนเปื้อน หรือนำไปช่วยย่อยสลายสารประกอบบางชนิดที่มีอยู่ในอาหาร อย่างไรก็ตามการใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหารยังมีข้อดีอีกมากมาย เช่น เอนไซม์เป็นโปรตีน จึงไม่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค ทำงานได้ดีในอุณหภูมิต่ำ จึงลดการใช้พลังงานได้ ทำงานได้ในช่วงพีเอชที่เป็นกลาง ทำงานได้รวดเร็วและมีความจำเพาะเจาะจงต่อสับสเตรต เอนไซม์ที่ใช้ในแต่ละครั้งจะมีปริมาณที่น้อยจึงไม่ส่งผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์อาหาร และสามารถยับยั้งหรือหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ได้ง่ายโดยใช้ความร้อนทำลาย เอนไซม์ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารนั้น ส่วนใหญ่มักจะสกัดมาจากพืช เช่น สกัดออกมาจากเมล็ดพืช หรือสัตว์ โดยสกัดออกมาจากเซลล์เยื่อผนังกระเพาะ ถ้าได้ และตับอ่อน หรือได้จากการเลี้ยงจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ เช่น ยีสต์ รา และแบคทีเรีย เป็นต้น ตัวอย่างการใช้เอนไซม์บางชนิดในกระบวนการแปรรูปอาหารมีดังนี้

ตารางที่ 2.17 การใช้เอนไซม์ในกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่มชนิดต่างๆ

กลุ่ม / ชนิดของเอนไซม์	หน้าที่ / วัตถุประสงค์	แหล่งอ้างอิง
1. เอนไซม์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์นม		
โคโมซิน	ตกตะกอนโปรตีนในน้ำนม	วิราสิณี จันทรเป็ง และนพพล เล็กสวัสดิ์ (2556)
โคโมซิน และโปรตีนเอสจากเชื้อรา	ใช้ในการทำเนยแข็งชนิดครีมเนย (Cottage cheese) และ Brick cheese	วิราสิณี จันทรเป็ง และนพพล เล็กสวัสดิ์ (2556)
2. เอนไซม์ที่ใช้ในการทำนมอบ		
อะไมเลส	เร่งการหมักให้เกิดได้สูงสุด และป้องกันไม่ให้ขนมปังแห้งแข็ง ปรับปรุงด้านความยืดหยุ่นของโด	Li, Yang, Yang, Zhu, and Wang (2012)
3. เครื่องดื่มมีแอลกอฮอล์ และการทำเบียร์		
แอลฟา- และ บีตา- อะไมเลส	เพื่อเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลสำหรับหมัก เพื่อแยกแป้งออกจากสารละลาย จะช่วยลด ความขุ่น และความหนืด	วิราสิณี จันทรเป็ง และนพพล เล็กสวัสดิ์ (2556)
เซลลูเลส	เพื่อย่อยสลายเซลลูโลสเป็นน้ำตาลโมเลกุลเล็กในกลุ่มของ ธัญพืช เช่น บาร์เลย์ โอ๊ต ข้าวสาลี เป็นต้น	Liu, Zheng, Song, Liu, Kopparapu, Wang, and Zheng (2015)

ตารางที่ 2.17 (ต่อ)

กลุ่ม / ชนิดของเอนไซม์	หน้าที่ / วัตถุประสงค์	แหล่งอ้างอิง
โปรตีเอส	ไฮโดรไลซ์โปรตีนไปเป็นกรดอะมิโนเพื่อเป็นอาหารยีสต์ และใช้ไฮโดรไลซ์โปรตีนเพื่อให้เบียร์ใส	Araujo, Casal, and Cavaco (2008)
4. เครื่องคั้นน้ำผลไม้		
อะไมเลส	เพื่อแยกและทำลายแป้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดน้ำผลไม้จากเนื้อผลไม้	Li et al. (2012)
เซลลูเลส และ เฮมิเซลลูเลส	ทำหน้าที่เกี่ยวกับการไฮโดรไลซ์เพกทินที่ละลายน้ำได้ องค์ประกอบต่างๆบนผนังเซลล์ และช่วยให้มีความหนืดลดลง รวมถึงช่วยในเรื่องเนื้อสัมผัสที่ดี	Li et al. (2012) Araujo et al. (2008)
เพกทิเนส	ช่วยสกัดน้ำผลไม้จากเนื้อเยื่อให้ผลิตผลสูง	Ribeiro, Henrique, Oliveira, Macedo, and Fleuri (2010)
นารินจินต	เพื่อลดสารขมในผลไม้ตระกูลส้ม	Ribeiro et al. (2010)

## บทที่ 3

### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

#### 3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมี วัสดุและอุปกรณ์

##### 3.1.1 วัตถุประสงค์

รำข้าวอินทรีย์ (หอมมะลิ 105) ชนิดรำละเอียดแบบไขมันเต็ม (Full-fat) จากบริษัท อรุณัต  
จำกัด เลขที่ 279/1 ม. 8 ต.เมืองชุม อ.เวียงชัย จ.เชียงราย 57210 โทร: 053-174184, 053-174185

ตัวอย่างอ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบ

3.1.1.1 นํ้านมถั่วเหลืองทางการค้าผสมจมูกข้าวญี่ปุ่น (สูตรน้ำตาลน้อย)

3.1.1.2 นํ้านมถั่วเหลืองปรุงสำเร็จชนิดผงทางการค้า

### 3.1.2 สารเคมี

#### ตารางที่ 3.1 สารเคมีสำหรับการทดลอง

---

##### ขั้นตอน

---

##### การศึกษาความคงตัว

1. เอนไซม์อะไมเลส E.C. 3.2.1.1 (*Bacillus licheniformis*-Type XII) และเอนไซม์เซลลูเลส E.C. 3.2.1.4 (*Aspergillus niger*) จากบริษัท เอส.เอ็ม. เคมีคอล ซัพพลาย จำกัด กรุงเทพฯ 10310
2. สารกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ ได้แก่ กัวร์กัม (E-number 412) โลกัสปีนกัม (E-number 410) แชนแทนกัม (E-number 415) เพกทิน (E-number 440) และคาร์ราจีแนน (E-number 407) จากบริษัท ยูเนี่ยน ซาชน์ จำกัด จ.เชียงใหม่ 50200

##### การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

1. โปแทสเซียม ซัลเฟต (CAS number 417 บริษัท UNIVAR)
2. คอปเปอร์ ซัลเฟต เพนตะไฮเดรต (CAS number A2221 บริษัท Ajax finechem)
3. กรดซัลฟูริก (CAS number 7664-93-9 บริษัท RCI Labscan)
4. สารละลายบอริกแอซิด (CAS number 10043-35-3 บริษัท RCI Labscan)
5. ปีโตรเลียมอีเทอร์ (CAS number 8032-32-4 บริษัท RCI Labscan)
6. อะซีโตน (CAS number 50-21-5 บริษัท RCI Labscan)

##### การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพ

1. สารละลายกรดแกลลิก (CAS number 931-67-0 บริษัท SIGMA-ALDRICH)
  2. สาร Folin-Ciocalteu phenol reagent (CAS number 8008-63-7 บริษัท BDH Prolabo)
  3. สาร 2-2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (CAS number 1898-66-4 บริษัท Sigma Aldrich)
  4. สารละลาย 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchlorman-2-carboxylic acid (โทรลีน) (CAS number 53188-07-1 บริษัท Sigma Aldrich)
  5. โซเดียมคาร์บอเนต (CAS number 10025-77-1 บริษัท Merck)
  6. เมทานอล (CAS number 81214 บริษัท RCI Labscan)
-

## ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

---

---

**ขั้นตอน**

---

**การศึกษาสมบัติทางด้านจุลินทรีย์**

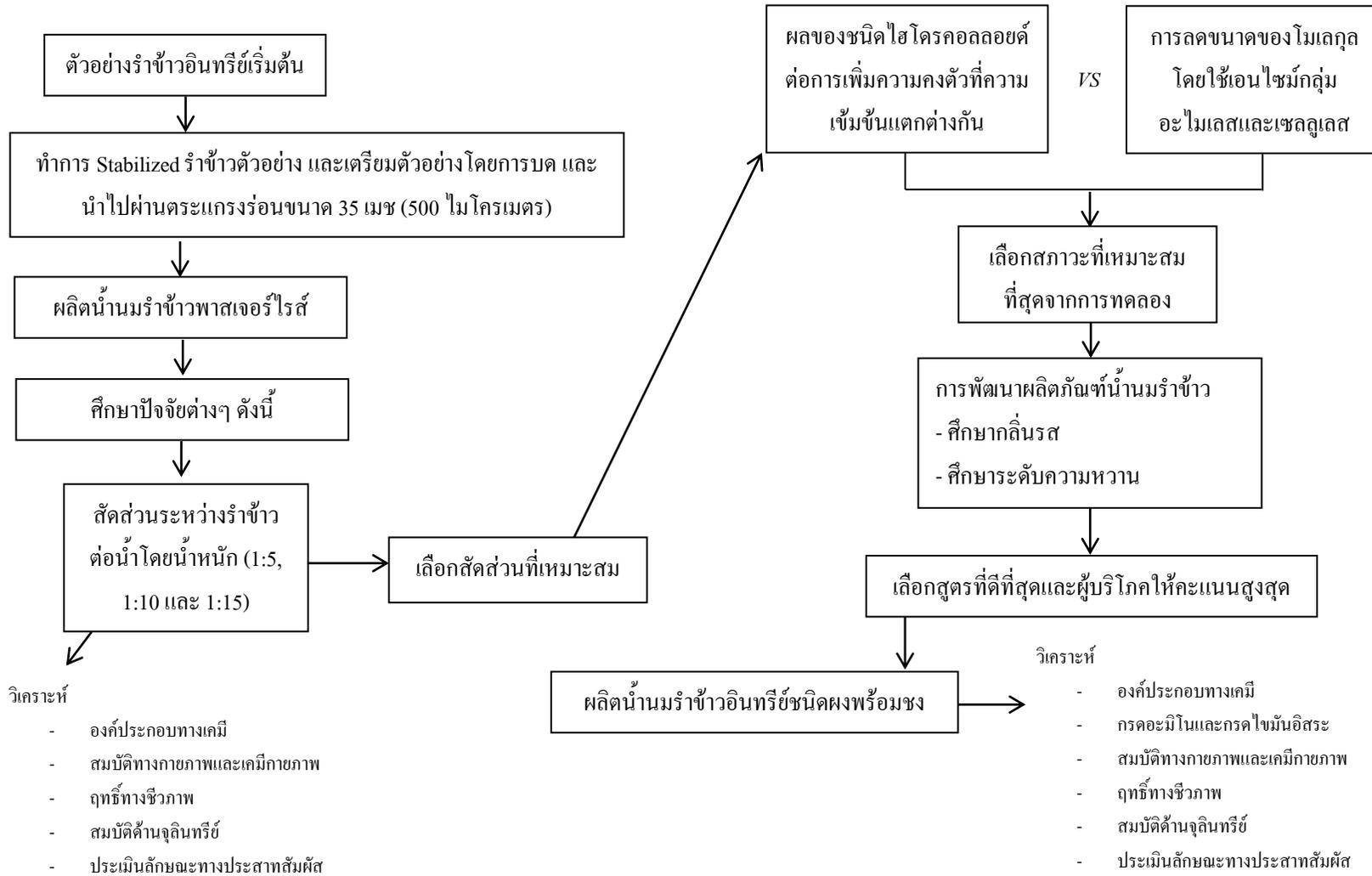
1. อาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเปปโตน จากบริษัท ยูเนียน ซายน์ จำกัด จ.เชียงใหม่ 50200
  2. พงู้น (Agar) จากบริษัท ยูเนียน ซายน์ จำกัด จ.เชียงใหม่ 50200
  3. Petrifilm สำหรับตรวจปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Aerobic count plate) จากบริษัท 3M ประเทศไทย จำกัด
  4. Petrifilm สำหรับตรวจปริมาณ *E.coli* / Coliform จากบริษัท 3M ประเทศไทย จำกัด
  5. Petrifilm สำหรับตรวจปริมาณ Yeast และ Mold จากบริษัท 3M ประเทศไทย จำกัด
  6. Petrifilm สำหรับตรวจปริมาณ *Staphylococcus aureus* จากบริษัท 3M ประเทศไทย จำกัด
  7. อาหารเลี้ยงเชื้อ Nutrient Broth Agar สำหรับตรวจปริมาณ *Bacillus cereus* จากบริษัท ยูเนียน ซายน์ จำกัด จ.เชียงใหม่ 50200
-

### 3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์

ตารางที่ 3.2 วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

รายการ	รุ่น/ยี่ห้อ	บริษัท/ประเทศผู้ผลิต
เครื่องทำสารละลายคอลลอยด์	ASAKO, YJTM85D-2P	China
อ่างควบคุมอุณหภูมิ	WNE 22	Memmert, Schwabach, Germany
เครื่องกวนแบบแม่เหล็กพร้อมเตาให้ความร้อน	Unimag/Apex	Scott Instrument, GMBH Germany
เครื่องกวนแบบแม่เหล็กพร้อมเตาให้ความร้อน	MR301/Heidolph	Scott Instrument, GMBH Germany
เครื่องวัดการดูดกลืนแสง	S22	Biochrom, Cambridge, USA
ตู้ควบคุมอุณหภูมิ	Excellence	Memmert, Schwabach, Germany
ตู้แช่เย็น	Tiara /Misubhishi	Misubhishi, Thailand
ตู้แช่เยือกแข็ง	P2003	Sanyo, Bangkok
เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิได้	JJ-4001	Thermo electron corp, China
เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง	J-301	Beckman Coulter, USA
เครื่องวัดสี	Hunter Lab	Virginia , USA
เครื่องวัดความหนืด	Brookfield engineering labs Inc.	Middleboro, Ma 02346, USA
เครื่องชั่งความละเอียด 2 ตำแหน่ง	Adventurer ARC 120	Ohaus Corp. ,USA
เครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง	ED224S Sartorius	Sartorius AG , Germany
เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง	pH 510	Eutech Instrument, Singapore
เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer)	JCM/SDE-10 MInilab	บจก.นาถพัฒน์

### 3.2 วิธีการทดลอง



### 3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างรำข้าวอินทรีย์ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดให้ละเอียด และแยกขนาดโดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 35 เมช (500 ไมโครเมตร) บรรจุลงถุงโพลีเอทิลีนแบบสุญญากาศ และนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เพื่อใช้เป็นตัวตัวอย่างรำข้าวเริ่มต้นในการผลิตน้ำมันรำข้าวและการทดลองขั้นต่อไป (ตัวอย่างรำข้าวเริ่มต้นจะนำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ก่อนนำไปผลิตน้ำมันรำข้าว)

### 3.2.2 การผลิตน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

นำรำข้าวที่ผ่านการทำให้คงตัวแล้วมาแปรรูปเป็นเครื่องคั้นน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ โดยมีปัจจัยในการศึกษาดังนี้

3.2.2.1 ศึกษาสัดส่วนของรำข้าวผงต่อน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ ดังนี้ 1:5, 1:10 และ 1:15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเพื่อศึกษาในปัจจัยต่อไป โดยพิจารณาจากสมบัติด้านต่างๆ (กายภาพ เคมี ความคงตัว และลักษณะทางประสาทสัมผัส) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทางการค้า (น้ำมันถั่วเหลือง)

3.2.2.2 ศึกษาความคงตัวของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธีการต่างๆ ดังนี้คือ ความคงตัวของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์จะพิจารณาและสังเกตจากการไม่แยกชั้นของน้ำมันรำข้าวระหว่างรำข้าวกับน้ำที่ใช้ในการผลิต

1. การศึกษาผลของชนิดไฮโดรคอลลอยด์ต่อการเพิ่มความคงตัวของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ โดยเลือกใช้ไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดกัน ได้แก่ กัวร์กัม โคลัสปีนกัน แชนแทนกัน เพกทิน และคาร์ราจีแนน ในความเข้มข้นแตกต่างกันที่ร้อยละ 0, 0.05, 0.1, 0.3 และ 0.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ จากนั้นเลือกความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากสมบัติด้านความคงตัวของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ (ไม่เกิดการแยกชั้นของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์)

2. การลดขนาดของโมเลกุลของแป้งและเซลลูโลสโดยใช้เอนไซม์กลุ่มอะไมเลสผสมกับเซลลูเลสอัตราส่วน 1:1 (ยูนิตต่อยูนิต) (You & Izydorczyk, 2007) โดยคัดแปลงบางส่วน การศึกษาความเข้มข้นของเอนไซม์ต่อน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ระดับ 0, 50, 100, 300 และ 500 ยูนิตต่อลิตร เลือกความเข้มข้นของเอนไซม์ผสมที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากสมบัติด้านความคงตัวของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ โดยสภาวะที่เหมาะสมในการไฮโดรไลซ์ของเอนไซม์อะไมเลสและเซลลูเลสจะอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Lim, Macdonald, & Hill,

2003; Pierre, Maache-Rezzoug, Sannier, Rezzoug, & Maugard, 2011) หยุดปฏิบัติการของเอนไซม์ผสมทั้งสองชนิดที่ได้นำไปต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที

เปรียบเทียบสมบัติด้านความคงตัวของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ได้จากผลการใช้เอนไซม์ผสมระหว่างอะไมเลสและเซลลูเลส (1:1, ยูนิตต่อยูนิต) และการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดกัน เลือกวิธีการใดวิธีการหนึ่งที่ทำให้ค่าความคงตัวของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ (เป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่เกิดการแยกชั้น) ของน้ำนมรำข้าวใกล้เคียงกับตัวอย่างทางการค้าที่นำมาเปรียบเทียบมากที่สุด เพื่อนำไปใช้เป็นสูตรตั้งต้นสำหรับการผลิตและพัฒนา น้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์และการทดลองขั้นต่อไป

### 3.2.2.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์กลิ่นรสต่างๆ

1. ศึกษากลิ่นรสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ ได้นำสูตรน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ได้จากการศึกษาก่อนหน้ามาปรุงแต่งรสชาติด้วย รสดั้งเดิม (ตัวอย่างควบคุม) รสวนิลา และรสช็อคโกแลต โดยใช้ผงช็อคโกแลตร้อยละ 5 ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) และกลิ่นรสวนิลาร้อยละ 5 (ปริมาตรต่อปริมาตร) จากนั้นเลือกชนิดของรสชาติของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์โดยพิจารณาจากค่าความชอบโดยรวมจากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส (9 ระดับความเข้มของคะแนน) ของผู้ทดสอบชิมที่ให้คะแนนสูงสุด เพื่อนำไปศึกษาในหัวข้อต่อไป

2. ศึกษาระดับความหวานของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ โดยใช้สูตรน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ได้จากขั้นตอนนี้มาปรับระดับความหวานโดยใช้น้ำตาลซูโครสที่ระดับความเข้มข้นแตกต่างกันคือร้อยละ 0, 1, 3 และ 5 น้ำหนักต่อปริมาตร จากนั้นเลือกระดับความเข้มข้นของน้ำตาลที่ใช้ปรับความหวาน โดยพิจารณาจากค่าความชอบโดยรวมจากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส (9 ระดับความเข้มของคะแนน) ของผู้ทดสอบชิมที่ให้คะแนนสูงสุด เพื่อนำไปศึกษาในหัวข้อต่อไป

สำหรับกระบวนการผลิตน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ทำได้โดยนำรำข้าวค่อน้ำในแต่ละปัจจัยศึกษาผ่านเครื่องทำคอลลอยด์ (Colloids mill machine, ASAKO, YJTM85D-2P, China) เพื่อให้รำข้าวมีขนาดเล็กลงและสามารถแขวนลอยอยู่ในรูปสารละลายได้ (ดัดแปลงวิธีการทำจาก Faccin et al. (2009) ด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที จนรำข้าวและน้ำผสมรวมกันเป็นอย่างดี จากนั้นนำไปกรองผ่านผ้าขาวบาง (3 ชั้น) จำนวน 1 ครั้งและนำไปต้มให้ความร้อนที่อุณหภูมิพาสเจอร์ไรส์ (72 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 15 วินาที ก่อนนำไปบรรจุลงขวดพลาสติกโพลีโพรพิลีนที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วขนาด 150 ซีซี ปิดฝาขวดแล้วผนึกฝาด้วยพาราฟิล์มที่ใช้สำหรับห้องปฏิบัติการเพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากภายนอก จากนั้นทำให้เย็นโดยนำไปเก็บรักษา

ไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปตรวจสอบคุณภาพและวิเคราะห์สมบัติด้านต่างๆ ของ น้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ต่อไป

### 3.2.3 การวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

#### 3.2.3.1 ร้อยละผลผลิต (Wang, Hettiarachchy, Qi, Burks, & Siebenmorgen, 1999)

นำน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์หลังจากผ่านกระบวนการผลิตแล้ว มาคำนวณหาร้อยละ ผลผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้โดยคำนวณตามสมการดังนี้

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{นมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ (กรัม)}}{\text{รำข้าวเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100 \quad \text{----- สมการที่ 1}$$

#### 3.2.3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบและสมบัติทางเคมี

1. ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีหาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และปริมาณเส้นใย ด้วยวิธีการของ AOAC (2000) โดยหาความชื้นด้วยการอบตัวอย่างที่ อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณโปรตีนด้วยวิธี Kjeldahl method โดยใช้ค่า Conversion factor เป็น 5.95 สำหรับเปลี่ยนค่าปริมาณไนโตรเจน เป็นปริมาณโปรตีน วิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยวิธีซอกซ์เลท (Extractable lipid: Soxhlet method) วิเคราะห์เส้นใย (Crude fiber) ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรดและด่าง วิเคราะห์ปริมาณเถ้าโดยการเผา ตัวอย่างด้วยเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และคำนวณปริมาณ คาร์โบไฮเดรตด้วยวิธีการหาความแตกต่างจากองค์ประกอบอื่นๆ ในตัวอย่างน้ำนมรำข้าว พาสเจอร์ไรส์

#### 2. ตรวจวัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (ISO 14502-1 (2005))

ตรวจวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างน้ำนมรำข้าวที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ กรดแกลลิก (Gallic acid) เป็นสารมาตรฐาน ปิเปตตัวอย่างน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ประมาณ 0.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายฟีนอลิน 2.5 มิลลิลิตร (ร้อยละ 10 ปริมาตรต่อ ปริมาตร) ลงไปผสมให้เข้ากัน จากนั้นปิเปตสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ร้อยละ 7.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ลงไปในแต่ละหลอดทดลองแล้วผสมให้เข้ากัน นำสารละลายที่ได้จากการ ผสมทุกอย่างแล้ว ไปตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 765 นาโนเมตร โดยใช้น้ำกลั่นเป็น Blank ทำการวัดค่า 3 ครั้ง รายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณ ฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างน้ำนมรำข้าวในรูปของค่าความเข้มข้นของสารฟีนอลิกในตัวอย่างเทียบ กับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน

3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter ตามวิธีของ Sadler (2010) เติมน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ประมาณ 20-30 มิลลิลิตร ลงในภาชนะ (บีกเกอร์) สำหรับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์ และรายงานผลการทดลองเป็นค่า pH ที่ได้ โดย จะทำการวัดค่า 3 ครั้ง

4. วัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total soluble solid: TSS) นำตัวอย่างน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ไปวัดค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ โดย เครื่อง Hand refractometer (0-32°Brix) และรายงานผลในหน่วยขององศาบริกซ์ (°Brix) ทำการ ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

5. ตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ปริมาณกรดทั้งหมดจะทำการหาค่าตามวิธีของ Sadler (2010) ซึ่งตัวอย่าง 2 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ลงไป จากนั้น หยด 2-3 หยดของสารละลายฟีนอล์ฟทาลีน และนำไปไตเตรทด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนถึงจุดยุติ (เปลี่ยนเป็นสีชมพู) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง (คำนวณโดยใช้กรดแกลกติกในการเทียบหา ปริมาณกรดทั้งหมดในผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์)

6. ตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์จะตรวจวิเคราะห์ตามวิธีการ ของ Jame (1995) โดยสรุปคร่าวๆ ดังนี้ ซึ่งตัวอย่างประมาณ 50 กรัมใส่ลงในขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำตาล Carrez I และ Carrez II ลงไปอย่าง ละ 5 มิลลิลิตร เจือจางโดยปรับปริมาตรให้ถึง 250 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำไปกรองผ่าน กระดาษกรองและนำส่วนที่กรองได้ (50 มิลลิลิตร) ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำไฮดรอกริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร ลงไป เขย่าให้เข้ากันและนำไปต้มในอ่างน้ำร้อนควบคุม อุณหภูมิ (Water bath) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ตั้งให้เย็นและปรับให้เป็นกลางโดยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) จากนั้นไตเตรตเพื่อตรวจวิเคราะห์หา ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ด้วยวิธีการของ Lane และ Eynon

### 3.2.3.3 สมบัติด้านกายภาพ

1. วัดค่าสีโดยเครื่องวัดสี Color Quest XE (Hunter Lab, Virginia) รายงานผลเป็น ค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $\Delta E$  และค่าความขาว (Whiteness) ของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ตัวอย่างน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ลงในภาชนะสำหรับวัดค่าสีในปริมาณที่เหมาะสม โดยใช้เครื่อง Color Quest XE (Hunter Lab, Virginia) ในการวัดสีของผลิตภัณฑ์เพื่อหาค่า  $L^*$  (ความสว่าง)  $a^*$  (สีแดง)  $b^*$  (สีเหลือง)  $\Delta E$  (ความแตกต่างของสีจากตัวอย่างที่ใช้เทียบ คือน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้า) และค่าความขาวของผลิตภัณฑ์ (Whiteness) การทดลองจะทำการวัดค่าซ้ำ 3 ครั้งเพื่อความถูกต้องและแม่นยำของผลการทดลอง

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{----- สมการที่ 2}$$

$$\text{โดย } \Delta L^* = L^*_{\text{ตัวอย่าง}} - L^*_{\text{มาตรฐาน}}$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{ตัวอย่าง}} - a^*_{\text{มาตรฐาน}}$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{ตัวอย่าง}} - b^*_{\text{มาตรฐาน}}$$

$$\text{ความขาว} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2} \quad \text{----- สมการที่ 3}$$

2. วัดค่าความหนืดของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์โดยเครื่อง Brookfield viscometer (Brookfield engineering labs Inc. Middleboro, Ma 02346, U.S.A, Model LDVD-III+ Serial 67844)

ตัวอย่างน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์จะนำไปวัดค่าความหนืดโดยมีการตัดแปลงบางส่วนจากวิธีการของ Faccin et al. (2009) โดยเครื่อง Brookfield viscometer Model LDVD-III+ Serial 67844 และหัว Probe ที่ใช้สำหรับการวัดคือ UL Adapter spindle (UL-0) No.00 วัดค่าความหนืดของนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ได้ที่อุณหภูมิ  $24 \pm 1$  องศาเซลเซียส แล้วรายงานผลค่าความหนืดเป็นหน่วยของเซนติพอยด์ (cP) ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

3. วัดความคงตัว (ร้อยละ) ของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ด้วยเทคนิคการจัดเรียงตัวแล้วตกตะกอน (Coagulation technique) (Yu & Raghavan, 2009)

เทน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ประมาณ 10 มิลลิลิตร ใส่ในกระบอกตวงปริมาตร (Cylinder) จากนั้นนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน บันทึกผลการทดลองโดยบันทึกปริมาณของตะกอนรำข้าวที่ตกลงมาหรือแยกชั้นของไขมันแต่ละวัน จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาความคงตัวตามสมการดังนี้

$$\text{ความคงตัว (ร้อยละ)} = ((10_0 - \text{ปริมาณตะกอน}) / 10) \times 100 \quad \text{----- สมการที่ 4}$$

โดย  $10_0$  คือ ปริมาตรของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ชุดควบคุม

4. วัตถุประสงค์ของอนุภาคและการกระจายตัว (Particle size distribution: PSD)  
 วัตถุประสงค์ของอนุภาคที่แขวนลอยและกระจายตัวอยู่ในน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ โดยการวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคด้วยวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างแบบเปียก (Hydro 2000MU) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ Particle size and distribution analyzer (ยี่ห้อ Malvern รุ่น Mastersize 2000) ตามวิธีการของ Wang-Li, Cao, Buser, Whitelock, Parnell, and Zhang (2013) โดยตัดแปลงบางส่วน เตรียมตัวอย่างให้อยู่ในรูปสารแขวนลอยปริมาณ 700 มิลลิลิตร ในการวิเคราะห์ต่อครั้ง โดยใช้ความสัมพันธ์ของการเลี้ยวเบนของแสงเลเซอร์ที่ส่องผ่านตัวอย่าง โดยมีแสงเลเซอร์สีแดง และสีน้ำเงินเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มตัวอย่าง (แสงสีแดงมีความยาวคลื่น 632.82 นาโนเมตร ใช้วัดอนุภาคขนาดใหญ่ และแสงสีน้ำเงินมีความยาวคลื่น 473.00 นาโนเมตร ใช้วัดอนุภาคขนาดเล็ก) จากนั้นจะมีตัวตรวจจับรับแสงจากการเลี้ยวเบน และวิเคราะห์ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคและบันทึกค่าเฉลี่ยการกระจายตัวของขนาดอนุภาคด้วยการประมวลผลของเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาคผ่านคอมพิวเตอร์ การคำนวณหาขนาดของอนุภาคจะมีความสัมพันธ์ของการเลี้ยวเบนของแสงดังนี้

$$\sin \theta = \frac{1.22 \lambda}{t} \quad \text{----- สมการที่ 5}$$

โดย  $\theta$  คือ มุมของการเลี้ยวเบน  
 $t$  คือ ขนาดอนุภาค  
 $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นแสงที่กระทบอนุภาค

#### 3.2.3.4 ทดสอบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH (Molyneux, 2004)

การวัดการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวโดยใช้สารละลาย Trolox (Trolox stock solution) เป็นสารมาตรฐาน ปิเปิดตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร ลงในหลอดการทดลอง จากนั้นปิเปิดสารละลาย DPPH 1,950 ไมโครลิตร ลงไปผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร โดยใช้สารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 80 เป็น Blank ทำการวัดค่า 3 ครั้ง รายงานผลการวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในรูปของค่าความเข้มข้นของสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเทียบกับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน

#### 3.2.3.5 สมบัติทางด้านจุลินทรีย์

นำน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ (สูตรที่ดีที่สุดจากการศึกษาแต่ละปัจจัยข้างต้นในน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เลือกมาทำเป็นชนิดผงพร้อมชง) และน้ำนมรำข้าวชนิดผงพร้อมชง ตรวจ

วิเคราะห์สมบัติทางด้านจุลินทรีย์โดยอ้างอิงวิธีการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์จาก 3M Petrifilm™ โดยเตรียมตัวอย่างน้ำหนักน้ำนมราข้าวทั้งสองชนิดดังนี้

เตรียมตัวอย่างที่ต้องการตรวจ (ประมาณ 10 กรัม) ผสมกับสารละลายเปปโตน 90 มิลลิลิตร เจือจางที่ 1:10, 1:100, 1:1000 และ 1:10000 ตามลำดับ จากนั้นเปิดตัวอย่างแต่ละความเข้มข้น 1 มิลลิลิตร ลงบนแผ่นทดสอบเชื้อ Petrifilm ของแต่ละชนิดที่ใช้ทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ จากนั้นกดตัวอย่างให้เต็มแผ่นวงกลมบน Petrifilm ตรวจเชื้อ แล้วนำไปบ่มที่อุณหภูมิต่างๆ ดังนี้

1. วิเคราะห์หาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total plate count) (AOAC, 2002) 986.33 บ่มที่อุณหภูมิ  $32 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา  $48 \pm 3$  ชั่วโมง ตรวจนับเชื้อจุลินทรีย์จากแผ่น petrifilm เพาะเชื้อ บันทึกผลและรายงานผลเป็นจำนวน โคโลนีต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง (CFU/ml)

2. วิเคราะห์หาปริมาณ *Escherichia coli* / Coliform (AOAC, 2002) 991.14 บ่มที่อุณหภูมิ  $35 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา  $24 \pm 2$  ชั่วโมง สำหรับการตรวจสอบ Coliform ในขณะที่การตรวจสอบ *Escherichia coli* จะบ่มที่อุณหภูมิ  $35 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา  $48 \pm 2$  ชั่วโมง บันทึกผลและรายงานผลเป็นจำนวน โคโลนีต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง (CFU/ml)

3. วิเคราะห์หาปริมาณ *Staphylococcus aureus* (AOAC, 2002) 2003.07 บ่มที่อุณหภูมิ  $35 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา  $24 \pm 2$  ชั่วโมง ตรวจสอบโคโลนีและบันทึกผลโดยเลือกนับโคโลนีที่มีสีดำขอบขาวและแวกใสรอบโคโลนีมีบริเวณใส (Clear zone) บันทึกผลและรายงานผลเป็นจำนวน โคโลนีต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง (CFU/ml)

4. วิเคราะห์หาปริมาณ Yeast และ Mold (AOAC, 2002) 997.02 บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน บันทึกผลโดยนับจำนวนโคโลนีที่เกิดขึ้น (3 วันสำหรับ Yeast และ 5 วันสำหรับ Mold) รายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง (CFU/ml)

5. วิเคราะห์หาปริมาณ *Bacillus cereus* (BAM, 2002) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ข้างต้นประมาณ 0.1 มิลลิลิตร เทลงจานเพาะเชื้อ Mannitol egg yolk polymyxin agar (MYP) เกลี่ยตัวอย่างด้วยวิธีการ Spread plate ให้ทั่วบนจานเลี้ยงเชื้อ จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ  $35 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา  $24 \pm 2$  ชั่วโมง สังเกตลักษณะรอบๆ โคโลนีจะขุ่น โดยโคโลนีจะมีสีชมพู บันทึกผลแล้วนำมาทดสอบยืนยันขั้นต่อไป จากนั้นเชื้อที่มีลักษณะ

ส่งสัยลงใน Nutrient agar slant นำไปป่มที่อุณหภูมิ  $35 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา  $24 \pm 2$  ชั่วโมง บันทึกผลและรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อมิลลิลิตรตัวอย่าง (CFU/ml)

### 3.2.3.6 ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส

การทดสอบทางประสาทสัมผัสจะดำเนินการตามวิธีของ Stone และ Sidel (1985) โดยมีการดัดแปลงบางส่วน สรุปสั้นๆ ดังนี้ เตรียมตัวอย่างน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ประมาณ 30 มิลลิลิตร เทลงในแก้วภาชนะสำหรับการทดสอบชิม ตัวอย่างที่ทำการทดสอบชิมจะมีรหัส 3 ตัว กำกับไว้กับตัวอย่าง โดยจะมีตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่มีในท้องตลาด (Commercial product) ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ศึกษามากที่สุด (น้ำนมถั่วเหลือง) นำมาทดสอบชิมเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ด้วย หลังจากที่ถูกทดสอบชิมทำการประเมินลักษณะของผลิตภัณฑ์แล้ว ผู้ทดสอบจะทำการประเมิน โดยให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (Nine-point hedonic scale) ต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สี กลิ่นรส รสชาติ ความหวาน ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์น้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ ในแบบประเมินที่จัดเตรียมไว้ให้

หลังจากศึกษาปัจจัยที่กำหนดไว้ในการผลิตน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ (สัดส่วนของร่ำข้าว ต่อหน้าที่ใช้ในการผลิต ความคงตัวของน้ำนมร่ำข้าวด้วยการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อการเพิ่มความคงตัว และการลดขนาดของโมเลกุลของแป้งและเซลลูโลสโดยใช้เอนไซม์กลุ่มอะไมเลสผสมกับเซลลูเลส และการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมร่ำข้าวกลิ่นรสต่างๆ) และวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์เรียบร้อยแล้ว จากนั้นเลือกโดยใช้เกณฑ์ของสภาวะที่ดีที่สุดของการศึกษาในแต่ละปัจจัย และการให้คะแนนความชอบโดยรวมจากผู้บริโภคที่สูงที่สุดจากการผลิตน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ เพื่อนำมาแปรรูปผลิตเป็นน้ำนมร่ำข้าวชนิดผง และตรวจวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ของน้ำนมร่ำข้าวชนิดผงพร้อมขงต่อไป

### 3.2.4 การผลิตน้ำนมร่ำข้าวผง

นำน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์สูตรที่มีสมบัติดีที่สุด (มีความคงตัวสูงที่สุด และมีคะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์สูงที่สุด) จากการศึกษาก่อนหน้าโดยไม่ต้องปรับสูตร เข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer: JCM/SDE-10 Minilab) ด้วยวิธีการของ Jinapong, Suphantharika, and Jamnong (2008) โดยมีการดัดแปลงบางส่วน ใช้ปั๊ม Peristaltic และ Atomized ให้เป็นละอองขนาดเล็ก โดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วในการหมุน 3,000 รอบต่อนาที (0.04 บาร์ความดันอากาศ) ในทิศทางเดียวกันของระบบการไหลของอากาศ อุณหภูมิของอากาศที่ไหลเข้าอยู่ที่  $180 \pm 2$  องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของอากาศที่ไหลออกจะถูกรักษาในระดับอุณหภูมิไว้ที่  $80 \pm 2$  องศาเซลเซียส โดยการเปลี่ยนแปลง

อัตราการนำเข้าตัวอย่างเพื่อทำแห้งอยู่ในช่วง 26-33 มิลลิลิตรต่อนาที่ จากนั้นเก็บรวบรวมผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยจากกรวยภาชนะที่รองรับผลิตภัณฑ์ผงของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย และนำตัวอย่างที่ได้ไปใช้สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

### 3.2.5 การวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพของน้ำนมร่ำข้าวชนิดผง

#### 3.2.5.1 ร้อยละผลผลิต (Wang et al., 1999)

น้ำนมร่ำข้าวชนิดผงที่ได้จากกระบวนการทำแห้งให้เป็นผงแล้วไปคำนวณหาร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์โดยคำนวณตามสมการดังนี้

$$\text{ร้อยละผลผลิต} = \frac{\text{น้ำนมร่ำข้าวชนิดผง (กรัม)}}{\text{รำข้าวเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100 \quad \text{----- สมการที่ 6}$$

#### 3.2.5.2 วิเคราะห์องค์ประกอบและสมบัติทางเคมี

1. ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีหาปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และปริมาณเส้นใย ด้วยวิธีการของ AOAC (2000) ตามวิธีการทดสอบก่อนหน้า

2. ตรวจวัดปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างด้วยวิธีการทดสอบก่อนหน้า

3. วิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity)

ตรวจวัดปริมาณน้ำอิสระด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity) (NOVASINA) โดยชั่งน้ำนมร่ำข้าวชนิดผงใส่ในถ้วยพลาสติกสำหรับตรวจวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระประมาณ 3 กรัม จากนั้นนำเข้าเครื่องวิเคราะห์และอ่านค่าปริมาณน้ำอิสระจากเครื่องวิเคราะห์จนค่าคงที่ ที่อุณหภูมิ  $25 \pm 2$  องศาเซลเซียส

4. ตรวจวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเครื่อง pH meter

น้ำนมร่ำข้าวชนิดผงประมาณ 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร จากนั้นวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือค่า pH แล้วทำการบันทึกผล การทดลองจะทำซ้ำกัน 3 ครั้งเพื่อความถูกต้องตามวิธีการทดสอบก่อนหน้า

5. ตรวจวัดปริมาณกรดทั้งหมด

การวัดปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์น้ำนมร่ำข้าวชนิดผงจะวัดตามวิธีของ Sadler (2010) ที่กล่าวไว้เช่นเดียวกับการทดสอบก่อนหน้า

6. ตรวจวิเคราะห์ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ

วิเคราะห์ปริมาณวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ ในตัวอย่างน้ำนมร่ำข้าวชนิดผง โดยเครื่องวิเคราะห์วิตามินและแร่ธาตุต่าง (HPLC / ICP-OES) ด้วยวิธีการของ AOAC (2012) 942.23

สำหรับการวิเคราะห์วิตามินต่างๆ ดังนี้ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 วิตามินบี 3 (ไนอะซิน) วิตามินอี และวิธีการของ AOAC (2005) 984.27, 999.10 สำหรับการวิเคราะห์แร่ธาตุต่างๆ ประกอบด้วย แคลเซียม เหล็ก แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสังกะสี

#### 7. ตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโน

ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณกรดอะมิโนในน้ำนมร่ำข้าว ดังต่อไปนี้ ไกลซีน อะลานีน วาลีน ลิวซีน ไอโซลิวซีน เมไทโอนีน โพรลีน ฟีนิลอะลานีน ทรีปโตเฟน เซรีน ทรีโอนีน แอสพาราจีน กลูตามีน ไทโรซีน ซีสเตอีน ไลซีน อาร์จินีน ฮิสติดีน กรดแอสปาร์ติก และ กรดกลูตามิก ด้วยวิธีการของ AOAC (2000) 994.12, 988.15 โดยสรุปดังนี้ ละลายผงน้ำนมร่ำข้าว ตัวอย่างปริมาณ 10 ไมโครกรัม ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 ไมโครลิตรและบอเรทบัฟเฟอร์ pH 9.3 ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 30 ไมโครลิตร จากนั้นเติมสารละลาย 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 ไมโครลิตร ผสมให้เข้ากัน กรองด้วยตัวกรองไนลอน จากนั้นวิเคราะห์กรดอะมิโนโดยใช้เครื่อง GC-MS (ใช้กรดอะมิโนมาตรฐาน 20 ชนิดในการเปรียบเทียบ)

#### 8. ตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ

ตรวจวิเคราะห์กรดไขมันอิสระและปริมาณในผลิตภัณฑ์น้ำนมร่ำข้าวผงโดยวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์กรดไขมันอิสระ (GC-FID) อ้างอิงตามวิธีการของ AOAC (2012) 996.06 ซึ่งตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิกรัม จากนั้นใช้สารละลายเมทานอล-โบรอนฟลูออไรด์ ในการสกัดไขมัน โดยจะทำให้อยู่ในรูปของสารละลาย Fatty Acid Methyl Esters (FAME) สภาวะการวิเคราะห์ใช้คอลัมน์แบบ capillary column 100m x 0.25 mm i.d., 0.2  $\mu$ m (Supelco), Agilent 6890N, USA อุณหภูมิในการนำเข้าตัวอย่าง 1 ไมโครลิตร และตรวจวัดเป็น 250 องศาเซลเซียส อัตราการไหลเข้าของไฮโดรเจนและอากาศเป็น 40 และ 450 มิลลิลิตรต่ออนาที ตามลำดับ จากนั้นนำมาเทียบกับสารมาตรฐานของกรดไขมันอิสระ (Supelco<sup>TM</sup> 37 Component FAME Mix) เพื่อตรวจหาชนิดและปริมาณของกรดไขมันอิสระในน้ำนมร่ำข้าวชนิดผง

#### 3.2.5.3 สมบัติทางกายภาพ

##### 1. ตรวจวัดค่าความหนาแน่นรวม (Bulk density) (Prakash & Ramanatham, 1995)

ซึ่งตัวอย่างน้ำนมร่ำข้าวชนิดผง 2 กรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ลงในกระบอกตวงขนาด 25 มิลลิลิตร เคาะกระบอกตวงเบาๆ และอ่านค่าปริมาตรที่คงที่ที่วัดได้ และนำมาคำนวณตามสมการ รายงานผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นรวมในหน่วย กรัมของน้ำนมร่ำข้าวชนิดผงต่อปริมาตรของน้ำนมร่ำข้าวชนิดผง

$$\text{ความหนาแน่นรวม (กรัม/มิลลิลิตร)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}}{\text{ปริมาตรที่ได้จากกระบอกตวง}} \quad \text{----- สมการที่ 7}$$

2. ตรวจวัดค่าสีโดยเครื่องวัดสี Color Quest XE (Hunter Lab, Virginia) รายงานผลเป็นค่า  $L^*$ ,  $a^*$ , และ  $b^*$  เช่นเดียวกับการทดสอบก่อนหน้า

3. ตรวจวัดการละลายและการฟองตัว

การฟองตัวและการละลายของน้ำนมรำข้าวชนิดผงจะตรวจวัดตามวิธีของ Ahamed (1996) โดยมีการตัดแปลงบางส่วน ซึ่งตัวอย่างน้ำนมรำข้าวชนิดผงประมาณ 1 กรัม ( $W_s$ ) ใส่ลงในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร จากนั้นใส่ลงในหลอดทดลองสำหรับการปั่นเหวี่ยง (หลอดที่นำมาจะถูกบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้ก่อนแล้ว) หลอดจะถูกตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 700g เป็นเวลา 20 นาที (4 องศาเซลเซียส) แล้วแยกส่วนที่ใสออก จากนั้น 10 มิลลิลิตร ของส่วนใสจะถูกเทลงในจานทดลองที่บันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้ก่อนหน้า นำตัวอย่างที่อยู่บนจานทดลองไปทำแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมงและส่วนที่เหลือจะนำไปคำนวณความแตกต่างของน้ำหนัก ( $R$ ) จากนั้นชั่งน้ำหนักของหลอดทดลองสำหรับปั่นเหวี่ยง และคำนวณความแตกต่างของน้ำหนักตัวอย่างในหลอดหลังจากการปั่นเหวี่ยง ( $W_c$ ) การฟองตัว ( $SP$ ) และดัชนีการละลาย ( $SI$ ) โดยคำนวณตามสมการดังต่อไปนี้

$$\text{การฟองตัว (กรัม/กรัม)} = W_c / W_s \quad \text{----- สมการที่ 8}$$

$$\text{การละลาย (ร้อยละ)} = (R / W_s) \times 100 \quad \text{----- สมการที่ 9}$$

#### 3.2.5.4 ทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพ

ตรวจวัดฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH ในตัวอย่างน้ำนมรำข้าวชนิดผงด้วยวิธีการทดสอบก่อนหน้า

#### 3.2.5.5 สมบัติทางด้านจุลินทรีย์

ตรวจหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำนมรำข้าวชนิดผงโดยอ้างอิงวิธีการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดจาก 3M Petrifilm™ เช่นเดียวกับการทดสอบก่อนหน้าในน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

#### 3.2.5.6 ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส

การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวชนิดผงจะดำเนินการตามวิธีการของ Stone และ Sidel (1985) เช่นเดียวกับการประเมินก่อนหน้า แต่มีการตัดแปลงบางส่วนดังนี้ นำ

ตัวอย่างน้ำนมร่ำข้าวชนิดผง 20 กรัม เติลงในแก้วภาชนะสำหรับการทดสอบชิม ชงด้วยน้ำเดือด 150 มิลลิลิตร จากนั้นประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส โดยจะมีตัวอย่างชุดควบคุมที่มีวางจำหน่าย (Commercial product) เป็นเครื่องดื่มน้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงที่มีลักษณะใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์น้ำนมร่ำข้าวชนิดผงของการศึกษามากที่สุดและเตรียมตัวอย่างก่อนทดสอบชิม เช่นเดียวกับน้ำนมร่ำข้าวชนิดผง โดยผู้ประเมินจะทำการประเมินให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (Nine-point hedonic scale) ต่อลักษณะของ สี กลิ่น รสชาติ ความหวาน ลักษณะปรากฏ การละลาย ความชอบโดยรวม และการยอมรับของผลิตภัณฑ์น้ำนมร่ำข้าวชนิดผงลงในแบบประเมินที่จัดเตรียมไว้ให้

### 3.2.6 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำมาวิเคราะห์ผลและรายงานผลในรูปของค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Mean  $\pm$  SD) โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างค่าเฉลี่ยที่ความแปรปรวนหลายระดับของ Duncan (Duncan's multiple's range test) เปรียบเทียบความแปรปรวนที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์สำเร็จรูปทางสถิติ SPSS 16.0 (SPSS 16.0 for window, SPSS Inc, Chicago, IL)

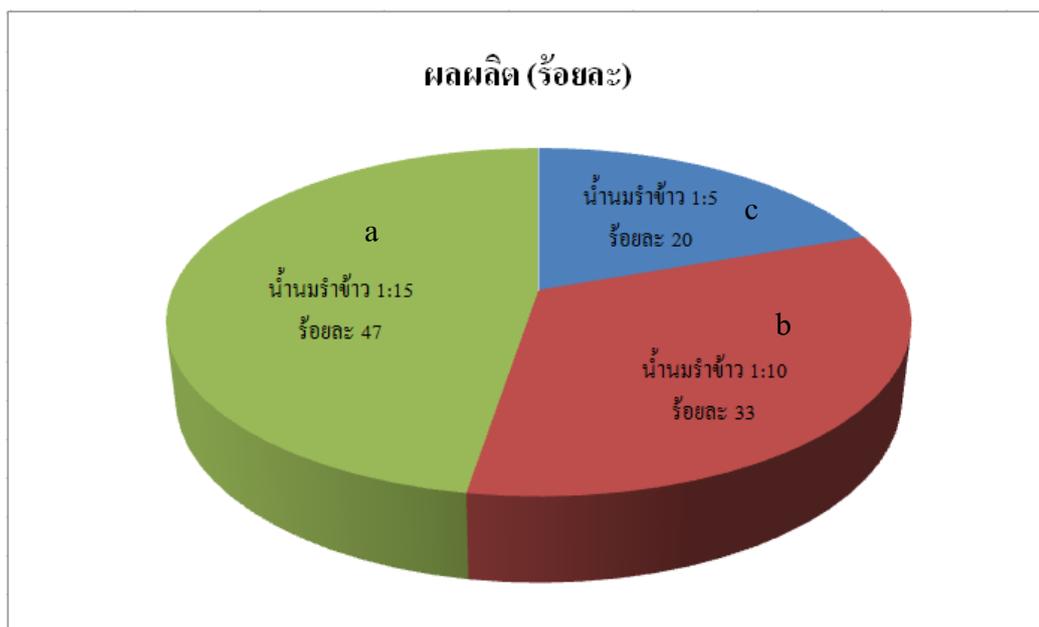
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 การศึกษากระบวนการแปรรูปน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

##### 4.1.1 ร้อยละผลผลิตน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ปริมาณร้อยละผลผลิตของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ความแตกต่างของอัตราส่วนของรำข้าวต่อน้ำในการผลิต (1:5, 1:10 และ 1:15) แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ร้อยละผลผลิตของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ในอัตราส่วนรำข้าว : น้ำ ที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนของรำข้าวต่อน้ำเทียบต่อการผลิต 1 ลิตร ที่ให้ร้อยละผลผลิตสูงที่สุดในการผลิตน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ คือ 1:15 (ร้อยละ 47) รองลงมาคือ 1:10 (ร้อยละ 33) และ 1:5 (ร้อยละ 20) ตามลำดับ ผลผลิตมากน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิต แต่ละอัตราส่วนจะส่งผลต่อสมบัติต่างๆ และคุณภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์สุดท้ายใน

แต่ละด้านเช่นกัน อย่างไรก็ตามการเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการผลิตนั้นจะช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีอีกด้วย ดังนั้นสมบัติต่างๆ ของน้ำมันรำข้าวทั้ง 3 อัตราส่วน ได้แก่ ด้านเคมี ภายภาพฤทธิ์ทางชีวภาพ สมบัติด้านจุลินทรีย์ และลักษณะทางประสาทสัมผัสจึงนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการเลือกเพื่อศึกษาในลำดับต่อไป

#### 4.1.2 องค์ประกอบและสมบัติทางเคมีของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวอินทรีย์เริ่มต้น น้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์แต่ละอัตราส่วน และน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้าจะแสดงดังตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันรำข้าวประกอบด้วย ปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 58.06-91.47 โปรตีน (ร้อยละ 0.19-1.78) ไขมัน (ร้อยละ 1.08-1.79) คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ 6.20-34.04) เถ้า (ร้อยละ 0.44-1.41) และเส้นใย (ร้อยละ 0.62-2.92) จากผลการทดลองพบว่าองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์มีค่าต่ำกว่ารำข้าวอินทรีย์เริ่มต้นและน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ยกเว้นปริมาณความชื้น ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบทั้งหมดในรำข้าวยังคงอยู่ในน้ำมันรำข้าวหลังจากผ่านกระบวนการทำคอลลอยด์ อย่างไรก็ตามพบว่าองค์ประกอบในรำข้าวอินทรีย์มีปริมาณที่แตกต่างเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ที่รายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบในรำข้าว เช่น Prakash (1996) ได้รายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบในรำข้าวชนิดไขมันเต็ม (Full-fat) และรำข้าวที่สกัดไขมัน (Defatted) ว่ามีปริมาณของคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 43.5-54.3 โปรตีนร้อยละ 14.1-18.2 ไขมันร้อยละ 1.6-20.9 เถ้าร้อยละ 12.8-15.3 และเส้นใยร้อยละ 8.4-10.5 ในขณะที่ Gul, Yousuf, Singh, Singh, and Wani (2015) รายงานปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เถ้า และเส้นใย คือ ร้อยละ 12.12, 12.32, 20.31, 17.92, 8.73 และ 28.60 ตามลำดับ นอกจากนี้การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในรำข้าวของข้าวสีด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ NIR ของ Bagchi, Sharma, and Chattopadhyay (2016) พบปริมาณความชื้นของรำข้าวอยู่ในช่วงร้อยละ 6.39-12.38 โปรตีนร้อยละ 10.98-14.87 ไขมันร้อยละ 0.58-20.22 เถ้าร้อยละ 5.42-14.22 และเส้นใยร้อยละ 7.12-9.89 อย่างไรก็ตาม Da Silva, Sanches, and Amante (2006) ได้กล่าวถึงปริมาณความแตกต่างขององค์ประกอบในรำข้าวว่าอาจเนื่องมาจากแหล่งที่มา การเพาะปลูก และสายพันธุ์ของข้าวที่แตกต่างกัน นอกจากนี้เมื่ออัตราส่วนของรำข้าวและน้ำเพิ่มขึ้น องค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ลดลง ซึ่งเป็นผลกระทบจากการเจือจางตลอดจนความสามารถของตัวทำละลายหรือตัวสกัดในการสกัดองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้ที่มีอยู่ในรำข้าวอีกด้วย

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้าพบว่า น้ำมันรำข้าวอัตราส่วน 1:15 แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต

( $p < 0.05$ ) นอกเหนือจากนี้สารที่ใช้สกัดและสภาวะการสกัดมีบทบาทสำคัญในการสกัดโปรตีนและมีอิทธิพลต่อร้อยละการคืนกลับ (Recovery) ของโปรตีน (Fabian, Huynh, & Ju, 2010) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำนมร่ำข้าวกับเครื่องดื่มอื่นๆ เช่น น้ำนม สารสกัดจากถั่วเหลือง และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า พบว่าน้ำนมร่ำข้าวจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าตัวอย่างที่กล่าวมา ผลการทดลองนี้พบว่ามีผลคล้ายคลึงกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ซึ่งรายงานเกี่ยวกับองค์ประกอบในเครื่องดื่มร่ำข้าวอินทรีย์ที่เติมแต่งกลิ่นรส (กลิ่นรสโกโก้และสตอเบอรี่) โดยเฉพาะปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่พบสูงถึงร้อยละ 43.2 และ 41.3 ตามลำดับ (Faccin et al., 2009)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวอินทรีย์ น้ำนมรำข้าว และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)					
	ความชื้น	เถ้า	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต*
รำข้าวอินทรีย์	4.21 ± 0.02 <sup>d</sup>	9.18 ± 0.02 <sup>a</sup>	12.75 ± 0.02 <sup>a</sup>	21.48 ± 0.02 <sup>a</sup>	8.14 ± 0.03 <sup>a</sup>	44.24 ± 0.44 <sup>a</sup>
น้ำนมรำข้าว 1:5	58.06 ± 0.88 <sup>c</sup>	1.41 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.78 ± 0.03 <sup>c</sup>	1.79 ± 0.09 <sup>c</sup>	2.92 ± 0.13 <sup>b</sup>	34.04 ± 0.50 <sup>b</sup>
น้ำนมรำข้าว 1:10	89.02 ± 1.59 <sup>b</sup>	0.68 ± 0.15 <sup>c</sup>	0.57 ± 0.05 <sup>d</sup>	1.60 ± 0.37 <sup>c</sup>	0.95 ± 0.21 <sup>c</sup>	7.18 ± 0.54 <sup>c</sup>
น้ำนมรำข้าว 1:15	91.47 ± 2.11 <sup>b</sup>	0.44 ± 0.04 <sup>d</sup>	0.19 ± 0.06 <sup>c</sup>	1.08 ± 0.09 <sup>d</sup>	0.62 ± 0.14 <sup>d</sup>	6.20 ± 0.10 <sup>d</sup>
น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า	94.49 ± 1.40 <sup>a</sup>	0.48 ± 0.10 <sup>d</sup>	2.15 ± 0.06 <sup>b</sup>	2.14 ± 0.07 <sup>b</sup>	0.58 ± 0.10 <sup>d</sup>	0.16 ± 0.08 <sup>c</sup>

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตัวอักษร a, b, c,...ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

\* หมายถึง ปริมาณที่หาจากการคำนวณร้อยละความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง

ค่าสีของผลิตภัณฑ์เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับอาหารซึ่งมีผลโดยตรงต่อการยอมรับและการตัดสินใจของผู้บริโภค ค่าสีของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวและน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าแสดงดังตารางที่ 4.2 ค่าความขาว (Whiteness) และค่าความสว่าง ( $L^*$ ) สูงสุดจะพบในผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าโดยมีค่าสูงถึงร้อยละ 70.59 และ 72.22 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ค่าสีของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญต่อค่า  $L^*$  (ความสว่าง)  $a^*$  (สีแดง) และ  $b^*$  (สีเหลือง) ที่น้อยลง ของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวเมื่ออัตราส่วนของปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้ค่าความขาวของน้ำนมรำข้าวยังมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเช่นกันเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามสมบัติเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์พื้นฐานและการพิจารณาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวต่อไป

ตารางที่ 4.2 ค่าสีของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

ตัวอย่างน้ำนม รำข้าว	ค่าสี				ความขาว (ร้อยละ)
	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E$	
1:5	$62.54 \pm 0.04^d$	$-0.31 \pm 0.02^c$	$7.91 \pm 0.04^d$	$9.93 \pm 0.02^a$	$61.71 \pm 0.04^d$
1:10	$68.08 \pm 0.06^b$	$0.69 \pm 0.04^b$	$11.41 \pm 0.04^b$	$5.26 \pm 0.07^c$	$66.10 \pm 0.05^b$
1:15	$66.56 \pm 0.03^c$	$1.55 \pm 0.01^a$	$13.12 \pm 0.03^a$	$7.58 \pm 0.03^b$	$64.04 \pm 0.02^c$
น้ำนมถั่วเหลือง ทางการค้า	$72.22 \pm 0.01^a$	$-1.91 \pm 0.02^d$	$9.44 \pm 0.03^c$	-	$70.59 \pm 0.00^a$

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ตัวอักษร a, b, c,...ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สมบัติทางเคมีของน้ำนมรำข้าวและน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าแสดงดังตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมดเป็นตัวบ่งชี้อายุ (Shelf-life) ของผลิตภัณฑ์ ค่า pH ของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวทั้งหมดจะอยู่ในช่วง 6.77-6.97 ขณะที่ pH ของน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าพบที่  $6.99 \pm 0.01$  ในขณะเดียวกันผลิตภัณฑ์ในกลุ่มที่คล้ายคลึงกับน้ำนมรำข้าวและการพัฒนาผลิตภัณฑ์

เครื่องดื่มน้ำจืดจากพืชของ อภิรดา กิตติชัยกุล (2554) และ Faccin et al. (2009) รายงานค่าความเป็นกรด-ด่าง ของผลิตภัณฑ์ที่ได้อยู่ในช่วง 6.30-6.59 และผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลืองของ Potter, Dougherty, Halteman, and Camire (2007) อยู่ในช่วง 3.64-3.97 การที่ค่า pH ของน้ำนมรำข้าวที่ได้มีค่าความเป็นกลางสูงนั้นรวมถึงประกอบด้วยสารอาหารต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ อาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์ที่พบตามธรรมชาติ (Normal flora) ตลอดจนกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกสามารถเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดีซึ่งส่งผลกระทบต่ออายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ (Salmeron, Thomas, and Pandiella, 2015) จุลินทรีย์ส่วนมากจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วง pH 6.5-7.5 และจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคนั้นส่วนมากจะเจริญเติบโตที่ pH 4.5-5.0 ดังนั้นเครื่องดื่มน้ำจืดทั่วไป ที่มีค่า pH ต่ำกว่า 4.0 จึงปลอดภัย อย่างไรก็ตาม มีจุลินทรีย์บางประเภทที่ชอบสภาพเป็นกรด ได้แก่ ยีสต์ รา แลคติก และอะซิติกแบคทีเรีย ซึ่งเชื้อเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดปัญหาแก่การเก็บรักษาเครื่องดื่มน้ำจืดเช่นกัน แต่ถ้าเครื่องดื่มน้ำจืด pH ลงได้ถึง 3.0 จะป้องกันการเสื่อมเสียเนื่องจากแลคติกแบคทีเรียได้ที่จุดนี้ยีสต์ส่วนใหญ่จะไม่เจริญเติบโต (อภิรดา กิตติชัยกุล, 2554)

อัตราส่วนน้ำนมรำข้าว 1:5 แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูงที่สุด ( $12.7 \pm 0.58$  °Brix) เมื่อเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ( $11.7 \pm 0.58$  °Brix) ตามด้วยน้ำนมรำข้าวอัตราส่วน 1:10 ( $6.00 \pm 0.00$  °Brix) และอัตราส่วน 1:15 ( $3.70 \pm 0.58$  °Brix) ยิ่งไปกว่านั้นผลของปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมีความสอดคล้องกับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่ลดลงเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น (ร้อยละ 0.61-0.38) อย่างไรก็ตามปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำที่มีค่าสูงที่ตรวจวัดได้อาจเป็นผลมาจากอนุภาคของรำข้าวมากกว่าปริมาณน้ำตาลที่เกิดขึ้นในน้ำนมรำข้าว สำหรับปริมาณน้ำตาลทั้งหมดถึงแม้ว่าน้ำนมรำข้าวจะไม่มีกรดแลกติกชนิดใด ๆ (แลคติกธรรมชาติ) แต่พบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ 0.38-0.61) เป็นไปได้ที่จะเกิดจากผลของปริมาณแป้งหรือสตาร์ช (ซึ่งมีมากถึงร้อยละ 48.44) ในรำข้าวเริ่มต้น (Prakash, 1996) โดยทั่วไปรำข้าวทางการค้าเชิงพาณิชย์สามารถมีปริมาณของสตาร์ชในช่วงร้อยละ 10-55 ขึ้นอยู่กับชนิดของรำ การสี และปริมาณของเอนโดสเปิร์มของข้าวนั้นๆ ซึ่งกล่าวไว้โดย Saunders (1990) and Fabian et al. (2011)

ปริมาณกรดทั้งหมดของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวแสดงอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 0.07 ถึง 0.19 และจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับอัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้นในการผลิตน้ำนมรำข้าว อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดทั้งหมดอาจเกี่ยวข้องกับการปนเปื้อน หรือเกิดจากการที่เชื้อจุลินทรีย์เจริญเติบโต และผลิตกรดต่างๆ ออกมา ดังนั้นปริมาณกรดทั้งหมดสามารถบ่งชี้การเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์ได้เช่นกัน

ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์แต่ละอัตราส่วนจากการทดลองขึ้นอยู่กับผลของการเจือจางโดยตรง ค่าความหนืดสูงสุดจะพบในน้ำนมรำข้าวอัตราส่วน 1:5 ( $141.97 \pm 0.74$ cP) ตามด้วย

อัตราส่วน 1:10 ( $6.63 \pm 0.29\text{cP}$ ) และ 1:15 ( $3.05 \pm 0.06\text{cP}$ ) ตามลำดับ โดยปกติความหนืดที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มต่างๆ ควรอยู่ในช่วงไม่เกิน 130cP (Prieke et al., 1980) อย่างไรก็ตามความหนืดของเครื่องดื่มและผลิตภัณฑ์นมขึ้นอยู่กับปัจจัยของอุณหภูมิและปริมาณของแข็งในน้ำนมด้วยเช่นกัน

น้ำนมสำหรับน้ำนมรำข้าว (อัตราส่วน 1:15) แสดงค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ( $3.7 \pm 0.58$  °Brix) กับปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ  $0.38 \pm 0.01$ ) และค่าความหนืด ( $3.05 \pm 0.06\text{cP}$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ( $11.7 \pm 0.58$  °Brix ร้อยละ  $5.80 \pm 0.08$  และ  $9.85 \pm 0.07\text{cP}$  ตามลำดับ) ( $p < 0.05$ ) ดังนั้นสมบัติเหล่านี้สามารถนำมาใช้พัฒนาและส่งเสริมผลิตภัณฑ์นมชนิดใหม่ที่ได้จากการใช้พืช (ธัญพืช) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตอีกด้วย

ตารางที่ 4.3 สมบัติทางเคมีของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

สมบัติทางเคมี	ตัวอย่างน้ำนมรำข้าว			น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า
	1:5	1:10	1:15	
pH	$6.77 \pm 0.01^c$	$6.89 \pm 0.01^b$	$6.97 \pm 0.02^a$	$6.99 \pm 0.01^a$
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (°Brix)	$12.7 \pm 0.58^a$	$6.0 \pm 0.00^b$	$3.7 \pm 0.58^c$	$11.7 \pm 0.58^a$
ความหนืด (cP)	$141.97 \pm 0.74^a$	$6.63 \pm 0.29^c$	$3.05 \pm 0.06^d$	$9.85 \pm 0.07^b$
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (ร้อยละ)	$0.61 \pm 0.02^b$	$0.54 \pm 0.00^b$	$0.38 \pm 0.01^c$	$5.80 \pm 0.08^a$
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	$0.07 \pm 0.02^c$	$0.11 \pm 0.02^{bc}$	$0.19 \pm 0.02^a$	$0.14 \pm 0.02^{ab}$

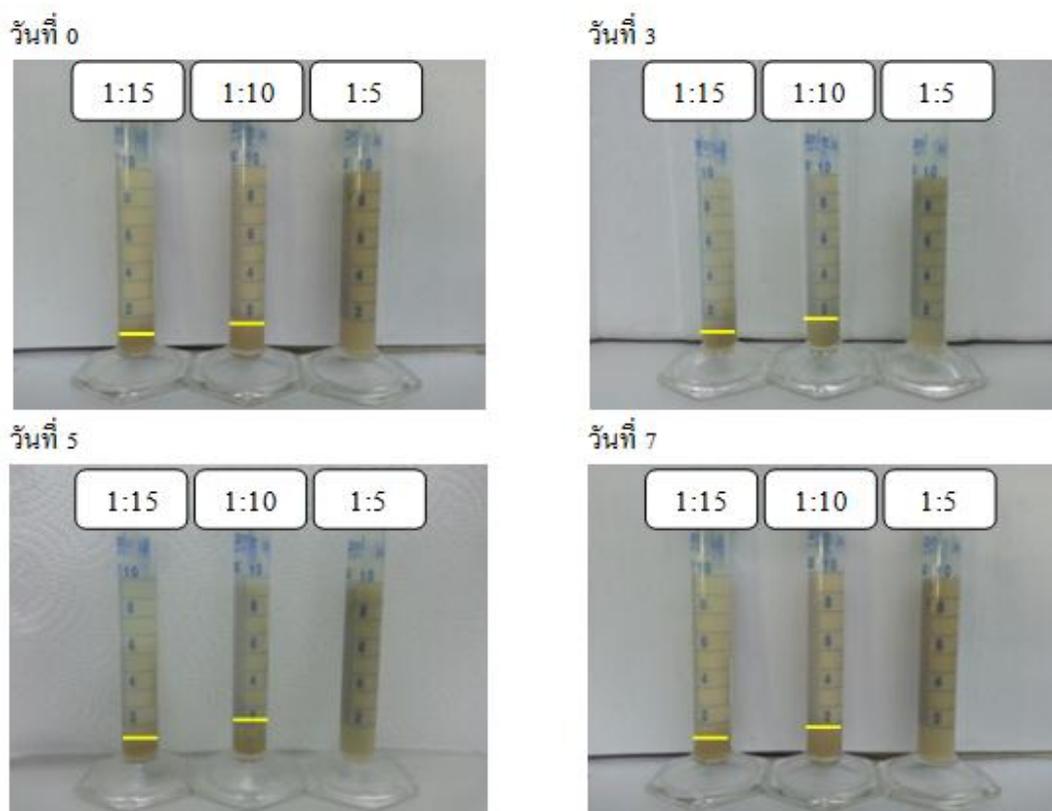
หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.1.3 สมบัติด้านความคงตัวของผลิตภัณฑ์ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ความคงตัวของน้ำนมรำข้าวด้วยวิธีการตรวจสอบแบบเทคนิคการจับตัวแล้วตกตะกอน (Coagulation technique) โดยเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ได้แสดงดังภาพที่ 4.2 ความคงตัวสูงสุดของน้ำนมรำข้าวพบในตัวอย่างที่มีอัตราส่วนระหว่างรำข้าวต่อน้ำ 1:5 (ร้อยละ โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เมื่อเวลาผ่านไปการเพิ่มขึ้นของตะกอนจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่การเก็บรักษาในวันที่ 7 ของการทดลอง ถึงแม้ว่ารำข้าวจะผ่านกระบวนการลดขนาดอนุภาคด้วยการทำคอลลอยด์ อย่างไรก็ตามน้ำนมรำข้าวยังคงมีขนาดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่แขวนลอยอยู่ในผลิตภัณฑ์สุดท้าย ดังนั้นการแยกชั้นที่เกิดขึ้นจากการทดลองในน้ำนมรำข้าวระหว่างส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำที่แขวนลอยอยู่นั้นจึงแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนตั้งแต่วันแรกของการทดลองตามภาพที่ 4.2 โดยเฉพาะตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของน้ำในการผลิตที่มีปริมาณมาก

เพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์นมหรือน้ำนมรำข้าวที่ได้จากการทดลอง โดยทั่วไปสารที่ทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน (Emulsifier) และหรือ สารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) ควรนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว อ้างอิงการศึกษาก่อนหน้าของ Yadav, Johnston, and Hicks (2009) และ Lal, O'Connor, and Eyres (2006) ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ / สารเพิ่มความคงตัวในผลิตภัณฑ์นม พวกเขารายงานว่าทั้งสารอิมัลซิไฟเออร์และสารเพิ่มความคงตัวประเภทไฮโดรคอลลอยด์ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพในการนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวได้เป็นอย่างดีในส่วนของสมบัติเชิงหน้าที่ นอกจากนี้สารเพิ่มความคงตัวอื่นๆ เช่น คาร์บอกซิเมทิลเซลลูโลสหรือซีเอ็มซี (CMC) ก็สามารถนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่เป็นคอลลอยด์ได้อีกด้วยซึ่งรายงานไว้โดย Wu, Du, Li, and Zhang (2014) ต่อการเพิ่มความคงตัวของนมเปรี้ยว (Yogurt drink) การเติม CMC ลงในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวนั้นทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้องค์ประกอบในน้ำนมแขวนลอยและเกิดการตกตะกอนของโปรตีนในน้ำนมขาลง นอกจากนี้ Wu et al. (2014) ได้รายงานว่าการใช้ไฮโมจีไนซ์เพื่อทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน ร่วมกับการใช้ CMC ในนมเปรี้ยวจะให้ประสิทธิภาพความคงตัวของผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้น แต่การใช้ไฮโมจีไนซ์ที่ความดันสูงๆ อาจส่งผลให้ CMC ที่เติมลงไปเสียสภาพซึ่งเป็นเหตุผลในการลดลงของความหนืด ที่นำไปสู่อัตราเร่งในการตกตะกอนของอนุภาคโปรตีนและความคงตัวของผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวลดลง ดังนั้นเสถียรภาพของระบบคอลลอยด์ขึ้นอยู่กับปัจจัยความหนืดของตัวกลางนั้นๆ อย่างไรก็ตามน้ำนมรำข้าวที่ได้จากการผลิตและทดลองไม่ได้เป็นน้ำนมที่ได้จากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ดังนั้นเทคนิคอื่นๆ ที่แตกต่างออกไปเพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวควรจะมีการศึกษาและตรวจวิเคราะห์ต่อไป



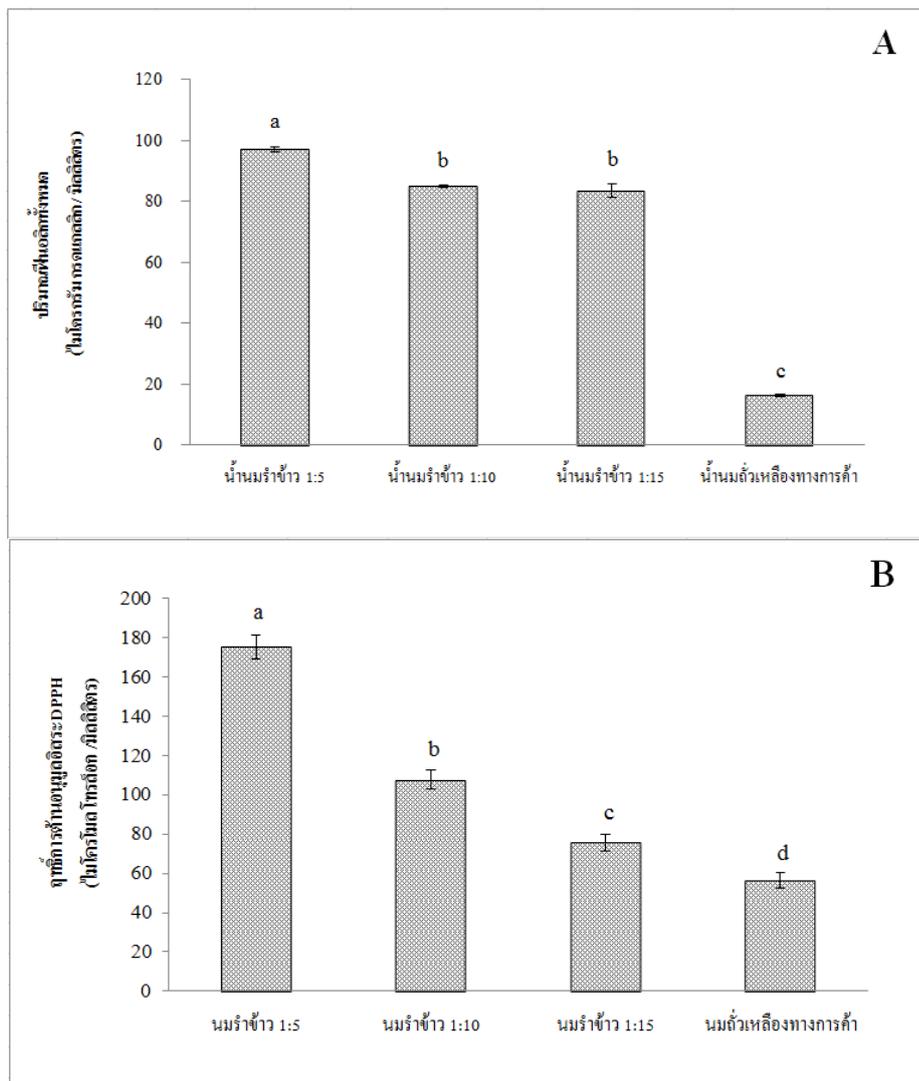
หมายเหตุ. 1:5 1:10 และ 1:15 หมายถึง อัตราส่วนรำข้าว : น้ำ ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์  
สัญลักษณ์บาร์ (—) คือ สิ่งที่ระบุระดับของการตกตะกอนที่เกิดขึ้น

ภาพที่ 4.2 ความคงตัวของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

#### 4.1.4 สมบัติด้านชีวภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH เป็นตัวบ่งชี้สำหรับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระในน้ำนมรำข้าวเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าแสดงดังภาพที่ 4.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของน้ำนมรำข้าวแต่ละอัตราส่วน (1:5, 1:10 และ 1:15) มีปริมาณอยู่ในช่วงระหว่าง  $16.35 \pm 0.25$  ถึง  $97.06 \pm 0.82$  มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร ในขณะที่กิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH อยู่ในช่วง  $56.33 \pm 4.16$  ถึง  $175.33 \pm 6.11$  ไมโครโมลโทรลต่อมิลลิลิตร ซึ่งการวิเคราะห์สมบัติหรือฤทธิ์ทางชีวภาพทั้งสองอย่างในตัวอย่งน้ำนมรำข้าวและน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดตลอดจนกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ขึ้นอยู่กับผลจาก

การทำเจ็องของนํ้านมรำข้าวโดยตรง ปริมาณนํ้าที่เพิ่มขึ้นในการใช้ผลิตนํ้านมรำข้าวส่งผลให้ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลงรวมถึงฤทธิ์ทางชีวภาพด้วย ความเข้มข้นของสารที่ถูกสกัดรวมถึงอัตราส่วนของสารละลายที่ใช้ในการสกัดจากของแข็งมีบทบาทสำคัญในการสกัดฟีนอลิกและมีอิทธิพลต่อร้อยละการกลับคืนของฟีนอลิกด้วยเช่นกัน (Meneses, Martins, Teixeira, and Mussatto, 2013) นอกจากนี้การลดลงอย่างมีนัยสำคัญของกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระในนํ้านมรำข้าวอาจเกิดจากผลกระทบในการเจ็องด้วยเช่นกัน ดังนั้นการลดสัดส่วนในการเจ็องให้ต่ำลงสามารถเป็นแหล่งของกิจกรรมต้านอนุมูลอิสระที่มีศักยภาพได้ และสามารถเพิ่มปริมาณฟีนอลิกให้สูงขึ้นในนํ้านมรำข้าวได้อีกด้วย โดยทั่วไปงานวิจัยส่วนใหญ่รายงานว่า อาหารที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงสามารถช่วยป้องกันการเกิดโรคต่างๆ ในร่างกายของมนุษย์ได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ และโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบไหลเวียนเลือด (CVD) เป็นต้น (Butsat and Siriamornpun, 2010) เป็นที่น่าสนใจสำหรับฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของนํ้านมรำข้าวที่พบว่ามีปริมาณสูงกว่านํ้านมถั่วเหลืองทางการค้า ( $56.33 \pm 4.16$  ไมโครโมลโทรลต่อมิลลิลิตร) โดยทั่วไปในรำข้าวและถั่วเหลืองจะประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพค่อนข้างสูง ได้แก่ ไฟโตสเตอรอล (2,230-4,400 ppm.) แกมมาออโรซานอล (2,200-3,000 ppm.) วิตามินอี หรือ โทโคฟีรอล (210-440 ppm.) และ โพลีฟีนอล (305-309 ppm.) (Friedman, 2013) ซึ่งมีผลต่อการทำหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระ (Watchararujji, Goto, Sasaki, and Shotipruk, 2008; Chotimarkorn, Benjakul, and Silalai, 2008; Iqbal, Bhangar, and Anwar, 2005) อย่างไรก็ตามสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญเหล่านี้จะสามารถถูกทำลายได้ง่ายเนื่องจากกระบวนการความร้อน โดยเฉพาะการใช้อุณหภูมิที่สูงในระหว่างกระบวนการพาสเจอร์ไรส์และอื่นๆ ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคจากการใช้ความร้อนของนํ้านมรำข้าว (Kim, Kim, Oh, Yoo, Kim, and Oh, 2011; Thanonkaew, Wongyai, McClements, and Decker, 2012; Xu and Chang, 2011)



ภาพที่ 4.3 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (A) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (B) ของน้ำนมรำข้าว พาสเจอร์ไรส์และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

#### 4.1.5 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

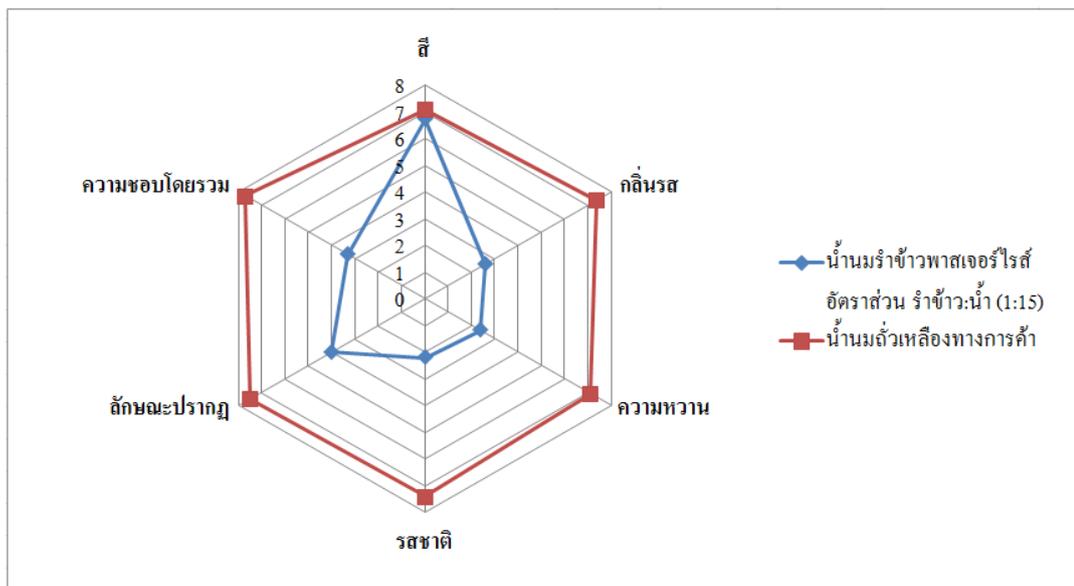
จากผลการทดลองสมบัติด้านต่างๆ (องค์ประกอบและสมบัติด้านเคมี กายภาพ ความคงตัว และฤทธิ์ทางชีวภาพ) ของน้ำนมรำข้าวข้างต้นที่กล่าวมานั้น พบว่า น้ำนมรำข้าวอัตราส่วน 1:15 เป็นตัวอย่างที่เหมาะสมต่อการนำมาทดลองตรวจวิเคราะห์ในขั้นต่อไป และได้รับเลือกเพื่อนำมาทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าอีกด้วย ลักษณะต่างๆ ในน้ำนมรำข้าวที่ถูกนำมาประเมินทางด้านประสาทสัมผัส (สี กลิ่นรส ความหวาน รสชาติ ลักษณะปรากฏ และความชอบโดยรวม) แสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.4 พบว่าสีของ

น้ำนมรำข้าวมีความใกล้เคียงกับสีของนมถั่วเหลืองทางการค้า ในขณะที่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนในลักษณะคุณภาพด้านอื่นๆ ที่เหลือ ได้แก่ กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะปรากฏ ความหวาน และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ ผลการทดลองเหล่านี้สอดคล้องกับผลการทดลองทางด้านเคมีของตัวอย่างการทดลอง โดยเฉพาะปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดตลอดจนความหนืดของน้ำนมรำข้าว (1:15) และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ( $p < 0.05$ ) ลักษณะเหล่านี้ส่งผลให้คะแนนของความหวาน รสชาติ และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวลดลง นอกจากนี้การทดสอบครั้งนี้สอดคล้องกับการรายงานของ Andres, Tenorio, and Villanueva (2015) ซึ่งศึกษาการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มผสมที่มึนม น้ำผลไม้ และถั่วเหลืองเป็นส่วนผสมโดยใช้ผู้ทดสอบ 40 คน ประเมินลักษณะของสี ความหวาน ความเป็นกรด กลิ่น ความคงตัว และการยอมรับผลิตภัณฑ์ ผลการศึกษาของ Andres et al. (2015) แสดงคะแนนค่าสีสูงที่สุด รองลงมาคือ ความหวาน กลิ่น และการยอมรับของผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการทดลองของน้ำนมรำข้าวที่แสดงค่าสีสูงที่สุดเช่นเดียวกัน แม้ว่าลักษณะอื่นๆ จะมีคะแนนที่ต่ำ อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้ทั้งหมดนี้ชี้ให้เห็นว่าในด้านลักษณะคุณภาพของกลิ่นรส และรสชาติควรมีการปรับปรุงสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวต่อไป

**ตารางที่ 4.4** การทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ (1:15) และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า (ผู้ทดสอบ 50 คน)

ตัวอย่าง	สี	กลิ่นรส	ความหวาน	รสชาติ	ลักษณะปรากฏ	ความชอบโดยรวม
น้ำนมรำข้าว 1:15	6.66 ± 1.80 <sup>b</sup>	2.58 ± 0.09 <sup>b</sup>	2.42 ± 0.90 <sup>b</sup>	2.24 ± 0.08 <sup>b</sup>	3.96 ± 1.60 <sup>b</sup>	3.26 ± 1.30 <sup>b</sup>
น้ำนมถั่ว เหลืองทาง การค้า	7.06 ± 1.30 <sup>a</sup>	7.38 ± 1.20 <sup>a</sup>	7.14 ± 1.20 <sup>a</sup>	7.38 ± 1.10 <sup>a</sup>	7.50 ± 1.00 <sup>a</sup>	7.68 ± 1.00 <sup>a</sup>

**หมายเหตุ.** ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4.4 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของนํ้านมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ (1:15) และนํ้านมถั่วเหลืองทางการค้า

อ้างอิงผลการทดลองทั้งหมดข้างต้นในการศึกษาสมบัติและลักษณะทางด้านต่างๆ ของนํ้านมรำข้าวตัวอย่างแต่ละอัตราส่วน (1:5, 1:10 และ 1:15) เปรียบเทียบกับนํ้านมถั่วเหลืองทางการค้าพบว่า อัตราส่วนของรำข้าวที่ใช้ต่อนํ้าที่เหมาะสมในการผลิตนํ้านมรำข้าวตั้งต้น และนำไปศึกษาพัฒนาผลิตภัณฑ์ในการทดลองขั้นต่อไปคืออัตราส่วน 1:15 เนื่องจากสมบัติด้านต่างๆ ของนํ้านมรำข้าวที่ศึกษามีความใกล้เคียงของสมบัติทั้งทางกายภาพ (โดยเฉพาะค่าสี) เคมี ตลอดจนเป็นแหล่งที่ดีของการต้านอนุมูลอิสระเมื่อเปรียบเทียบกับนํ้านมถั่วเหลืองทางการค้า แม้ว่าอัตราส่วนอื่นๆ ของนํ้านมรำข้าวจะแสดงผลการทดลองที่ดีกว่าอัตราส่วน 1:15 เช่น ความคงตัวของนํ้านมรำข้าวอัตราส่วน 1:5 มีความคงตัวสูงสุด แต่เนื่องด้วยความหนืดของผลิตภัณฑ์สูงเกินไปจึงไม่ถูกนำมาพิจารณา นอกจากนี้ค่าความขาวและความสว่างของผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างอีกด้วย อย่างไรก็ตามอัตราส่วน 1:10 ไม่ถูกพิจารณาเช่นกันเนื่องจากสมบัติต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติเมื่อเทียบกับอัตราส่วน 1:15 นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มการใช้รำข้าวเริ่มต้นที่ปริมาณเยอะกว่าสำหรับการผลิตนํ้านมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ในขณะที่ให้ร้อยละผลผลิตที่ต่ำกว่าด้วยเช่นกัน ดังนั้นเพื่อให้เป็นไปได้ในเชิงอุตสาหกรรม การใช้ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตที่น้อยกว่าจึงเป็นสิ่งสำคัญในการพิจารณา ส่งผลให้อัตราส่วน 1:15 ได้รับพิจารณาเพื่อนำมาศึกษาพัฒนา/ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่ดีต่อไป ทั้งนี้นํ้านมรำข้าวที่ได้นี้สามารถเป็นเครื่องดื่มทางเลือกใหม่ที่ได้จากพืช (ธัญพืช) สำหรับผู้บริโภคที่ตระหนักในเรื่องสุขภาพ อย่างไรก็ตามนํ้านมรำข้าวที่ได้นี้ยังต้องทดลอง

เพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงคุณลักษณะต่างๆ ให้มีคุณภาพที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านของกลิ่นรส และรสชาติ เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาต่อไป

## 4.2 การปรับปรุงลักษณะคุณภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

### 4.2.1 ผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ผลจากการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางด้านเคมี (ค่า pH และ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ) รวมถึงค่าความหนืดของน้ำนมรำข้าวแสดงดังตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่า กัวร์กัม แชนแทนกัม โลคัสปีนกัม และเพกทิน เป็นสารที่มีผลต่อการลดค่า pH ของน้ำนมรำข้าวที่ทุกความเข้มข้นที่เติมลงไป ในขณะที่คาร์ราจีแนนจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า pH ในน้ำนมรำข้าวตัวอย่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์เหล่านี้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นที่แตกต่างกัน รวมถึงกระบวนการสกัดที่แตกต่างกันด้วย จึงส่งผลต่อสมบัติต่างๆ เหล่านี้ของไฮโดรคอลลอยด์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในน้ำนมรำข้าว (Dickinson, 2003) นอกจากนี้พอลิแซคคาไรด์บางตัว เช่น เพกทิน ส่วนใหญ่ได้มาจากการสกัดจากผลไม้ในกลุ่มพืชตระกูลส้ม (Citrus fruits) ที่ประกอบด้วยกรดกาแลกทูโลนิก ที่มีมากกว่าครึ่งหนึ่งในเพกทิน ดังนั้นสารดังกล่าวนี้จะรู้จักกันในส่วนของเมทิลเอสเทอร์รีไฟล์ และจะแสดงสถานะที่มีความเป็นกรดเมื่ออยู่ในรูปของสารละลาย หรือตัวกลางที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายหลัก (Alqahtani, Ashton, Katopo, Haque, Jones, and Kasapis, 2014) ขณะที่แชนแทนกัมผลิตจากกระบวนการธรรมชาติ ด้วยการหมักของน้ำตาล ชนิดซูโคส หรือกลูโคส กับแบคทีเรียชนิด *Xanthomonas campestris* จึงมีสถานะเริ่มต้นเป็นกรดส่งผลให้น้ำนมรำข้าวมีค่า pH ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นขึ้น น้ำนมรำข้าวมีค่า pH สูงกว่าผลการศึกษาของ Potter et al. (2007) ซึ่งศึกษาเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่ประกอบด้วยข้าว ถั่วเหลือง และบลูเบอร์รี่ (pH อยู่ในช่วง 3.64-3.97) นอกจากนี้ค่า pH ของเครื่องดื่มรำข้าวอินทรีย์ทั่วไปที่มีการเติมแต่งกลิ่นรส (โกโก้และสตอเบอร์รี่) รายงานอยู่ที่  $6.30 \pm 0.1$  และ  $6.30 \pm 0.2$  ตามลำดับ (Faccin et al., 2009) จากผลการศึกษาครั้งนี้ (ตารางที่ 4.5) ค่า pH ของน้ำนมรำข้าวที่เป็นชุดควบคุมมีค่า  $6.66 \pm 0.03$  ขณะที่ค่า pH ของตัวอย่างที่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง  $6.01 \pm 0.05$  ถึง  $6.60 \pm 0.01$  โดยพบในน้ำนมรำข้าวที่เติมกัวร์กัมร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ( $6.60 \pm 0.01$ ) และ เพกทินร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ( $6.01 \pm 0.05$ ) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากสมบัติทางเคมีของค่า pH กัวร์กัมดูเหมือนจะเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับตัวอย่างชุดควบคุม

( $6.66 \pm 0.03$ ) ของนํ้านมร่าข้าวมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับคาร์เต็มไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ อย่างไรก็ตามสมบัติด้านอื่นๆ ของการศึกษาการประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในเชิงหน้าที่อื่นๆ ควรนำมาพิจารณาเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ค่า pH ที่ได้จากการวิเคราะห์ของนํ้านมร่าข้าวค่อนข้างเป็นกลาง เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคได้ (Faccin et al., 2009) ถึงแม้ว่านํ้านมร่าข้าวจะผ่านกระบวนการให้ความร้อนแบบพาสเจอร์ไรส์ เพื่อความปลอดภัยทางด้านอาหาร การตรวจสอบเชื้อจุลินทรีย์จึงจำเป็นต้องตรวจสอบในการศึกษาต่อไปสำหรับความปลอดภัยของผู้บริโภคด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางเคมีของน้ำนมวัวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้น

สมบัติทางเคมีกายภาพ	ความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ (น้ำหนัก/ปริมาตร)	ไฮโดรคอลลอยด์					
		ชุดควบคุม	กัวร์กัม	แซนแทนกัม	โลคัสทีน	เพกทิน	คาร์ราจีแนน
pH	0*	6.66 ± 0.03 <sup>aA</sup>	6.66 ± 0.03 <sup>aA</sup>	6.66 ± 0.03 <sup>aA</sup>	6.66 ± 0.03 <sup>aA</sup>	6.66 ± 0.03 <sup>aA</sup>	6.66 ± 0.03 <sup>aA</sup>
	0.05	6.66 ± 0.03 <sup>aA</sup>	6.60 ± 0.01 <sup>bb</sup>	6.47 ± 0.01 <sup>bd</sup>	6.55 ± 0.01 <sup>bc</sup>	6.40 ± 0.00 <sup>be</sup>	6.49 ± 0.01 <sup>cd</sup>
	0.1	6.66 ± 0.03 <sup>aA</sup>	6.57 ± 0.02 <sup>bb</sup>	6.39 ± 0.02 <sup>bde</sup>	6.43 ± 0.05 <sup>cd</sup>	6.37 ± 0.01 <sup>be</sup>	6.50 ± 0.00 <sup>cc</sup>
	0.3	6.66 ± 0.03 <sup>aA</sup>	6.56 ± 0.00 <sup>bb</sup>	6.26 ± 0.02 <sup>de</sup>	6.35 ± 0.00 <sup>dd</sup>	6.16 ± 0.02 <sup>cf</sup>	6.52 ± 0.01 <sup>bc</sup>
	0.5	6.66 ± 0.03 <sup>aA</sup>	6.49 ± 0.03 <sup>cb</sup>	6.08 ± 0.01 <sup>cd</sup>	6.28 ± 0.02 <sup>ec</sup>	6.01 ± 0.05 <sup>de</sup>	6.54 ± 0.00 <sup>bb</sup>
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ ( <sup>o</sup> Brix)	0*	2.00 ± 0.00 <sup>aA</sup>	2.00 ± 0.00 <sup>ca</sup>	2.00 ± 0.00 <sup>da</sup>	2.00 ± 0.00 <sup>ca</sup>	2.00 ± 0.00 <sup>ba</sup>	2.00 ± 0.00 <sup>da</sup>
	0.05	2.00 ± 0.00 <sup>ab</sup>	3.66 ± 0.57 <sup>ba</sup>	4.00 ± 1.00 <sup>ca</sup>	3.66 ± 0.57 <sup>ba</sup>	3.66 ± 0.57 <sup>ba</sup>	3.33 ± 0.57 <sup>ca</sup>
	0.1	2.00 ± 0.00 <sup>ab</sup>	3.66 ± 0.57 <sup>ba</sup>	3.66 ± 0.57 <sup>ca</sup>	3.66 ± 0.57 <sup>ba</sup>	3.66 ± 0.57 <sup>ba</sup>	3.66 ± 0.57 <sup>bcA</sup>
	0.3	2.00 ± 0.00 <sup>ac</sup>	5.33 ± 0.57 <sup>ab</sup>	6.33 ± 0.57 <sup>ba</sup>	4.33 ± 0.57 <sup>bb</sup>	4.33 ± 0.57 <sup>ab</sup>	4.33 ± 0.57 <sup>bb</sup>
	0.5	2.00 ± 0.00 <sup>ac</sup>	5.33 ± 0.57 <sup>ab</sup>	7.66 ± 0.57 <sup>aA</sup>	5.33 ± 0.57 <sup>ab</sup>	4.33 ± 0.57 <sup>ab</sup>	5.33 ± 0.57 <sup>ab</sup>

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง และตัวอักษร A, B, C,... ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

\* หมายถึง ตัวอย่างน้ำนมวัวพาสเจอร์ไรส์ที่ปราศจากการเติมสิ่งต่างๆ (ตัวอย่างควบคุม)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS) ของน้ำนมรำข้าว (ตารางที่ 4.5) ที่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้นจะมีค่าอยู่ในช่วง  $3.66 \pm 0.57^{\circ}\text{Brix}$  ถึง  $7.66 \pm 0.57^{\circ}\text{Brix}$  กับค่าสูงสุด ( $7.66 \pm 0.57^{\circ}\text{Brix}$ ) เมื่อเติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ( $p < 0.05$ ) อย่างไรก็ตามปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำที่ได้จากการวิเคราะห์นี้อาจได้มาจากอนุภาคของรำข้าวและไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมลงไป ในน้ำนมรำข้าวมากกว่าจะเป็นปริมาณของน้ำตาลในตัวอย่างน้ำนมรำข้าว เนื่องจากน้ำนมรำข้าวที่นำมาตรวจวิเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพเป็นกลิ่นรสธรรมชาติไม่มีการเติมน้ำตาลลงไป

สมบัติด้านความหนืดของผลิตภัณฑ์อาหารเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการบริโภค การยอมรับและเนื้อสัมผัสของของไหล เช่น เครื่องดื่ม (Yu, Ahmedna, and Goktepe, 2007) น้ำนมรำข้าวเป็นอิมัลชันที่มีลักษณะทางกายภาพและความหนืดที่น่าสนใจ ดังนั้นจึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน ตารางที่ 4.6 แสดงผลการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อค่าความหนืดของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวพบว่ามีความเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างน้ำนมรำข้าวชุดควบคุม ค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวสูงสุด ( $696.46 \pm 14.60\text{cP}$ ) เมื่อมีการเติมแซนแทนกัมที่ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน นอกจากนี้ค่าความหนืดของน้ำนมรำข้าวที่พบอยู่ในช่วง  $3.66 \pm 0.03\text{cP}$  ถึง  $696.46 \pm 14.60\text{cP}$  ซึ่งมีค่าสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างชุดควบคุม ( $3.12 \pm 0.02\text{cP}$ ) การเพิ่มขึ้นของความหนืดในน้ำนมรำข้าวตัวอย่างขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมลงไป อย่างไรก็ตามกั๊วรั้วกั๊วและแซนแทนกัมให้ค่าความหนืดในน้ำนมรำข้าวที่สูงมากเมื่อมีการเติมลงไป ในน้ำนมรำข้าวที่ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขึ้นไป Kolniak, Oszmianski, and Wojdylo (2013) กล่าวว่า การเพิ่มขึ้นของความหนืดในตัวอย่างการทดลองสามารถเกิดจากการมีปฏิสัมพันธ์ของอนุภาคขนาดใหญ่ของไฮโดรคอลลอยด์ต่ออนุภาคของสิ่งอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการศึกษาครั้งนี้เป็นไปได้ที่จะเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมลงไปกับอนุภาคของสตาร์ชในรำข้าว องค์ประกอบอื่นๆ และตัวอย่างรำข้าวเริ่มต้นเอง นอกจากนี้ข้อมูลนี้สำหรับการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์มีอิทธิพลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดในเครื่องดื่มเช่นเดียวกัน ซึ่งรายงานโดย Faccin et al. (2009) กับตัวอย่างเครื่องดื่มรำข้าวอินทรีย์ทั่วไป (อุณหภูมิค่า ความหนืดเพิ่มขึ้น) ขณะที่ผลการศึกษาของ Ahmadian, Varidi, Varidi, and Pourazarang (2014) กับตัวอย่างน้ำนมงา (Sesame milk) พบว่า การนำไปแช่ในน้ำที่ประกอบด้วยสารละลายเกลือ  $\text{NaHCO}_3$  สามารถทำให้ค่าความหนืดของน้ำนมงามีค่าเพิ่มขึ้นและมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำด้วย เนื่องจากการละลายของโปรตีนในงาโดยสารละลายดังกล่าว อย่างไรก็ตามการกระจายของไฮโดรคอลลอยด์ที่มากกว่าร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขึ้นไป ส่งผลให้มีความ

ชนิดที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน และอาจส่งผลต่อความคงตัวที่แตกต่างกันในระบบอิมัลชันได้อีกด้วย (Huang et al., 2001) ดังนั้นการศึกษาในส่วนนี้จะให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการกระจายตัวของอนุภาคและความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันมร่าข้าวที่มีการศึกษาในการวิเคราะห์ตรวจสอบต่อไป

ตารางที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำนมวัวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้นเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

		ความหนืด (cP)					
วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ (น้ำหนัก/ปริมาตร)	ไฮโดรคอลลอยด์					
		ชุดควบคุม	กัวร์กัม	แซนแทนกัม	โลคัสبینกัม	เพกทิน	คาร์ราจีแนน
0	0	3.12 ± 0.02 <sup>aA</sup>	3.12 ± 0.02 <sup>aA</sup>	3.12 ± 0.02 <sup>dA</sup>	3.12 ± 0.02 <sup>aA</sup>	3.12 ± 0.02 <sup>dA</sup>	3.12 ± 0.02 <sup>aA</sup>
	0.05	3.12 ± 0.02 <sup>aF</sup>	8.11 ± 0.04 <sup>dA</sup>	7.76 ± 0.10 <sup>dB</sup>	4.19 ± 0.02 <sup>dD</sup>	3.66 ± 0.03 <sup>dE</sup>	4.75 ± 0.04 <sup>dC</sup>
	0.1	3.12 ± 0.02 <sup>aF</sup>	14.60 ± 0.45 <sup>CB</sup>	26.36 ± 0.63 <sup>aA</sup>	5.71 ± 0.02 <sup>cDE</sup>	4.66 ± 0.03 <sup>cE</sup>	6.16 ± 0.06 <sup>cC</sup>
	0.3	3.12 ± 0.02 <sup>aF</sup>	44.90 ± 0.40 <sup>BB</sup>	438.43 ± 2.81 <sup>bA</sup>	18.16 ± 0.60 <sup>bC</sup>	8.27 ± 0.50 <sup>bE</sup>	14.80 ± 0.79 <sup>bD</sup>
	0.5	3.12 ± 0.02 <sup>aF</sup>	221.57 ± 2.63 <sup>BB</sup>	674.70 ± 6.50 <sup>aA</sup>	77.23 ± 0.96 <sup>aC</sup>	12.33 ± 0.47 <sup>aE</sup>	26.35 ± 0.49 <sup>aD</sup>
3	0	3.17 ± 0.08 <sup>aA</sup>	3.17 ± 0.08 <sup>aA</sup>	3.17 ± 0.08 <sup>aA</sup>	3.17 ± 0.08 <sup>aA</sup>	3.17 ± 0.08 <sup>aA</sup>	3.17 ± 0.08 <sup>aA</sup>
	0.05	3.17 ± 0.08 <sup>aE</sup>	8.21 ± 0.02 <sup>dA</sup>	8.15 ± 0.09 <sup>dA</sup>	4.29 ± 0.01 <sup>dC</sup>	3.93 ± 0.07 <sup>dD</sup>	5.00 ± 0.09 <sup>dB</sup>
	0.1	3.17 ± 0.08 <sup>aF</sup>	16.06 ± 0.14 <sup>CB</sup>	28.78 ± 0.24 <sup>aA</sup>	5.82 ± 0.01 <sup>CD</sup>	4.91 ± 0.08 <sup>cE</sup>	6.94 ± 0.08 <sup>cC</sup>
	0.3	3.17 ± 0.08 <sup>aE</sup>	47.55 ± 1.15 <sup>BB</sup>	447.45 ± 3.40 <sup>bA</sup>	19.27 ± 0.17 <sup>bC</sup>	9.69 ± 0.25 <sup>bD</sup>	17.10 ± 0.58 <sup>bC</sup>
	0.5	3.17 ± 0.08 <sup>aF</sup>	226.65 ± 1.70 <sup>BB</sup>	686.38 ± 2.56 <sup>aA</sup>	79.70 ± 0.34 <sup>aC</sup>	13.14 ± 0.06 <sup>aE</sup>	26.85 ± 0.19 <sup>aD</sup>

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

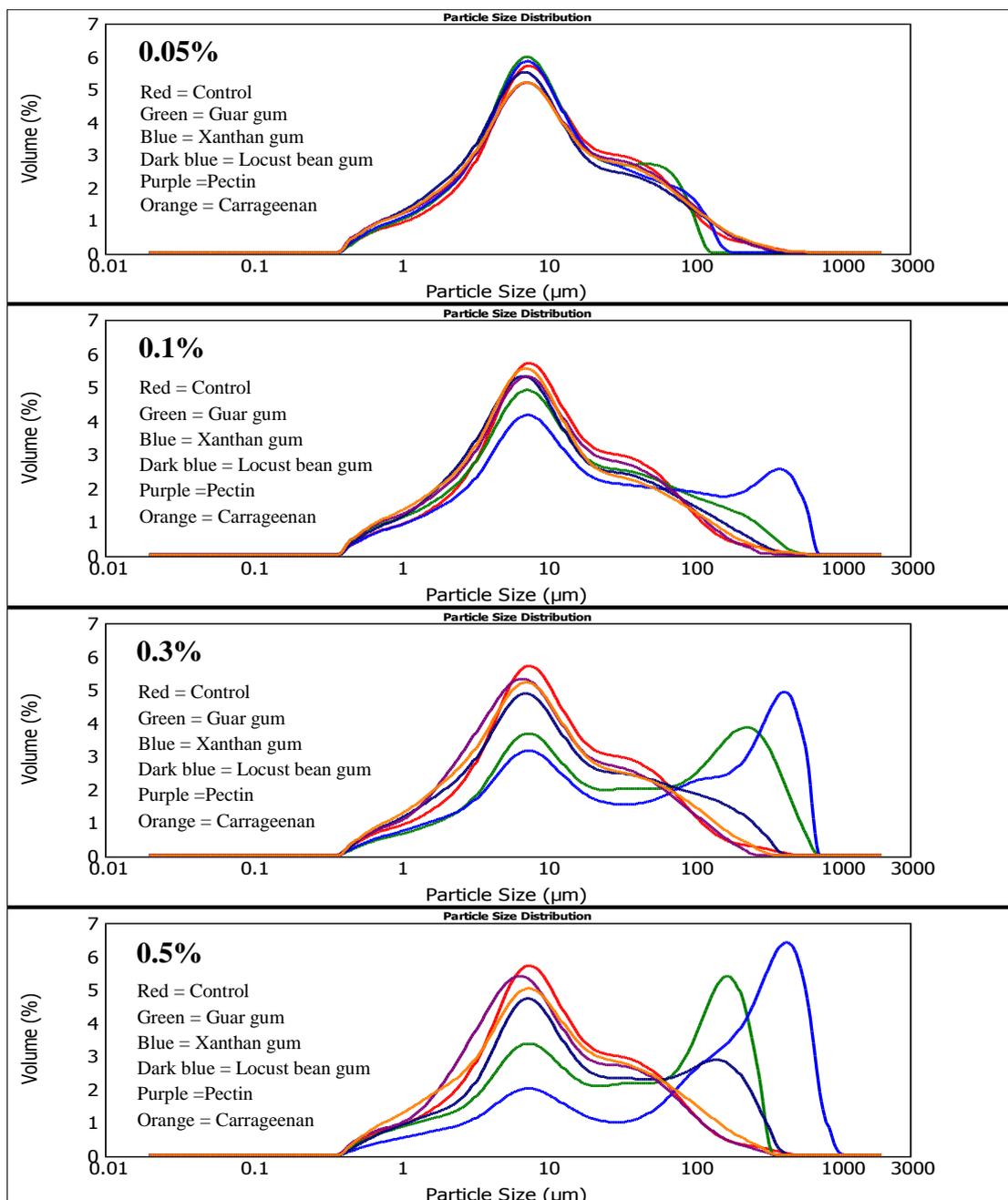
วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ไฮโดรคอลลอยด์ (น้ำหนัก/ปริมาตร)	ความหนืด (cP)					
		ไฮโดรคอลลอยด์					
		ชุดควบคุม	กั้วร์กัม	แซนแทนกัม	โลคัสปีนกัม	เพกทิน	คาร์ราจีแนน
5	0	3.21 ± 0.03 <sup>aA</sup>	3.21 ± 0.03 <sup>eA</sup>	3.21 ± 0.03 <sup>dA</sup>	3.21 ± 0.03 <sup>eA</sup>	3.21 ± 0.03 <sup>eA</sup>	3.21 ± 0.03 <sup>eA</sup>
	0.05	3.21 ± 0.03 <sup>aF</sup>	8.31 ± 0.05 <sup>dB</sup>	8.77 ± 0.14 <sup>dA</sup>	4.41 ± 0.02 <sup>dD</sup>	4.13 ± 0.06 <sup>dE</sup>	5.23 ± 0.04 <sup>dC</sup>
	0.1	3.21 ± 0.03 <sup>aF</sup>	16.92 ± 0.04 <sup>CB</sup>	30.38 ± 0.24 <sup>CA</sup>	5.90 ± 0.00 <sup>CD</sup>	5.23 ± 0.05 <sup>CE</sup>	7.13 ± 0.05 <sup>CC</sup>
	0.3	3.21 ± 0.03 <sup>aE</sup>	49.28 ± 0.76 <sup>BB</sup>	463.42 ± 9.58 <sup>BA</sup>	21.05 ± 0.45 <sup>BC</sup>	10.73 ± 0.43 <sup>BD</sup>	18.00 ± 0.26 <sup>BC</sup>
	0.5	3.21 ± 0.03 <sup>aF</sup>	233.79 ± 2.33 <sup>AB</sup>	695.84 ± 1.64 <sup>AA</sup>	83.02 ± 1.37 <sup>AC</sup>	13.94 ± 0.10 <sup>AE</sup>	27.68 ± 0.15 <sup>AD</sup>
7	0	3.27 ± 0.96 <sup>aA</sup>	3.27 ± 0.96 <sup>eA</sup>	3.27 ± 0.96 <sup>dA</sup>	3.27 ± 0.96 <sup>eA</sup>	3.27 ± 0.96 <sup>eA</sup>	3.27 ± 0.96 <sup>eA</sup>
	0.05	3.27 ± 0.96 <sup>aF</sup>	8.39 ± 0.02 <sup>dB</sup>	9.22 ± 0.03 <sup>dA</sup>	4.50 ± 0.02 <sup>dD</sup>	4.23 ± 0.05 <sup>dE</sup>	5.30 ± 0.01 <sup>dC</sup>
	0.1	3.27 ± 0.96 <sup>aF</sup>	17.09 ± 0.02 <sup>CB</sup>	31.07 ± 0.26 <sup>CA</sup>	5.85 ± 0.20 <sup>CD</sup>	5.35 ± 0.03 <sup>CE</sup>	7.27 ± 0.04 <sup>CC</sup>
	0.3	3.27 ± 0.96 <sup>aF</sup>	50.20 ± 0.04 <sup>BB</sup>	472.87 ± 1.95 <sup>BA</sup>	21.74 ± 0.06 <sup>BC</sup>	11.45 ± 0.10 <sup>BE</sup>	18.27 ± 0.03 <sup>BD</sup>
	0.5	3.27 ± 0.96 <sup>aF</sup>	237.38 ± 1.34 <sup>AB</sup>	696.46 ± 14.60 <sup>AA</sup>	85.21 ± 0.27 <sup>AC</sup>	14.12 ± 0.03 <sup>AE</sup>	27.97 ± 0.04 <sup>AD</sup>

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตัวอักษร a, b, c,... ที่แตกต่างกันในแนวตั้งของแต่ละวัน และตัวอักษร A, B, C,... ที่แตกต่างกันในแนวนอนของแต่ละวัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.2.2 ผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

น้ำนมรำข้าวที่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้นถูกตรวจวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคโดยใช้เครื่องตรวจวิเคราะห์ Particle size analyzer และรายงานผลการกระจายตัวของอนุภาคโดยอ่านจากค่าเฉลี่ย  $D_{(4,3)}$  ของการทดลอง ผลการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำนมรำข้าวแสดงดังภาพที่ 4.5 ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคและการกระจายตัวเมื่อมีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ลงไป ในน้ำนมรำข้าวพบว่า มีขนาดของอนุภาคตั้งแต่ 0.1 ถึง 1,000 ไมโครเมตรกระจายตัวอยู่ ซึ่งขนาดอนุภาคเหล่านี้ อาจได้แก่ พอลิแซ็กคาไรด์ และเซลลูโลสที่ไม่ละลายน้ำของตัวอย่างรำข้าวเริ่มต้นและไฮโดรคอลลอยด์ (Keshtkaran, Mohammadifar, Asadi, Nejad, and Balaghi, 2013) การเติมไฮโดรคอลลอยด์ที่มีความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขึ้นไป โดยเฉพาะกัวร์กัม และแซนแทนกัม จะมีอิทธิพลต่อความแปรปรวนของการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำนมรำข้าวอย่างชัดเจน (ภาพที่ 4.5) Huang, Kakuda, and Cui (2001) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในระบบบัลติมัลชันของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของกัมที่ต่างชนิดกัน (แซนแทนกัม เมทิลเซลลูโลส กัมอะราบิก เพกทิน กัวร์กัม คาร์ราจีแนน และ fenugreek) ส่งผลต่อค่าการกระจายตัวของอนุภาคเพิ่มขึ้นในตัวอย่างอาหาร โดยเฉพาะเครื่องดื่ม ดังนั้น การเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ในน้ำนมรำข้าวจึงส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคด้วยเช่นกัน ขนาดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่เป็นสาเหตุและปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดความคงตัวที่ลดลงของน้ำนมรำข้าว อย่างไรก็ตามการกระจายตัวของขนาดอนุภาคที่มีขนาดเล็กสามารถช่วยอธิบายถึงความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวได้ อ้างถึงการรายงานของ Durand, Franks, and Hosken (2003) ศึกษาเกี่ยวกับขนาด การกระจายตัวของอนุภาค และความคงตัวของน้ำนมวัวยูเอชที และน้ำนมจากธัญพืช กล่าวว่า อนุภาคขนาดเล็กมีแนวโน้มที่จะเป็นอนุภาคของไขมันในระบบของเครื่องคีมัลชัน ในทางกลับกัน อนุภาคขนาดใหญ่มีแนวโน้มที่จะเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ สตาร์ช เส้นใย และสารประกอบเซลลูโลสอื่นๆ ถึงแม้ว่าตัวอย่างน้ำนมรำข้าวจะผ่านกระบวนการลดขนาดของอนุภาคและการทำคอลลอยด์ รวมถึงกระบวนการกรองแล้ว แต่ผลการทดลองสามารถบ่งชี้ได้ว่ายังคงมีอนุภาคของรำข้าวหลงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวเนื่องจากการแยกชั้นระหว่างส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลวหรือการเกิดตะกอนลงข้างล่างจากการศึกษาความคงตัวของน้ำนมรำข้าวก่อนหน้านี้



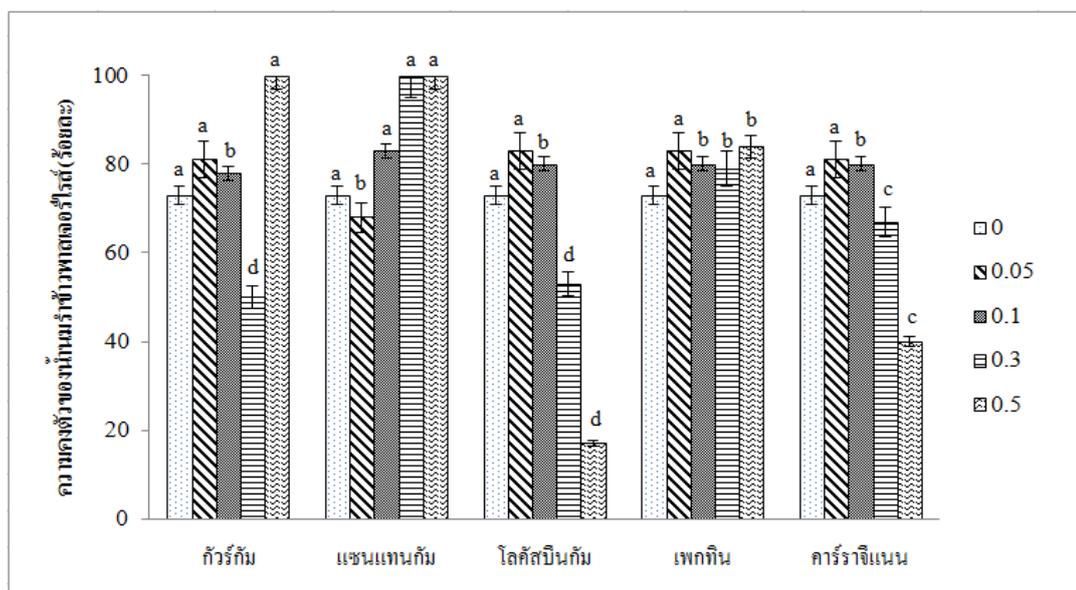
ภาพที่ 4.5 การกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิดและต่างความเข้มข้น

#### 4.2.3 ผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของนํ้านมร่าข้าวพาสเจอร์ไรส์

ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มต่างๆ โดยเฉพาะกลุ่มอิมัลชันจะมีองค์ประกอบในแต่ละส่วนที่แตกต่างกันภายในผลิตภัณฑ์นั้นๆ (McClements, 2005) นํ้านมร่าข้าวจัดว่าเป็นเครื่องดื่มที่มีลักษณะเป็นอิมัลชันที่มีลักษณะทางกายภาพและความหนืด ซึ่งส่งผลความคงตัวของผลิตภัณฑ์ Piorkowski and McClements (2014); Friberg, Larsson, and Sjoblom (2004); McClements (2005); and Dickinson (1992) กล่าวว่า แนวโน้มของการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มต่อความคงตัวในระบบอาจถูกทำลายลงเมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากมีความหลากหลายของกลไกทางเคมีกายภาพ รวมทั้งการแยกชั้น การตกตะกอน และการเกาะยึดติดกันขององค์ประกอบในเครื่องดื่ม กลไกทั้งหมดของความไม่คงตัวเหล่านี้นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของส่วนประกอบต่างๆ ภายในเครื่องดื่มอีกด้วย อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีขององค์ประกอบสามารถส่งผลไปสู่การเปลี่ยนแปลงในความคงตัวทางกายภาพได้เช่นกัน (Piorkowski and McClements, 2014) เนื่องจากร่าข้าวเริ่มต้นมีขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างใหญ่จึงส่งผลกระทบต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์สุดท้าย ความคงตัวของนํ้านมร่าข้าวเมื่อวัดโดยเทคนิคการจัดเรียงตัวแล้วตกตะกอน (Coagulation technique) พบว่า ที่การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ตัวอย่างนํ้านมร่าข้าวที่มีการเติมแซนแทนกัม และกัวร์กัม ให้ความคงตัวของผลิตภัณฑ์สูงสุด (ไม่พบการแยกชั้น) เมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.6 การประยุกต์ใช้แซนแทนกัมตั้งแต่ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขึ้นไปจะให้ความคงตัวผลิตภัณฑ์ที่ดี ในขณะที่กัวร์กัมต้องใช้ถึงร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร การเพิ่มปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์มีอิทธิพลต่อความคงตัวของนํ้านมร่าข้าว เป็นที่น่าสนใจเนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดให้ค่าความหนืดที่สูง (ตารางที่ 4.6) กับผลิตภัณฑ์นํ้านมร่าข้าว ซึ่งทำให้องค์ประกอบต่างๆ ในนํ้านมร่าข้าวที่เป็นคอลลอยด์สามารถแขวนลอยอยู่ได้และไม่เกิดการแยกชั้นเมื่อเวลาผ่านไปของการเก็บรักษา Laurent and Boulengue (2003) รายงานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเพกทินในกลุ่มของผลิตภัณฑ์นม จะนำไปสู่กลไกที่ช่วยป้องกันการเกิดตะกอนของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว โดยเฉพาะกลุ่มผลิตภัณฑ์นมที่มีค่า pH ระหว่าง 5.5-5.8 เนื่องจากเพกทินจะไปสร้างโครงสร้างและจับกับอนุภาคของ โปรตีนในนํ้านมให้เกิดการแขวนลอยในนํ้านม

แม้ว่าผลของความคงตัวจะแสดงสูงสุดที่การเติมกัวร์กัมร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และแซนแทนกัมตั้งแต่ร้อยละ 0.3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ขึ้นไป ในทางกลับกันสมบัติทางกายภาพ และเคมีของนํ้านมร่าข้าวที่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ เช่น ความหนืด พบว่าไม่มีความเหมาะสม เนื่องจากมีความหนืดที่สูงเกินกว่าจะนำไปเป็นเครื่องดื่มได้ (ตารางที่ 4.6) โดยค่า

ความหนืดของเครื่องดัดผมอยู่ในช่วงไม่เกิน 130cP ซึ่งรายงานไว้โดย Prieke et al. (1980) ดังนั้นการเติมไฮโดรคอลลอยด์ที่ความเข้มข้นร้อยละที่ต่ำลงมา (ร้อยละ 0.1) จึงได้รับการพิจารณาคัดเลือก



ภาพที่ 4.6 ความคงตัว (ร้อยละ) ของน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ต่างชนิด และต่างความเข้มข้น เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

จากภาพที่ 4.6 แชนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้ผลความคงตัวมากกว่าร้อยละ 80 ในน้ำมันรำข้าวเมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นและตัวอย่างชุดควบคุมที่ความเข้มข้นเดียวกัน นอกจากนี้แสดงช่วงของความหนืดไม่สูงเกินไป ( $26.36 \pm 0.6\text{cP}$  ถึง  $31.07 \pm 0.26\text{cP}$ ) หลังจากเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน (4 องศาเซลเซียส) อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องดัดผมตัวอย่างทางการค้า น้ำมันรำข้าวที่เติมแชนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ยังคงมีค่าความหนืดที่สูงกว่าน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้า ( $9.85 \pm 0.07\text{cP}$ ) ถึงแม้ว่ากัวร์กัม โลคัสบีนกัม เพกทิน และคาร์ราจีแนนที่ความเข้มข้น 0.05 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะแสดงความคงตัวมากกว่าร้อยละ 80 ก็ตาม แต่การละลายของไฮโดรคอลลอยด์เหล่านี้ในน้ำมันรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ค่อนข้างละลายยากเมื่อเปรียบเทียบกับ การละลายของแชนแทนกัมในตัวอย่างน้ำมันรำข้าว การศึกษาเบื้องต้นกับตัวอย่างเครื่องดัดผมที่มีความใกล้เคียงกับน้ำมันรำข้าวคือ เครื่องดัดผมที่ทำจากถั่วเหลืองโดยมีการปรับ / เติมแต่งในสูตรการผลิตของ Potter et al. (2007) รายงานค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง  $4.25 \pm 0.31$  ถึง  $10.33 \pm 0.75$  ( $\text{mm}^2/\text{s(cSt)}$ ) และ เครื่องดัดผมน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำแครอทมีความหนืดอยู่ในช่วง  $19.70 \pm 0.10\text{cP}$  ถึง  $21.06 \pm 0.56\text{cP}$  (สุรีย์ แก้วเที่ยง, 2552) อย่างไรก็ตามผล

การทดลองของการศึกษาในน้ำนมรำข้าวครั้งนี้สอดคล้องกับการทดลองข้างต้นกับสมบัติด้านความหนืด การกระจายตัวของอนุภาค การเปรียบเทียบผลที่ได้พบว่าไม่เฉพาะแค่ความหนืดที่เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความคงตัวของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม แต่ความหนืดสามารถทำให้การกระจายตัวของอนุภาคเป็นผลในด้านดีต่อความคงตัวของน้ำนมรำข้าวเพิ่มขึ้น (Faccin et al., 2009)

เพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวและปรับปรุงสมบัติด้านต่างๆ ให้ใกล้เคียงกับตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบมากที่สุด การศึกษาโดยใช้การลดขนาดของอนุภาครำข้าวด้วยวิธีการอื่นๆ จึงนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ โดยใช้สารทางชีวภาพเอนไซม์ในกลุ่มของอะไมเลสและเซลลูเลสช่วยย่อยและลดขนาดของอนุภาครำข้าวรวมถึงองค์ประกอบของสตาร์ชในรำข้าวต่อไป ผลการทดลองได้อธิบายไว้ในหัวข้อผลการทดลองของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติต่างๆ ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ของการศึกษาขั้นต่อไปแล้ว

### 4.3 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

#### 4.3.1 ผลของเอนไซม์ผสมต่อสมบัติทางเคมี และกายภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติทางเคมีของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์แสดงดังตารางที่ 4.7 ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ของเอนไซม์ที่ใช้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับค่า pH ของน้ำนมรำข้าวเมื่อเปรียบเทียบกับชุดตัวอย่างควบคุม และที่ความเข้มข้นของเอนไซม์ผสมต่างกัน ( $p < 0.05$ ) ค่า pH ของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวอยู่ในช่วง  $5.95 \pm 0.03$  ถึง  $6.03 \pm 0.01$  และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างชุดควบคุม ( $6.66 \pm 0.03$ ) ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้ามีค่า pH เท่ากับ  $6.99 \pm 0.02$

นอกจากนี้ผลการใช้เอนไซม์ผสมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (TSS) ด้วยเช่นกัน ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำของน้ำนมรำข้าวมีความแตกต่างกับตัวอย่างชุดควบคุม ( $2.00 \pm 0.00$ ) ( $p < 0.05$ ) ตลอดจนน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ( $11.7 \pm 0.58$ ) แม้ว่าน้ำนมรำข้าวไม่มีการเติมน้ำตาล แต่ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าที่ได้จากการทดลองอาจมาจากองค์ประกอบแซคคาไรค์ในน้ำนมรำข้าวที่ถูกย่อยโดยเอนไซม์จนมีขนาดโมเลกุลที่เล็กลงเป็นสารจำพวกโมโนแซคคาไรค์มากกว่าการเติมน้ำตาลในผลิตภัณฑ์ สตาร์ชเป็นส่วนประกอบที่มีมากที่สุดและเป็นแหล่งสำคัญสารองชนิดพอลิแซคคาไรค์ในธัญพืช ในระดับโมเลกุลองค์ประกอบที่สำคัญของอะไมโลสและอะไมโลเพกทินคือน้ำตาลกลูโคส หลังจากการย่อยของเอนไซม์กับสตาร์ชในน้ำนมรำข้าวจะให้โมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำคือ  $\alpha$ -dextrins มากกว่าการย่อยที่

ตำแหน่งพันธะ  $\alpha$ -(1,4) พอลิเมอร์สตาร์ช (Goesaert, Courtin, and Delcour, 2008) นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบของผนังเซลล์พืช เช่น เส้นใย (เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ) ที่ยังประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสอยู่บนพื้นฐานของโครงสร้างทางเคมีด้วย ดังนั้นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในน้ำนมรำข้าวที่เพิ่มขึ้นเป็นไปได้จากการย่อยกลุ่มของโมโนแซคคาไรด์ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์

ความหนืดเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม (Yu et al., 2007) ซึ่งเป็นที่น่าสนใจต่อผู้บริโภค ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติด้านความหนืดของน้ำนมรำข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 7 วัน แสดงดังตารางที่ 4.7 จากผลการทดลองพบว่าค่าความหนืดของน้ำนมรำข้าวที่มีการใช้เอนไซม์มีค่าอยู่ในช่วง  $3.04 \pm 1.01\text{cP}$  (วันที่ 0) ถึง  $3.12 \pm 1.25\text{cP}$  (วันที่ 7) ขณะที่ตัวอย่างควบคุมมีค่าในช่วง  $3.12 \pm 1.42\text{cP}$  (วันที่ 0) และ  $3.27 \pm 1.84\text{cP}$  (วันที่ 7) ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4.7 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อสมบัติทางเคมีของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ความเข้มข้นของ เอนไซม์ผสม (ยูนิต) <sup>*</sup>	pH	ปริมาณของแข็งที่ ละลายน้ำ ( <sup>o</sup> Brix)	ความหนืด (cP)	
			วันที่ 0	วันที่ 7
0 <sup>**</sup>	$6.66 \pm 0.03^a$	$2.00 \pm 0.00^d$	$3.12 \pm 1.42^a$	$3.27 \pm 1.84^a$
50	$5.95 \pm 0.03^c$	$3.66 \pm 0.57^c$	$3.04 \pm 1.01^c$	$3.10 \pm 0.98^d$
100	$6.03 \pm 0.01^b$	$4.00 \pm 0.00^b$	$3.05 \pm 1.43^d$	$3.11 \pm 1.13^c$
300	$5.98 \pm 0.00^d$	$4.00 \pm 0.00^b$	$3.07 \pm 1.60^c$	$3.11 \pm 1.12^c$
500	$6.01 \pm 0.02^c$	$4.33 \pm 0.57^a$	$3.09 \pm 1.67^b$	$3.12 \pm 1.25^b$

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ตัวอักษร a, b, c,...ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

<sup>\*</sup> แอลฟา-อะไมเลส + เซลลูเลส (1:1, ยูนิต/ยูนิต)

<sup>\*\*</sup> ตัวอย่างควบคุม (ไม่มีการเติมเอนไซม์ผสมลงไป)

ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้า น้ำมันรำข้าวที่มีการใช้ เอนไซม์จะให้ค่าความหนืดต่ำกว่าน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้า ( $9.87 \pm 1.05$  cP) ผลการทดลอง สามารถบ่งชี้ได้ว่าการเพิ่มขึ้นของความหนืดขึ้นอยู่กับเวลาและสถานะของการเก็บรักษา และสามารถส่งผลต่อความคงตัวของน้ำมันรำข้าวอีกด้วย เนื่องจากความหนืดที่สูงจะช่วยให้อนุภาค ขนาดใหญ่ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันรำข้าวสามารถแขวนลอยอยู่ได้ (Faccin et al., 2009)

สมบัติทางด้านสีของน้ำมันรำข้าวหลังจากผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เป็นสิ่งบ่งชี้ที่สำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากสีของผลิตภัณฑ์อาหารมีผลโดยตรงต่อการยอมรับของผู้บริโภค ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อคุณภาพสี แสดงดังตารางที่ 4.8 ลักษณะสีของน้ำมันรำข้าวพบว่าไม่มีความแตกต่างของค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ( $57.20 \pm 0.28$  ถึง  $72.22 \pm 0.01$ ) สีแดง ( $a^*$ ) ( $-1.91 \pm 0.02$  ถึง  $0.67 \pm 0.04$ ) และ สีเหลือง ( $b^*$ ) ( $8.57 \pm 0.12$  ถึง  $9.44 \pm 0.03$ ) เมื่อมีการทดลองกับความเข้มข้นของเอนไซม์ที่แตกต่างกัน ในขณะที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างชุดควบคุมและน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้า ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 4.8 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อค่าสีของน้ำมันรำข้าว พาสเจอร์ไรส์เปรียบเทียบกับน้ำมันถั่วเหลืองทางการค้า

ความเข้มข้นของเอนไซม์ผสม (ยูนิต)		$L^*$	$a^*$	$b^*$
0**		$71.68 \pm 0.20^b$	$-0.96 \pm 0.03^b$	$8.20 \pm 0.05^b$
50		$57.59 \pm 0.17^c$	$0.62 \pm 0.02^a$	$8.57 \pm 0.12^b$
100		$57.40 \pm 0.03^c$	$0.63 \pm 0.05^a$	$8.72 \pm 0.04^b$

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ความเข้มข้นของเอนไซม์ผสม (ยูนิต)		$L^*$	$a^*$	$b^*$
300		$57.20 \pm 0.28^c$	$0.58 \pm 0.03^a$	$8.63 \pm 0.12^b$
500		$56.87 \pm 0.32^c$	$0.67 \pm 0.04^a$	$8.82 \pm 0.24^b$
น้ำนมถั่วเหลืองทาง การค้า		$72.22 \pm 0.01^a$	$-1.91 \pm 0.02^c$	$9.44 \pm 0.33^a$

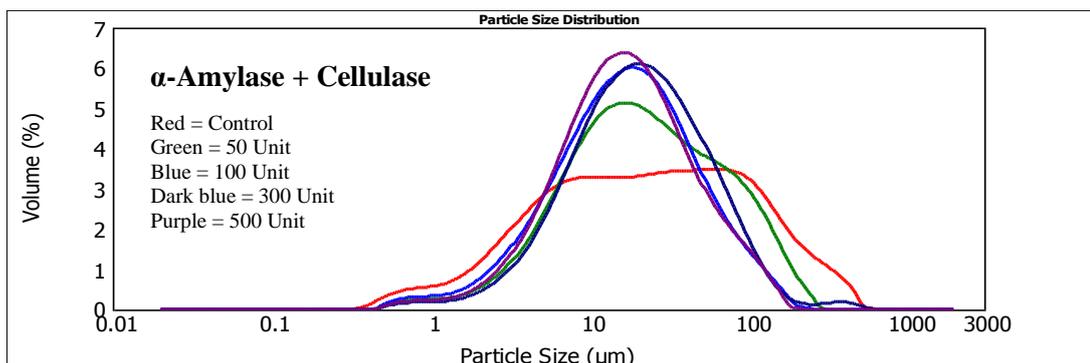
หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ  
ตัวอักษร a, b, c,...ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมี  
นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95  
\*\* หมายถึง ตัวอย่างควบคุม (ไม่มีการเติมสิ่งใดๆลงไป)

เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมรำข้าวชุดควบคุมกับน้ำนมรำข้าวจากการใช้เอนไซม์แสดงให้เห็น  
ถึงการลดลงของค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ( $p < 0.05$ ) ขณะที่น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าให้ค่าความสว่างของ  
ผลิตภัณฑ์สูงที่สุด ( $72.22 \pm 0.01$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างการทดลองอื่น ( $p < 0.05$ ) ความเข้มข้น  
ของเอนไซม์ผสมที่เพิ่มขึ้นหลังเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา  
2 ชั่วโมง ส่งผลให้ความสว่างของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ปรากฏการณ์นี้อาจ  
สามารถอธิบายได้จากการเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Non enzymatic browning reaction) หรือ  
ปฏิกิริยามอลดาร์ด ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugar) กับกรดอะมิโนโปรตีน หรือ  
สารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา (นิธิยา และ พิมพ์เพ็ญ, 2553; และ Perez  
and Yaylayan, 2010) เนื่องจากองค์ประกอบจำพวกกลุ่มคาร์โบไฮเดรตในน้ำนมรำข้าวเมื่อถูก

เอนไซม์ย่อยจะให้ผลิตภัณฑ์ใหม่เป็นสารโมเลกุลที่มีน้ำหนักเล็กลงจำพวกน้ำตาลโมเลกุลคู่หรือโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งหน่วยเล็กที่สุดคือน้ำตาลกลูโคสที่มีบทบาทเป็นน้ำตาลรีดิวส์ได้จากการเกิดปฏิกิริยาบวกกับกรดอะมิโนโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำนมร่ำข้าว และมีการบ่มน้ำนมร่ำข้าวสำหรับเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของการทดลอง ดังนั้นค่าความสว่างที่ลดลงของผลิตภัณฑ์อาจเกิดจากปัจจัยดังกล่าว ขณะที่ค่า  $a^*$  เป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงระหว่างสีแดงและสีเขียวของตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากการใช้เอนไซม์ในน้ำนมร่ำข้าวแต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างชุดควบคุม ( $-0.96 \pm 0.03$ ) และน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ( $-1.91 \pm 0.02$ ) ( $p < 0.05$ ) ผลที่ได้บ่งชี้ว่าการใช้เอนไซม์มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าสีแดงของผลิตภัณฑ์น้ำนมร่ำข้าว ในขณะที่ค่า  $b^*$  เป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงระหว่างสีเหลืองและสีฟ้า ตัวอย่างที่มีการใช้เอนไซม์พบว่าไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างชุดควบคุม ( $8.20 \pm 0.05$ ) ( $p > 0.05$ ) แต่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ( $9.44 \pm 0.33$ ) ( $p < 0.05$ )

#### 4.3.2 ผลของเอนไซม์ผสมต่อการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์

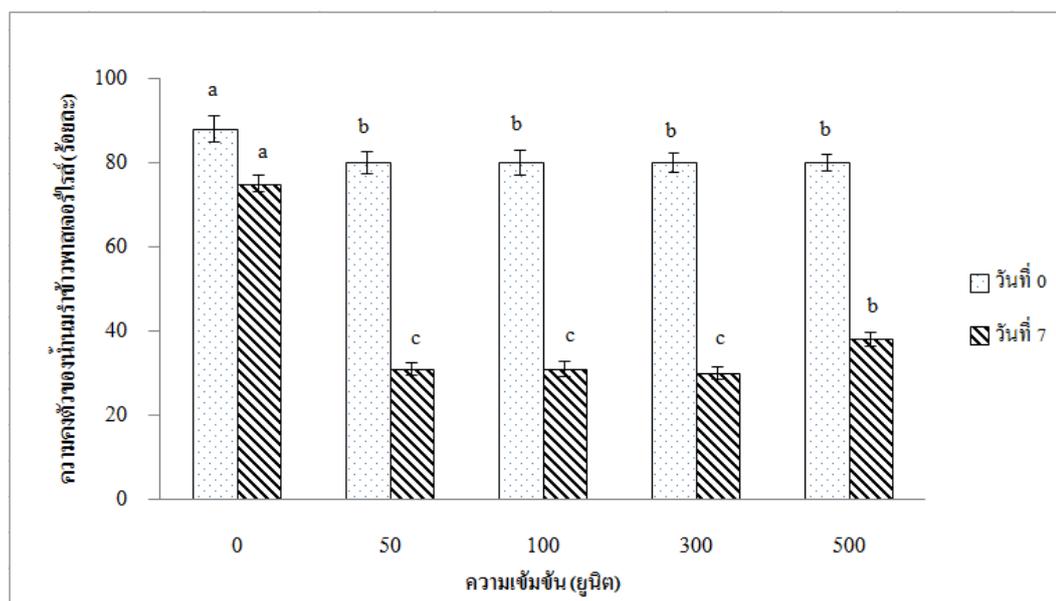
ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์สำหรับการใช้เอนไซม์ที่ความเข้มข้น 0, 50, 100, 300 และ 500 ยูนิตของเอนไซม์ผสม แสดงดังภาพที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของการกระจายตัวของอนุภาคอยู่ที่ 25.64 ถึง 51.48 ไมโครเมตร ในขณะที่ตัวอย่างชุดควบคุมอยู่ที่ 0.1 ถึง 1,000 ไมโครเมตร เนื่องจากน้ำนมที่ได้มีลักษณะเป็นอิมัลชัน การกระจายตัวของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่ตรวจพบอาจเกิดจากการแขวนลอยของอนุภาคของโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ ไขมัน ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำนมร่ำข้าว ซึ่งเอนไซม์ในกลุ่มของอะไมเลสและเซลลูเลสไม่สามารถย่อยโมเลกุลของสารเหล่านี้ได้ ในขณะที่การใช้เอนไซม์ในน้ำนมร่ำข้าวสามารถช่วยลดขนาดของอนุภาคของร่ำข้าวและองค์ประกอบต่างๆ ในร่ำข้าวได้ เช่น พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ละลายน้ำ สตาร์ช และสารที่เป็นองค์ประกอบพวกเซลลูโลสอื่นๆ (Keshtkaran et al. 2013; and Durand et al. 2003) จึงส่งผลให้ตัวอย่างที่มีการใช้เอนไซม์แสดงการกระจายตัวของอนุภาคที่มีขนาดลดลงอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามแม้การศึกษาก่อนหน้านี้จะตระหนักถึงความคงตัวของน้ำนมร่ำข้าวที่ได้โดยการใช้สารเพิ่มความคงตัวเข้าช่วย แต่การใช้เอนไซม์เพื่อช่วยลดขนาดโมเลกุลและอนุภาคมีผลต่อความคงตัวของน้ำนมร่ำข้าวเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการแยกชั้นของตะกอน ซึ่งควรมีการศึกษาเปรียบเทียบในขั้นต่อไป



ภาพที่ 4.7 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อการกระจายตัวของอนุภาคของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

#### 4.3.3 ผลของเอนไซม์ผสมต่อความคงตัวของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างอะไมเลสกับเซลลูเลสต่อความคงตัว (ร้อยละ) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน แสดงดังภาพที่ 4.8 จากผลการทดลองพบว่าตัวอย่างชุดควบคุมมีความคงตัวสูงสุด ปริมาณการตกตะกอนจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะวันที่ 7 ของการเก็บรักษา เป็นที่น่าสนใจอย่างยิ่งที่ตัวอย่างชุดควบคุมแสดงความคงตัวได้ดีกว่าน้ำนมรำข้าวที่มีการใช้เอนไซม์ ปรากฏการณ์นี้อาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารประกอบต่างๆ ที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงความคงตัวในทางกายภาพ (McClements, 2007) กล่าวคือ องค์ประกอบต่างๆ ในน้ำนมรำข้าวหลังจากถูกย่อยด้วยเอนไซม์จะให้ขนาดอนุภาคหรือโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลง (Fraction) และมีโครงสร้างทางเคมีที่เปลี่ยนไป ส่วนที่มีขนาดเล็กเหล่านี้ของสารพวกแซ็กคาไรด์ โปรตีน ที่กระจายตัวอยู่ในน้ำนมรำข้าวจะไม่สามารถแขวนลอยอยู่ได้ในเครื่องตีระบบอิมัลชัน และนำไปสู่การแยกชั้นและตกตะกอน (McClements and Li, 2010) ขณะที่อนุภาคของไขมันสามารถนำไปสู่การแยกชั้นแบบ Sedimentation creaming ในน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ได้ (Piorkowski and McClements, 2014)

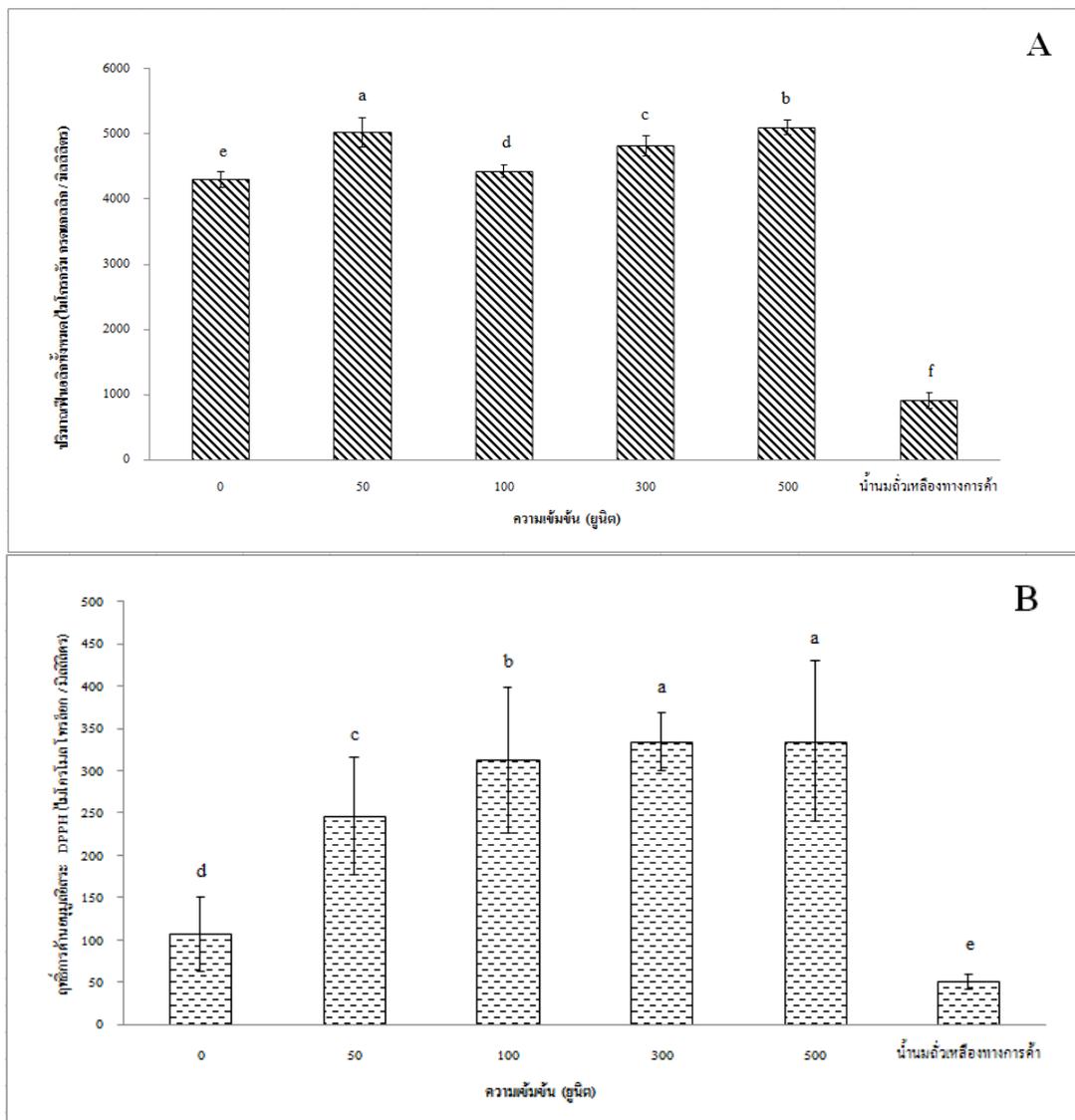


ภาพที่ 4.8 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อความคงตัว (ร้อยละ) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน

#### 4.3.4 ผลของเอนไซม์ต่อฤทธิ์ทางชีวภาพของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์

ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (A) และ ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (B) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ตรวจวิเคราะห์และรายงานผลการทดลองดังภาพที่ 4.9 ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด ตลอดจนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH มีค่าอยู่ในช่วง  $908.60 \pm 0.08$  ถึง  $5,133.33 \pm 0.01$  ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อมิลลิลิตร และ  $50.80 \pm 0.10$  ถึง  $334.44 \pm 0.01$  ไมโครโมลโทรลีสต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ในขณะที่บางการศึกษาก่อนหน้านี้ได้รายงานเกี่ยวกับปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดในตัวอย่างจำพวกธัญพืชจะมีค่าอยู่ในช่วง 1,506 ถึง 1,853 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง ซึ่งได้รายงานผลไว้โดย Ryan, Thondre, and Henry (2011) เป็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระของน้ำนมรำข้าวหลังการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์พบว่ามีความสูงกว่าน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ( $50.80 \pm 0.10$  ไมโครโมลโทรลีสต่อมิลลิลิตร) ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า ( $p < 0.05$ ) น้ำนมรำข้าวที่ได้จากการใช้เอนไซม์ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสแสดงปริมาณของฟีนอลิกทั้งหมดสูงกว่าตัวอย่างที่นำมาเปรียบเทียบ (น้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า) ตลอดจนตัวอย่างน้ำนมรำข้าวชุดควบคุม ปรากฏการณ์เหล่านี้สามารถอธิบายได้ว่าการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอนไซม์มีอิทธิพลต่อกิจกรรมการต้าน

อนุมูลอิสระของน้ำนมร่ำข้าวที่ได้จากการใช้เอนไซม์ เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของฟีนอลิกทั้งหมดเป็นสาเหตุจากปฏิกิริยาการย่อยของเอนไซม์ที่สามารถสลายพันธะโควาเลนต์ของสารอนุพันธ์กลุ่มโพลีฟีนอลที่เปลี่ยนจากโมเลกุลที่ใหญ่เป็นโมเลกุลเล็ก นอกจากนี้ทำให้เกิดการแตกตัวของไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำ เมื่อพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย สารประกอบอินทรีย์มากมาย เช่น แกรมมาออริซานอล โทโรโคฟีรอลหรือวิตามินอี กรดแกลลิก แอนโทไซยานิน และฟลาโวนอยด์ เป็นต้น (Friedman, 2013) ที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระภายในร่ำข้าวจะมีความสามารถที่ดีในการละลายในน้ำส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ละลายน้ำได้จะแสดงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มขึ้น การศึกษาครั้งนี้มีความสอดคล้องกับการวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค การเพิ่มขึ้นที่ค่อนข้างสูงของปริมาณฟีนอลิกในน้ำนมร่ำข้าวเกิดจากสาเหตุของการลดลงของขนาดอนุภาค Wanyo et al. (2014) และ Butsat and Siriamornpun (2010) รายงานว่าผลในเชิงบวกของการลดขนาดอนุภาคให้ผลลัพธ์ที่ดีมากสำหรับการสกัดกลุ่มสารฟีนอลิกที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระที่ดี เป็นผลให้การเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิกในน้ำนมร่ำข้าวที่ผ่านการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ อย่างไรก็ตามเพื่อต้องการทราบถึงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระที่แน่ชัด ดังนั้นการทดสอบกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในน้ำนมร่ำข้าวจึงนำมาตรวจวิเคราะห์เพิ่มเติม Wanyo, Meeso, and Siriamornpun (2014) รายงานถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดและปริมาณฟลาโวนอยด์ทั้งหมดในกลุ่มของแกลบและร่ำข้าวหลังจากผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์ เป็นไปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำนมร่ำข้าวที่มีการใช้เอนไซม์ ซึ่งเอนไซม์สามารถทำลายโครงสร้างผนังเซลล์ของอนุภาคร่ำข้าวจึงส่งผลให้การสกัดสารเหล่านี้ถูกปลดปล่อยออกมา และแสดงสมบัติเชิงหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Shimoni, (2004) ที่ศึกษาเกี่ยวกับความคงตัวและอายุการเก็บรักษาของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพฟลาโวนอยด์ในถั่วเหลืองและกลุ่มธัญพืชระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารและการเก็บรักษา นอกจากนี้เมื่อเซลล์ถูกทำลาย โปรตีนอาจได้รับการปลดปล่อยพร้อมกับสารฟีนอลิกซึ่งทั้งสองกลุ่มนี้สามารถเกิดการรวมตัวกันกลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ ผลกระทบเหล่านี้นำไปสู่การเพิ่มขีดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (Li, Smith, and Hossain, 2006) ซึ่งควรมีการตรวจสอบและศึกษาต่อไป



ภาพที่ 4.9 ผลของเอนไซม์ผสมระหว่างแอลฟา-อะไมเลสกับเซลลูเลสต่อปริมาณฟีนอลทั้งหมด (A) และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (B) ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

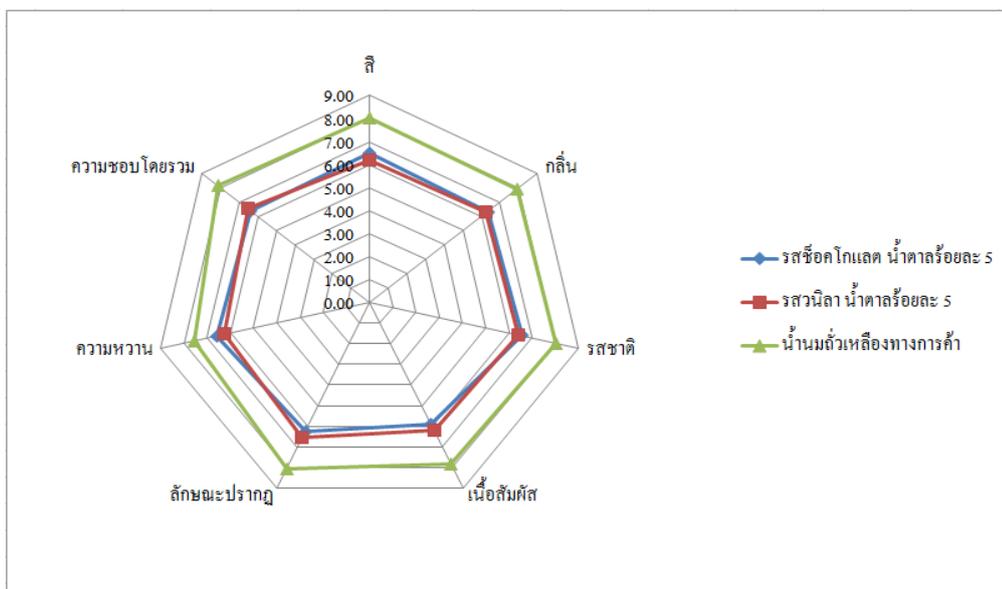
อ้างอิงผลการทดลองก่อนหน้า ตัวอย่างน้ำนมรำข้าวที่นำมาศึกษาเทียบกับตัวอย่างน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้าพบว่า การใช้สารเพิ่มความคงตัวและการใช้เอนไซม์ในการช่วยย่อยขนาดโมเลกุลและอนุภาคต่างๆ ของน้ำนมรำข้าวให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันออกไปในสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำนมรำข้าวโดยเฉพาะสมบัติทางเคมี กายภาพ และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ แม้ว่าการใช้เอนไซม์ผสมจะมีบทบาทในการเพิ่มฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำนมรำข้าวก็ตาม แต่คุณภาพ

ด้านอื่นๆ แสดงลักษณะที่ไม่พึงประสงค์ต่อผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะค่าความสว่างที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ผสม และยังพบว่ามีความคงตัวที่ต่ำเมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไป 7 วัน เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นสามารถเป็นไปได้ในเชิงการค้า การผลิตที่มีประสิทธิภาพให้ลักษณะคุณภาพที่ดีของผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งสำคัญ ตลอดจนการลดต้นทุนในการผลิต แต่ในขณะที่การใช้เอนไซม์ผสมพบว่าเป็นการเพิ่มต้นทุนที่มากขึ้น และมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ไม่พึงประสงค์เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารเพิ่มความคงตัวไฮโดรคอลลอยด์ ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฮโดรคอลลอยด์กับเอนไซม์ผสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้สารเพิ่มความคงตัวมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้เอนไซม์ผสม และปริมาณที่เหมาะสมของการทดลองครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับสมบัติด้านต่างๆ ของน้ำนมร่ำข้าว คือ การใช้สารเพิ่มความคงตัวไฮโดรคอลลอยด์ชนิดแซนแทนกัมที่ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ดังนั้นสูตรเบื้องต้นของน้ำนมร่ำข้าวอัตราส่วน 1:15 ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เมื่อพิจารณาจากสมบัติด้านเคมี กายภาพ เคมีกายภาพ ความหนืด (ความหนืดไม่เกิน 130cP สำหรับการผลิตเครื่องดื่ม) (Priek, Wei, Nelson, and Steinberg, 1980) และความคงตัวของผลิตภัณฑ์สุดท้ายแล้ว ตัวอย่างดังกล่าวจึงได้รับพิจารณาและนำมาศึกษาในขั้นต่อไป สำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ในด้านกลิ่นรสต่างๆ รวมถึงระดับความหวานของน้ำตาลที่ต่างกัน เพื่อตอบสนองความต้องการและการยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น โดยใช้เกณฑ์จากการให้คะแนนความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดจากการทดสอบลักษณะทางประสาทสัมผัสเป็นตัวเลือก สูตรน้ำนมร่ำข้าวที่ดีที่สุด เพื่อนำไปแปรรูปเป็นน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดผงพร้อมชงต่อไป

#### 4.4 การปรับปรุงกลิ่นรสของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์

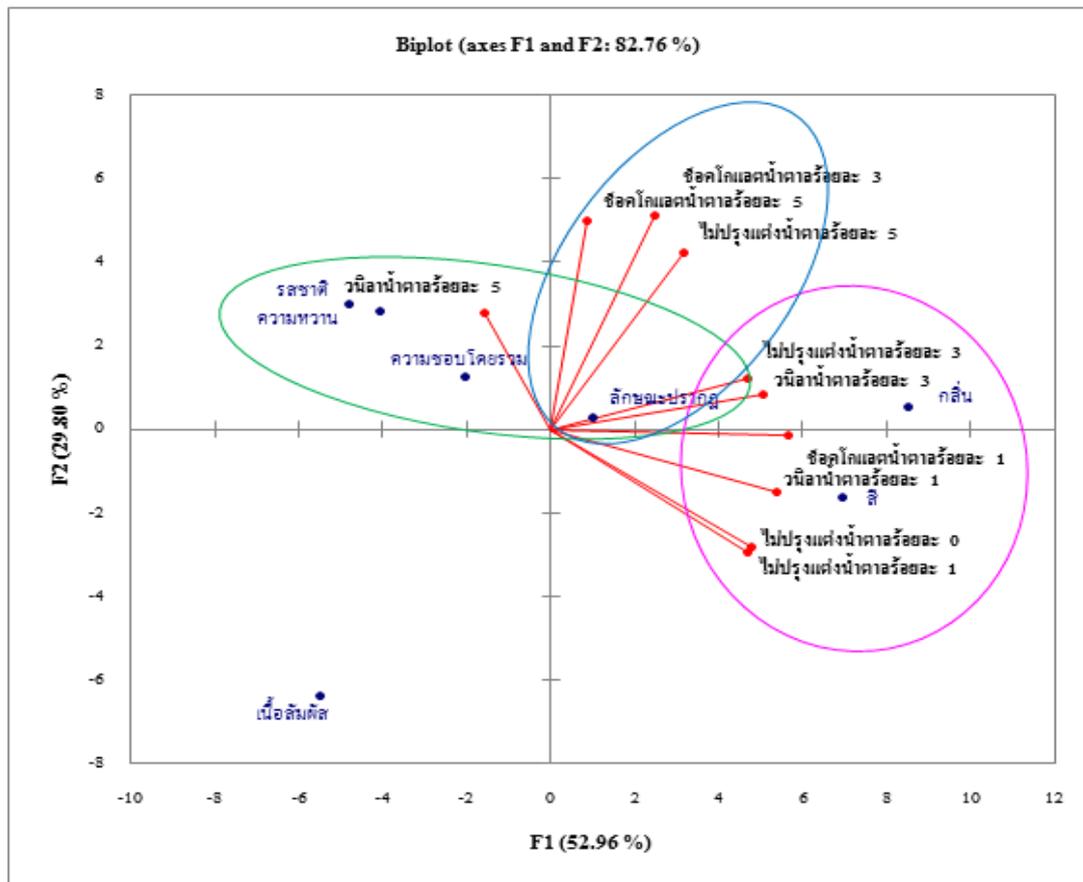
น้ำนมร่ำข้าวอัตราส่วน 1:15 ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ จากการเลือกขั้นต้น ได้รับเลือกมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ในการเติมแต่งกลิ่นรสและระดับความหวานของผลิตภัณฑ์ และประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ (สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ลักษณะปรากฏ ความหวาน และความชอบโดยรวม) โดยผลของการปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ปรุงแต่งกลิ่นรสที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะแสดงดังตารางที่ 4.9 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเปรียบเทียบน้ำนมร่ำข้าวกลิ่นรสธรรมชาติ ช็อคโกแลต และวนิลา มีคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ที่ 4.22-6.52 คะแนน ตัวอย่างชุดควบคุมมีคะแนนจากผู้ประเมินน้อยที่สุด (3.52 คะแนน) นอกจากนี้ผลการทดสอบแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับทุกๆ ลักษณะของน้ำนมร่ำข้าว

แต่ละกลิ่นรส เมื่อพิจารณาจากระดับความหวานของน้ำตาลในน้ำนมรำข้าวทั้ง 3 กลิ่นรส พบว่า น้ำนมรำข้าวกลิ่นรสช็อคโกแลตและน้ำนมรำข้าวกลิ่นรสวนิลาที่ระดับความหวานร้อยละ 5 โดย น้ำหนักต่อปริมาตร แสดงคะแนนการประเมินทางลักษณะในด้านต่างๆ ค่อนข้างสูงกว่าตัวอย่าง น้ำนมรำข้าวอื่น ตลอดจนเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า แม้ว่าน้ำนมรำข้าวกลิ่นรส วานิลาที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะมีคะแนนการชอบโดยรวม ของผลิตภัณฑ์สูงสุด แต่ลักษณะอื่นๆ ของผลิตภัณฑ์ควรพิจารณาด้วยเช่นกัน ภาพที่ 4.10 แสดง ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดย น้ำหนักต่อปริมาตร และกลิ่นรสช็อคโกแลตหรือวนิลาที่ความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดย น้ำหนักต่อปริมาตร เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า จะเห็นได้ว่าบางลักษณะคุณภาพของ น้ำนมรำข้าวกลิ่นรสวนิลาจะมีคะแนนที่ต่ำกว่ากลิ่นรสช็อคโกแลต เช่น สี กลิ่น และรสชาติ เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบและอธิบายผลการทดลองสำหรับการคัดเลือกสูตรน้ำนมรำข้าวที่ดีที่สุดและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวให้มีลักษณะเทียบเท่ากับน้ำนมถั่วเหลืองทาง การค้าที่นำมาเปรียบเทียบจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้น ตัวอย่างน้ำนมรำข้าวที่มีคะแนนจากการประเมินสูงที่สุดหรือใกล้เคียงกับตัวอย่างทางการค้ามากที่สุด จะได้รับการพิจารณาสำหรับการนำไปแปรรูปเป็นน้ำนมรำข้าวชนิดผงพร้อมชงต่อไป



ภาพที่ 4.10 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 และกลิ่นรสช็อคโกแลตหรือวนิลาที่ความหวานร้อยละ 5 เปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองทางการค้า

หนึ่งเทคนิคของการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสที่สามารถนำมาช่วยอธิบายในการทดลองครั้งนี้ได้ดียิ่งขึ้น คือ เทคนิคการวิเคราะห์องค์ประกอบร่วม (Principal component analysis: PCA) (Lawless and Heymann, 1998) ภาพที่ 4.11 แสดงองค์ประกอบร่วมของลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่มีกลิ่นรสและระดับความหวานของน้ำตาลที่ต่างกัน ผลวิเคราะห์จากความแปรปรวนของการวิเคราะห์ Biplot อธิบายได้ร้อยละ 82.76 ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าลักษณะทางด้านเนื้อสัมผัสของน้ำนมรำข้าวทุกตัวอย่างไม่มีผลต่อคุณภาพของน้ำนมรำข้าวที่พัฒนาขึ้น ขณะที่ตัวอย่างกลิ่นรสซ็อกโกแลตที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 3 และร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และตัวอย่างที่ไม่มีการเติมกลิ่นรสที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์เด่นชัดที่สุด ขณะที่ตัวอย่างอื่นๆ มีค่าสี และกลิ่นที่ค่อนข้างเด่น อย่างไรก็ตามน้ำนมรำข้าวกลิ่นรสวานิลลาที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นตัวอย่างการทดลองเดียวที่ให้ผลการทดลองที่ชัดเจนต่อคุณลักษณะของรสชาติ ระดับความหวาน และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ Ma, Li, Han, Yan, Wang, and Sun (2015) รายงานผลในลักษณะเดียวกันกับการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการจัดองค์ประกอบร่วมของตัวอย่างผลิตภัณฑ์น้ำนมถั่วเหลือง ที่อธิบายเกี่ยวกับพารามิเตอร์ต่างๆ (กลิ่น เนื้อสัมผัสของวัตถุดิบที่นำมาใช้ ความหวาน สี ลักษณะปรากฏ และการยอมรับโดยรวมของผลิตภัณฑ์) มีผลต่อคุณภาพของนมถั่วเหลือง ผลการศึกษาพบว่ามีความคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคสูงที่สุด รองลงมาคือ ความมีเนื้อ สี และกลิ่น ตามลำดับ นอกจากนี้ น้ำนมถั่วเหลืองที่ได้สามารถเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบชิมจากกลุ่มประชากรประเทศจีนอีกด้วย อ้างถึงเกณฑ์การคัดเลือกสูตรผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวสำหรับการแปรรูปเป็นชนิดผง ตัวอย่างที่มีคะแนนความชอบโดยรวมจากผู้บริโภคสูงที่สุด จะได้รับการพิจารณาและคัดเลือกต่อไป ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าน้ำนมรำข้าวที่มีการปรุงแต่งรสวานิลลาที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นสูตรที่ดีและเหมาะสมต่อการนำไปแปรรูปเป็นน้ำนมรำข้าวชนิดผงพร้อมชงต่อไป



ภาพที่ 4.11 องค์ประกอบร่วม (PCA) ของลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 และกลิ่นรสหรือระดับความหวานที่ต่างกัน

ตารางที่ 4.9 ผลของการปรุงแต่งกลิ่นและรสชาติต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่เติมแซนแทนแทนกัมร้อยละ 0.1

กลิ่นรส	ความหวาน (ร้อยละ น้ำตาล)	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ลักษณะปรากฏ	ความหวาน	ความชอบ โดยรวม
รสดั้งเดิม (ชุดควบคุม)	0	5.48 ± 1.43 <sup>h</sup>	4.74 ± 1.68 <sup>k</sup>	2.90 ± 1.58 <sup>k</sup>	4.00 ± 1.75 <sup>k</sup>	4.34 ± 1.72 <sup>k</sup>	2.78 ± 1.75 <sup>k</sup>	3.52 ± 1.81 <sup>k</sup>
รสดั้งเดิม	1	5.26 ± 1.52 <sup>j</sup>	4.90 ± 1.64 <sup>j</sup>	3.88 ± 1.49 <sup>j</sup>	4.54 ± 1.73 <sup>j</sup>	4.78 ± 1.54 <sup>j</sup>	3.86 ± 1.84 <sup>j</sup>	4.22 ± 1.61 <sup>j</sup>
รสดั้งเดิม	3	5.64 ± 1.50 <sup>g</sup>	5.38 ± 1.47 <sup>i</sup>	5.06 ± 1.91 <sup>g</sup>	4.90 ± 1.92 <sup>g</sup>	5.18 ± 1.55 <sup>g</sup>	5.28 ± 2.04 <sup>g</sup>	5.12 ± 1.81 <sup>g</sup>
รสดั้งเดิม	5	5.66 ± 1.66 <sup>f</sup>	5.94 ± 1.20 <sup>f</sup>	5.76 ± 1.74 <sup>c</sup>	5.44 ± 1.70 <sup>d</sup>	5.74 ± 1.71 <sup>f</sup>	5.74 ± 1.79 <sup>c</sup>	5.68 ± 1.83 <sup>f</sup>
ซ็อกโกแลต	1	5.64 ± 1.63 <sup>g</sup>	5.86 ± 1.68 <sup>g</sup>	4.70 ± 1.91 <sup>h</sup>	4.74 ± 1.77 <sup>i</sup>	5.14 ± 1.63 <sup>h</sup>	4.82 ± 1.77 <sup>h</sup>	5.04 ± 1.63 <sup>h</sup>
ซ็อกโกแลต	3	5.88 ± 1.71 <sup>d</sup>	6.00 ± 1.67 <sup>c</sup>	5.96 ± 1.70 <sup>d</sup>	5.24 ± 1.74 <sup>f</sup>	5.92 ± 1.50 <sup>d</sup>	5.94 ± 1.60 <sup>d</sup>	5.88 ± 1.56 <sup>d</sup>
ซ็อกโกแลต	5	6.48 ± 1.71 <sup>b</sup>	6.34 ± 1.42 <sup>c</sup>	6.54 ± 1.49 <sup>b</sup>	5.90 ± 1.53 <sup>c</sup>	6.26 ± 1.50 <sup>c</sup>	6.60 ± 1.51 <sup>b</sup>	6.38 ± 1.44 <sup>c</sup>
วนิลา	1	5.46 ± 2.22 <sup>i</sup>	5.80 ± 2.33 <sup>h</sup>	4.44 ± 2.21 <sup>i</sup>	4.78 ± 1.95 <sup>h</sup>	4.98 ± 1.99 <sup>i</sup>	4.36 ± 2.30 <sup>i</sup>	4.82 ± 2.10 <sup>i</sup>
วนิลา	3	5.80 ± 1.97 <sup>c</sup>	6.40 ± 1.81 <sup>b</sup>	5.46 ± 1.98 <sup>f</sup>	5.30 ± 1.82 <sup>c</sup>	5.86 ± 1.75 <sup>c</sup>	5.34 ± 1.99 <sup>f</sup>	5.72 ± 1.84 <sup>c</sup>
วนิลา	5	6.20 ± 1.65 <sup>c</sup>	6.26 ± 1.83 <sup>d</sup>	6.42 ± 1.70 <sup>c</sup>	6.22 ± 1.57 <sup>b</sup>	6.52 ± 1.54 <sup>b</sup>	6.28 ± 1.77 <sup>c</sup>	6.52 ± 1.61 <sup>b</sup>
น้ำนมถั่วเหลืองทาง การค้า	-	8.02 ± 1.02 <sup>a</sup>	7.94 ± 1.13 <sup>a</sup>	8.00 ± 1.28 <sup>a</sup>	7.80 ± 1.14 <sup>a</sup>	8.04 ± 1.24 <sup>a</sup>	7.56 ± 1.45 <sup>a</sup>	8.12 ± 0.94 <sup>a</sup>

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ (ผู้ทดสอบ 50 คน)

ตัวอักษร a, b, c,...ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

#### 4.5 การผลิตน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

น้ำนมรำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์สูตรที่เหมาะสมที่สุดที่จากการศึกษาของอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างรำข้าวต่อน้ำ 1:15 เติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์ และปรุงแต่งกลิ่นรสวนิลาที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ได้รับคัดเลือกเพื่อนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวชนิดผงและทำการศึกษสมบัติด้านต่างๆ ผลผลิตที่ได้จากการผลิตต่อ 1 ลิตรของน้ำนมรำข้าวมีปริมาณร้อยละ 52.42 (ตารางที่ 4.11)

ตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	1.51 ± 0.06
เถ้า	3.55 ± 0.01
โปรตีน	4.84 ± 0.48
ไขมัน	1.05 ± 0.41
เส้นใย	2.62 ± 0.24
คาร์โบไฮเดรต*	86.43 ± 0.50
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (กรัม/100กรัม)**	50.30 ± 0.31

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

\* หมายถึง ปริมาณที่หาจากการคำนวณร้อยละความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง

\*\* วิเคราะห์ด้วยวิธีการ Compendium of method for food analysis (2003)

จะเห็นได้ว่าการนำน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์มาทำผงโดยวิธีการทำแห้งแบบผงโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย ส่งผลให้ร้อยละผลผลิตลดลงอย่างมาก Jinapong, Suphantharika, and Jamnong (2008) ศึกษาการทำน้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงด้วยวิธีการเดียวกันรายงานร้อยละผลผลิตของผลิตภัณฑ์ชนิดผงขึ้นอยู่กับปริมาณของของแข็งในตัวอย่างอาหารนั้นๆ (ปริมาณของของแข็งสูงส่งผลให้

ร้อยละการผลิตเพิ่มขึ้น) อย่างไรก็ตามเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตให้ได้ผลผลิตปริมาณเพิ่มขึ้นควรมีการศึกษาวิธีการทำแห้งแบบผงที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวเปรียบเทียบกับ

#### 4.5.1 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

น้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง (หอมมะลิ 105) ที่ได้จากการแปรรูปจากสูตรที่เหมาะสมและมีคะแนนความชอบจากผู้บริโภคสูงที่สุดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด (ร้อยละ 86.43) เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ รองลงมาคือโปรตีน (ร้อยละ 4.84) ไขมัน (ร้อยละ 3.55) เส้นใย (ร้อยละ 2.62) ความชื้น (ร้อยละ 1.51) และไนโตรเจน (ร้อยละ 1.05) ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.10 องค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่นำมาผลิตเป็นน้ำนมรำข้าวชนิดผงจะมีปริมาณที่ต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของข้าวที่นำมาใช้ Moongngarm, Daomukda, and Khumpika (2012) รายงานองค์ประกอบทางเคมีของรำข้าวที่ได้จากข้าวต่างสายพันธุ์ ได้แก่ Khao dok mali 105 (Non-waxy rice) RD6 (Waxy rice and white in color) Black rice (Waxy and dark purple in color) และ Red rice (Non waxy and red-brown in color) โดยรำข้าวที่ได้จากข้าวแต่ละสายพันธุ์มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุดเช่นเดียวกับตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้ (ร้อยละ 40.63-45.06) รองลงมาคือ

ตารางที่ 4.11 สมบัติทางกายภาพและเคมีกายภาพของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

สมบัติทางเคมีกายภาพ	ค่าเฉลี่ย
pH	6.31 ± 0.01
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (°Brix)	8.67 ± 1.15
ความหนืด (cP)	5.33 ± 0.10
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	0.19 ± 0.02
ปริมาณน้ำอิสระ	0.27 ± 0.08
ความหนาแน่นรวม (กรัม/มิลลิลิตร)	0.57 ± 0.04
การพองตัวของผง (กรัม/กรัม)	36.90 ± 0.39
การละลาย (ร้อยละ)	56.54 ± 5.12
ร้อยละผลผลิต (ร้อยละ)	52.42

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

ไขมัน (ร้อยละ 15.85-18.80) โปรตีน (ร้อยละ 12.07-13.66) เกล็ด (ร้อยละ 9.72-11.41) และเส้นใย (ร้อยละ 11.77-12.68) อย่างไรก็ตามปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่พบมากในน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง อาจเนื่องมาจากปริมาณน้ำตาลในตัวอย่างที่ตรวจพบ (ร้อยละ 50.30 กรัม/100 กรัมตัวอย่าง) ระหว่างกระบวนการผลิตน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ก่อนนำมาแปรรูปเป็นน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

#### 4.5.2 สมบัติทางเคมี - กายภาพของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

น้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง เมื่อนำมาละลายน้ำพบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อยู่ที่ 6.31 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (8.67 °Brix) ความหนืด (5.33cP) ปริมาณน้ำอิสระ (0.27) และปริมาณกรดทั้งหมดเป็นร้อยละ 0.19 ดังแสดงในตารางที่ 4.11 กระบวนการแปรรูปจากน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์เป็นน้ำนมรำข้าวชนิดผงโดยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray dryer) ส่งผลให้สมบัติทางเคมี และกายภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายเปลี่ยนแปลงไปจากผลิตภัณฑ์ตั้งต้น โดยเฉพาะความหนืด อย่างไรก็ตามค่า pH ของน้ำนมรำข้าวชนิดผงหลังการละลายด้วยน้ำยังคงมีค่าค่อนข้างเป็นกลาง ผลของการเติมแซนแทนกัมและน้ำตาลลงในสูตรตั้งต้นทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณน้ำอิสระในตัวอย่างน้ำนมรำข้าวชนิดผงมีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ระหว่างการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.17) นอกจากนี้สมบัติด้านอื่นๆ เช่น การละลายของตัวอย่างพบว่า มีค่าร้อยละ 56.54 บ่งชี้ให้เห็นว่าความสามารถในการละลายของตัวอย่างน้ำนมรำข้าวชนิดผงละลายได้ยาก และไม่ใช่น้ำเนื้อเดียวกัน ในขณะที่ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) สีแดง ( $a^*$ ) และสีเหลือง ( $b^*$ ) ของผลิตภัณฑ์รายงานไว้ในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าสีของน้ำนมรำข้าวชนิดผง

ค่าสี	ค่าเฉลี่ย	
$L^*$	$69.51 \pm 0.16$	
$a^*$	$3.61 \pm 0.01$	
$b^*$	$24.65 \pm 0.04$	

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

#### 4.5.3 สมบัติการต้านอนุมูลอิสระของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำนมรำข้าวชนิดผง ซึ่งให้เห็นว่าในผลิตภัณฑ์สุดท้ายหลังจากผ่านกระบวนการผลิตต่างๆ ยังคงมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดเหลืออยู่ ( $220.56 \pm 5.52$  มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง) และแสดงกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ DPPH เมื่อเทียบกับสารละลาย Trolox เป็น  $24.19 \pm 2.64$  ไมโครโมล Trolox ต่อกรัมตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.13 ในขณะที่การศึกษาก่อนหน้าของ Adom and Liu (2002); Shahidi and Ambigaipalan (2015) ได้รายงานปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างธัญพืชที่เป็นพื้นฐานของการผลิตเครื่องดื่ม โดยถั่วเหลืองมีค่าเท่ากับ  $15.55 \pm 0.60$  ไมโครโมลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง ตามด้วยข้าวสาลี ( $7.99 \pm 0.39$  ไมโครโมลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง) ข้าวโอ๊ต ( $6.53 \pm 0.19$  ไมโครโมลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง) และ ข้าว ( $5.56 \pm 0.17$  ไมโครโมลกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง) อย่างไรก็ตามสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญเหล่านี้สามารถถูกทำลายได้ง่ายเนื่องจากกระบวนการความร้อนที่ใช้ในการแปรรูปน้ำนมรำข้าวเป็นผงโดยใช้อุณหภูมิที่สูงในระหว่างกระบวนการผลิต (Kim et al., 2011; Thanonkaew et al., 2012; Xu and Chang, 2011) เนื่องจากกระบวนการให้ความร้อนสามารถทำลายโครงสร้างขององค์ประกอบในน้ำนมรำข้าว เช่น โปรตีน และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพกลุ่มของฟีนอลิก ซึ่งทั้งสองชนิดนี้สามารถรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อนและแสดงบทบาทเชิงหน้าที่ในการต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์อาหาร อ้างถึงการรายงานของ Wang, Yu, and Chou (2006) กล่าวว่า การทำแห้งแบบพ่นฝอยของเครื่องดื่มที่ทำจากถั่วเหลือง มีการใช้อุณหภูมิที่สูงในกระบวนการทำแห้ง (มากกว่า 150 องศาเซลเซียส) ทำให้เกิดการลดลงของสมบัติต้านอนุมูลอิสระของอาหารจากถั่วเหลืองเป็นอย่างมาก ดังนั้นปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำนมรำข้าวที่ลดลงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และกระบวนการแปรรูปโดยตรง อย่างไรก็ตามการทำแห้งแบบอื่น เช่น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (Freeze drying) ควรมีการพิจารณาเนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถช่วยลดการสูญเสียของคุณค่าทางโภชนาการและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพในผลิตภัณฑ์อาหารได้ (Silvan, Amigo-Benavent, and Dolores del Castillo, 2014)

ตารางที่ 4.13 ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของน้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

น้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง	ค่าเฉลี่ย
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (มิลลิกรัม กรดแกลลิก/กรัมตัวอย่าง)	220.56 ± 5.52
ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ DPPH (ไมโครโมล โทรล็อก/กรัมตัวอย่าง)	24.19 ± 2.64

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

#### 4.5.4 คุณค่าทางโภชนาการน้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

น้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงที่ได้แสดงให้เห็นถึงคุณค่าทางโภชนาการในด้านสารอาหารหลัก (Macronutrients) และสารอาหารรอง (Micronutrients) ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ เนื่องจากมีปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นที่ร่างกายต้องการ และกรดไขมันอิสระที่มีประโยชน์ เช่น โอเมกา 3 โอเมกา 6 และ โอเมกา 9 เมื่อเปรียบเทียบกับโปรตีนจากไข่และโปรตีนจากถั่วเหลือง (Wang, Hettiarachchy, Qi, Burks, and Siebenmorgen, 1999) จากการทดลองพบว่าในน้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงจากตารางที่ 4.14 พบปริมาณกรดอะมิโนจำเป็นชนิดไลซีนมีปริมาณสูงที่สุด (624.23) เมื่อเทียบกับชนิดอื่น รองลงมาคือกรดอะมิโนฟีนิลอะลานีน (566.64) ลูซีน (552.79) ไทโรซีน (428.05) และกรดกลูตามิก (400.42) มิลลิกรัม/100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบปริมาณของกรดอะมิโนฮิสติดีน (252.23 มิลลิกรัม/100กรัมตัวอย่าง) ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของทารก และการทำงานของกล้ามเนื้อเป็นอย่างมาก เช่น ช่วยกระตุ้นการทำงานของสมอง เพิ่มความตื่นตัวเสริมความจำ เพิ่มพลังงานให้กล้ามเนื้อ และช่วยให้เซลล์ประสาทแข็งแรงขึ้น ช่วยจัดการกับแอมโมเนียส่วนเกิน และป้องกันโรคกระดูกพรุน เป็นต้น สำหรับกรดอะมิโนไลซีน และกรดอะมิโนฮิสติดีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกายเมื่อเทียบกับโปรตีนจากไข่และโปรตีนจากถั่วเหลืองแล้วพบว่าปริมาณกรดอะมิโนไลซีนและกรดอะมิโนฮิสติดีนจากโปรตีนน้ำมันรำข้าวชนิดผงมีปริมาณมากกว่า และยังมีปริมาณกรดอะมิโนมากกว่าที่กำหนดในมาตรฐานกรดอะมิโนในอาหาร นอกจากนี้ยังพบว่ามีความมากกว่าปริมาณกรดอะมิโนที่เด็กในวัย 2-5 ปี ควรได้รับซึ่งเพียงพอต่อความต้องการอีกด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Faccin et al. (2009) ได้รายงานผลของปริมาณกรดอะมิโนในรำข้าว และเครื่องคัมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ปรุงแต่งกลิ่นรสพบว่า ปริมาณกรดอะมิโนในรำข้าวอยู่ในช่วงระหว่าง

4359.3-22587.8 (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) และเครื่องดื่มร่ำข้าวอยู่ในช่วง 18.7-1487.7 (มิลลิกรัมต่อลิตร) ซึ่งกรดอะมิโนกลูตามิกมีปริมาณที่พบมากที่สุดในทั้งสองตัวอย่าง

ในขณะที่เดียวกันน้ำมันร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดผงประกอบด้วยกรดไขมันอิสระหลายชนิด แต่มีปริมาณไม่สูงมากนัก (ตารางที่ 4.15) อย่างไรก็ตามตรวจไม่พบไขมันชนิดทรานส์ (Trans-fatty acids) ซึ่งเป็นไขมันที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพหากได้รับเป็นปริมาณที่สูง กรดไขมันกลุ่มโอเมกา 3, 6 และ 9 จัดเป็นกรดไขมันที่จำเป็นต่อร่างกาย เนื่องจากร่างกายสร้างเองไม่ได้และมีความสำคัญต่อระบบประสาทของมนุษย์ น้ำมันร่ำข้าวชนิดผงตรวจพบไขมันกลุ่มโอเมกาทั้ง 3 ชนิด ซึ่งมีปริมาณรายงานเป็น มิลลิกรัม/100กรัม คือ โอเมกา 3 (95.02), โอเมกา 6 (1,744.28) และ โอเมกา 9 (2,103.51) การศึกษาของ Faccin et al. (2009) ได้รายงานผลของปริมาณกรดไขมันอิสระในเครื่องดื่มร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์เช่นเดียวกันในหน่วยของร้อยละของไขมันทั้งหมด ซึ่งพบกรดไขมันโอเลอิก (ร้อยละ 43.7) โคลิโนเลอิก (ร้อยละ 30.8) และปาล์มมิติก (ร้อยละ 20.3) ตามลำดับ นอกจากนี้พบปริมาณไขมันอิ่มตัว (Saturated fat) สูงถึงร้อยละ 23.8 กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่ 1 อัน (Mono-unsaturated fat) ร้อยละ 43.9 และ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะคู่หลายอัน (Polyunsaturated fat) ร้อยละ 32.3 อย่างไรก็ตามอ้างอิงถึงมาตรฐานของสารอาหารที่ควรได้รับต่อวัน ในการบริโภคจากการรายงานของสำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข พบว่าตัวอย่างน้ำมันร่ำข้าวมีปริมาณของไขมันอิ่มตัวที่มากกว่าเพียงเล็กน้อย ซึ่งตามมาตรฐานควรมีปริมาณไขมันอิ่มตัวที่ได้รับร้อยละ 20 ต่อวัน (สำนักโภชนาการ, 2554)

นอกจากนี้ น้ำมันร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดผงที่ได้ยังมีปริมาณของสารอาหารหลัก ได้แก่วิตามิน โดยเฉพาะกลุ่มของวิตามินบีต่างๆ ที่สามารถพบได้ในร่ำข้าวเริ่มต้น รวมถึงแร่ธาตุที่สำคัญต่อร่างกายด้วยเช่นกัน (ตารางที่ 4.16) โดยทั่วไปร่ำข้าวประกอบไปด้วยวิตามินบางชนิดที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพ (โทโคฟีรอล หรือ วิตามินอี) ในระดับหนึ่ง แต่เมื่อนำร่ำข้าวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดผงด้วยกระบวนการต่างๆ พบว่ามีวิตามินอีอยู่ในผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น 0.42 มิลลิกรัม/100กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับร่ำข้าวทางการค้าของแต่ละสายพันธุ์จากการศึกษาของ Qbal, Bhangar and Anwar (2005) สารโทโคฟีรอลในน้ำมันร่ำข้าวชนิดผงมีปริมาณที่ต่ำกว่ามาก สิ่งที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้จากสาเหตุของร่ำข้าวต่างสายพันธุ์ จึงส่งผลถึงองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในร่ำข้าวและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากร่ำข้าว ตารางที่ 4.16 ชี้ให้เห็นว่า น้ำมันร่ำข้าวชนิดผงแสดงปริมาณของแร่ธาตุต่างๆ ที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณวิตามินในผลิตภัณฑ์ โดยมีแร่ธาตุ 3 ตัวหลักที่พบในปริมาณมาก คือ ฟอสฟอรัส (7911.50) โพแทสเซียม (5687.50) และ แมกนีเซียม (3311.50) มิลลิกรัม/กิโลกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ แร่ธาตุที่กล่าวมานั้นมีปริมาณที่สูงมากกว่ามาตรฐานอาหารที่กำหนดไว้ใน การได้รับต่อวันด้วย

เช่นกัน โดยฟอสฟอรัสควรได้รับอย่างน้อยวันละ 800 มิลลิกรัม โพแทสเซียม (800 มิลลิกรัม) แมกนีเซียม (350 มิลลิกรัม) แคลเซียม (800 มิลลิกรัม) เหล็ก (15 มิลลิกรัม) สังกะสี (14 มิลลิกรัม) และ ไอโอดีน (150 ไมโครกรัม) (สำนักโภชนาการ, 2554)

ตารางที่ 4.14 ปริมาณกรดอะมิโนของน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

กรดอะมิโน	น้ำนมร่ำข้าวชนิดผง**	มาตรฐานในอาหาร**	ไข่**	ถั่วเหลือง**
ฮิสติดีน*	252.23 ± 0.62	-	3.01	0.83
ไอโซลิวซีน*	221.80 ± 11.46	0.80	0.77	1.62
ลูซีน*	552.79 ± 72.10	0.32	1.09	2.81
ไลซีน*	624.23 ± 28.93	0.70	0.86	2.03
เมไทโอนีน*	59.20 ± 4.67	-	0.41	0.45
ฟีนิลอะลานีน*	566.64 ± 31.11	-	0.70	2.06
ทรีโอนีน*	37.89 ± 1.31	0.35	0.63	0.59
ทริพโตเฟน*	20.48 ± 0.99	-	-	-
วาเลีน*	224.95 ± 4.16	0.48	0.84	2.16
อะลานีน	143.84 ± 2.05	-	0.73	1.55
อาร์จินีน	< 5.00	-	0.75	0.22
กรดแอสพาร์ติก	161.79 ± 4.35	-	1.19	5.20
ซีสตีลีน	70.91 ± 5.01	0.61	0.30	0.69
กรดกลูตามิก	400.42 ± 1.94	-	1.57	8.88
ไกลซีน	89.92 ± 5.01	-	0.41	2.04
ไฮดรอกซีไลซีน	< 5.00	-	-	-
ไฮดรอกซีโพรลีน	< 5.00	-	-	-
โพรลีน	106.74 ± 1.79	-	0.51	1.77
เซรีน	47.61 ± 0.35	-	0.94	0.23
ไทโรซีน	428.05 ± 40.21	0.68	0.51	1.51

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ วิเคราะห์ ด้วยวิธีการของ AOAC 994.12, 988.15 (2000)

\* หมายถึง กรดอะมิโนจำเป็น

\*\* หมายถึง รายงานเป็นหน่วย มิลลิกรัม/100กรัมตัวอย่าง

ตารางที่ 4.15 ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

กรดไขมันอิสระ	ปริมาณ (กรัม/100กรัม)	กรดไขมันอิสระ	ปริมาณ (กรัม/100กรัม)
กรดบิวทีริก (C4:0)	ND	กรดปาล์มโทเลอิก (C16:1n7)	ND
กรดคาโปรอิก (C6:0)	ND	ซีส-9-กรดโอเลอิก (C18:1n9t)	2.11 ± 0.01
กรดคาไพโรอิก (C8:0)	ND	ซีส-9, 12-กรดไลโนเลอิก (C18:2n9)	1.74 ± 0.00
กรดคาพริก (C10:0)	ND	กรดแอลฟาไลโนเลนิก (C18:3n3)	0.10 ± 0.01
กรดลอริก (C12:0)	ND	กรดไขมันไม่อิ่มตัวมีพันธะ คู่ 1 อัน	2.11 ± 0.01
กรดไตรดิวทาโนอิก (C13:0)	0.12 ± 0.01	กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีพันธะ คู่หลายอัน	1.84 ± 0.01
กรดไมริสติก (C14:0)	0.03 ± 0.00	ไขมันอิ่มตัว	1.63 ± 0.01
กรดปาล์มิติก (C16:0)	124.00 ± 1.41	ไขมันไม่อิ่มตัว	3.94 ± 0.00
กรดเฮปตาดีคาโนอิก (C17:0)	0.01 ± 0.00	ไขมันชนิดทรานส์	ND
กรดสเตียริก (C16:0)	0.13 ± 0.00	กรดไขมันโอเมกา 3*	95.02 ± 0.28
กรดอะราคิติก (C20:0)	0.04 ± 0.00	กรดไขมันโอเมกา 6*	1744.28 ± 2.21
กรดบีฮีนิก (C22:0)	0.02 ± 0.00	กรดไขมันโอเมกา 9*	2103.51 ± 10.12
กรดลิกโนซีริก (C24:0)	0.04 ± 0.00		

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ

วิเคราะห์ ด้วยวิธีการของ AOAC 996.06 (2012)

\* หมายถึง รายงานต่อหน่วยเป็น มิลลิกรัม/100กรัม

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 4.16 คุณค่าทางโภชนาการของน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

คุณค่าทางโภชนาการ (ไมโครนิวเทรียนท์)	ชนิด	ปริมาณ
วิตามิน (มิลลิกรัม/100กรัม)	บี 1	0.218 ± 0.00
	บี 2	0.230 ± 0.00
	บี 3 (ไนอะซิน)	0.10 ± 0.00
	อี	0.42 ± 0.00
แร่ธาตุ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)	แคลเซียม (Ca)	442 ± 4.24
	เหล็ก (Fe)	15.25 ± 0.07
	แมกนีเซียม (Mg)	3311.50 ± 34.65
	ฟอสฟอรัส (P)	7911.50 ± 71.42
	โพแทสเซียม (K)	5687.50 ± 102.53
	สังกะสี (Zn)	25.62 ± 1.64

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ  
วิเคราะห์ด้วยวิธีการของ AOAC (2012) 942.23 สำหรับวิตามินต่างๆ และ AOAC (2005)  
984.27, 999.10 สำหรับแร่ธาตุต่างๆ

#### 4.5.5 สมบัติด้านเชื้อจุลินทรีย์ของน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์ชนิดพาสเจอร์ไรส์และชนิดผง

ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (Aerobic count plate) *E.coli* / Coliform, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ Yeast / Mold ของน้ำนมร่ำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์และชนิดผงที่เก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน แสดงดังตารางที่ 4.17 พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำนมทั้งสองชนิดไม่พบเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (*E.coli* / Coliform, *Staphylococcus aureus* และ *Bacillus cereus*) ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอาหารที่กำหนดไว้ น้ำนมร่ำข้าวพาสเจอร์ไรส์มีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $4.3 \times 10^3$  (วันที่ 0) ถึง  $7.3 \times 10^3$  CFU/ml (วันที่ 7) สำหรับน้ำนมร่ำข้าวชนิดผงพบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง  $1.1 \times 10^2$  ถึง  $1.2 \times 10^2$  CFU/ml และต้องไม่พบเชื้อ *E.coli* / Coliform ในขณะที่พบปริมาณ Yeast / Mold เมื่อเก็บรักษาผ่านไป 5 วัน ของผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับตัวอย่างพาสเจอร์ไรส์ และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานอาหารของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (Thai Community Product Standard) มพช.๕๒๘/๒๕๕๘ ของน้ำนมถั่วเหลือง หรือน้ำนมที่ทำจากธัญพืช พบว่ามีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ( $1 \times 10^4$  โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร) และปริมาณ yeast และ mold ต้องน้อยกว่า 100 โคโลนีต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร สำหรับตัวอย่างชนิดผง จำนวนเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และ Yeast / Mold ที่ตรวจพบของผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวอินทรีย์ทั้งสองชนิด เนื่องมาจากมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารสำคัญของการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวได้เป็นอย่างดี อ้างอิงการศึกษาของ Puerari, Magalhães-Guedes, and Schwan (2015) ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของเครื่องดื่มน้ำนมที่มีข้าวเป็นวัตถุดิบในการผลิตต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและจุลินทรีย์ พบว่าในผลิตภัณฑ์พบเชื้อจุลินทรีย์ในกลุ่มแลคติก และกลุ่มของ *Bacillus spp.* (*Bacillus subtilis* และ *Bacillus cereus*) เกิดขึ้นในเครื่องดื่มน้ำนม และพบปริมาณ Yeast เช่นกัน ผู้วิจัยได้อธิบายว่า ในผลิตภัณฑ์พวกธัญพืชมักจะประกอบไปด้วยปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่สูง ซึ่งเชื้อในกลุ่มแลคติกที่พบมีความสามารถในการเผาผลาญ หรือนำสารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตดังกล่าวมาใช้ในกระบวนการเมทาบอลิซึม (Ramos, de Almeida, Pereira, Cardoso, Dias, and Schwan, 2010; Ramos, De-Almeida, Freire, and Schwan, 2011) เพื่อการเจริญเติบโต นอกจากนี้ในสถานะเครื่องดื่มน้ำนมที่มีค่า pH ก่อนข้างเป็นกลาง หรืออยู่ในช่วง 5.5-6.5 จะเป็นสถานะที่ทำให้เชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถเจริญได้ด้วย จะเห็นได้ว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ดังกล่าวจากตารางที่ 4.17 ของน้ำนมรำข้าวชนิดผงพบปริมาณน้อยกว่าน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ แม้ว่าปริมาณน้ำอิสระของน้ำนมรำข้าวชนิดผงก่อนหน้ามีค่า 0.27 (ตารางที่ 4.11) ซึ่งมีค่าที่ต่ำและเป็นสถานะที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ยาก ในขณะที่พบปริมาณยีสต์ที่เกิดขึ้นเมื่อเก็บรักษาเพียง 5 วัน อาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนจากสถานะแวดล้อมของกระบวนการผลิต การเก็บรักษา ตลอดจนภาชนะบรรจุภัณฑ์ที่ใช้เก็บรักษาผลิตภัณฑ์ของน้ำนมรำข้าวชนิดผง (สุนันทา วงศ์ปิยชน และ วัชรวิ สุขวิวัฒน์, 2556)

ตารางที่ 4.17 สมบัติด้านจุลินทรีย์ของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์และน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ ชนิดผงระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน

ตัวอย่าง*	ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ (CFU/ml)					
	ระยะ	ปริมาณ	<i>E.coli</i> /	<i>Staphylococcus</i>	<i>Bacillus</i>	Yeast
	เวลา	จุลินทรีย์	Coliform	<i>aureus</i>	<i>cereus</i>	และ
(วัน)	ทั้งหมด				Mold	
น้ำนมรำข้าว	0	$4.3 \times 10^3$	ND	ND	ND	ND
พาสเจอร์ไรส์ที่	3	$7.0 \times 10^3$	ND	ND	ND	ND
เติมแซนแทนกัม	5	$7.1 \times 10^3$	ND	ND	ND	24
ร้อยละ 0.1	7	$7.3 \times 10^3$	ND	ND	ND	49
ปรุงแต่งกลิ่นรส						
วนิลา และน้ำตาล						
ร้อยละ 5						
นมรำข้าวอินทรีย์	0	$1.1 \times 10^2$	ND	ND	ND	ND
ชนิดผง	3	$1.1 \times 10^2$	ND	ND	ND	ND
	5	$1.2 \times 10^2$	ND	ND	ND	9
	7	$1.2 \times 10^2$	ND	ND	ND	17

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ ด้วยวิธีการตรวจวิเคราะห์แบบรวดเร็ว Petrifilm

ND หมายถึง ตรวจไม่พบ

\* สภาวะการเก็บรักษาของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ 4 องศาเซลเซียส และนมรำข้าวชนิดผงที่ อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส)

#### 4.5.6 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง

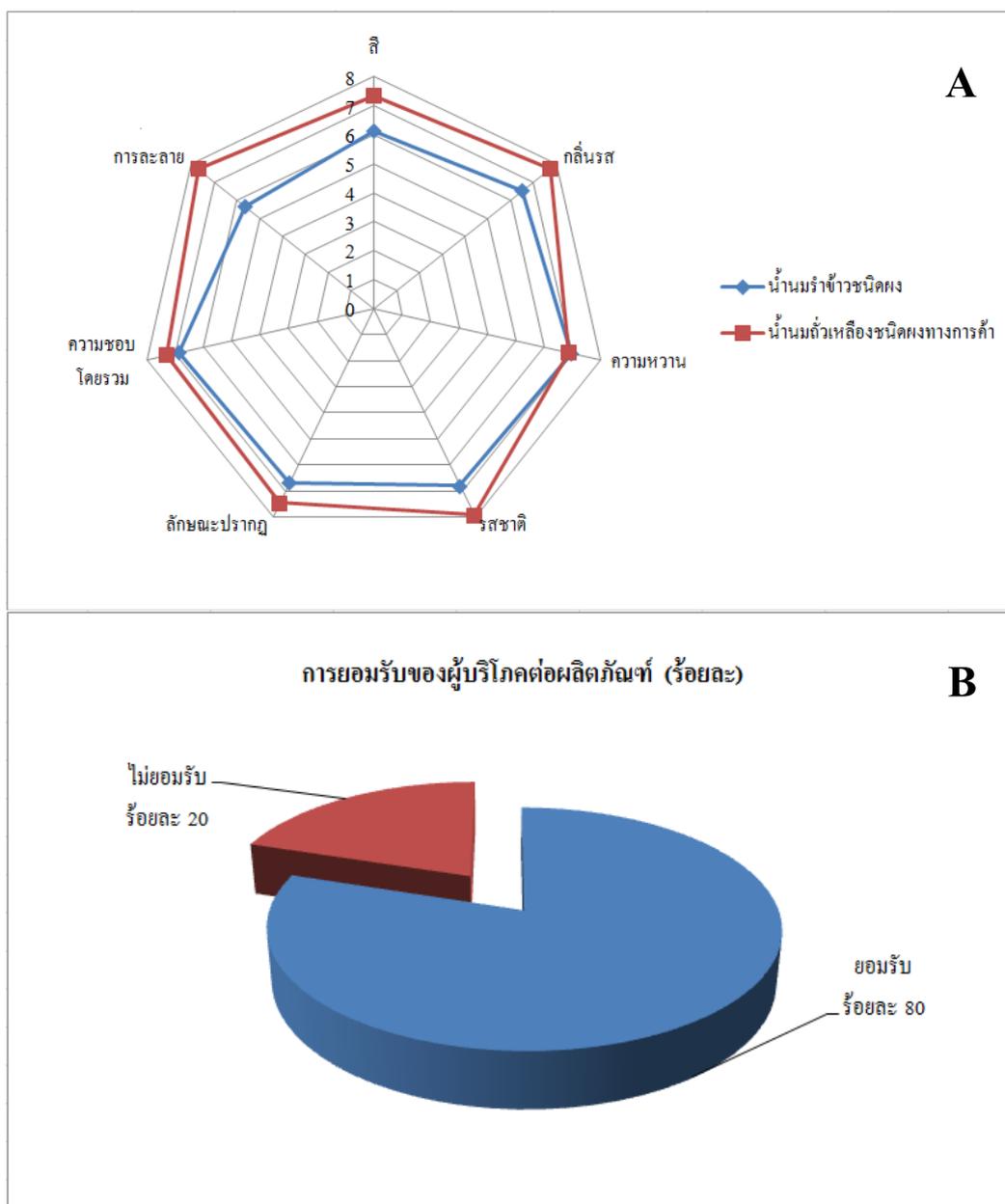
หลังจาก ได้สูตรที่เหมาะสมที่สุดของน้ำนมรำข้าวพาสเจอร์ไรส์ที่ปรับปรุงกลิ่นรสและระดับความหวานของน้ำตาลให้เป็นไปตามความต้องการของผู้บริโภคแล้ว น้ำนมรำข้าวดังกล่าว ได้รับเลือกมาแปรรูปเป็นน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผง และประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถเป็นที่ยอมรับและมีลักษณะคุณภาพที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างทางการค้า ที่พบในท้องตลาด การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงจะ ทดสอบชิมเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงทางการค้าที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และประเมิน ลักษณะคุณภาพด้านต่างๆ ได้แก่ สี กลิ่นรส ความหวาน รสชาติ ลักษณะปรากฏ ความชอบโดยรวม และการละลายของผลิตภัณฑ์ รวมถึงร้อยละการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าว อินทรีย์ชนิดผง จากผู้ทดสอบ 50 คน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.18 และภาพที่ 4.12 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างทางการค้าพบว่า มีความแตกต่างกันของลักษณะทางประสาท สัมผัส ยกเว้นระดับความหวานของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีคะแนนจากการประเมินของผู้บริโภคใกล้เคียง กันมากที่สุด อย่างไรก็ตามน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงมีคะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสใน ทุกๆ ด้านลักษณะค่อนข้างสูง (มากกว่า 6 คะแนน) ยกเว้นการละลายของน้ำนมรำข้าวต้องปรับปรุง อย่างมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างชนิดผงทางการค้า ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับร้อยละการละลาย ของผลิตภัณฑ์ข้างต้น (ตารางที่ 4.11) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงมีค่าการ ยอมรับของผู้บริโภคมากถึงร้อยละ 80 อย่างไรก็ตามผลการทดลองนี้สามารถเป็นพื้นฐานสำหรับการ ปรับปรุงพัฒนาน้ำนมรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงเพื่อต่อ ยอดสู่การผลิตในภาคอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม เพื่อสุขภาพทางเลือกใหม่ต่อไป

ตารางที่ 4.18 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวชนิดผงเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงทางการค้า (ผู้ทดสอบ 50 คน)

ตัวอย่าง	สี	กลิ่นรส	ความหวาน	รสชาติ	ลักษณะปรากฏ	การละลาย	ความชอบโดยรวม
น้ำนมรำข้าวชนิดผง	6.14 ± 1.16 <sup>b</sup>	6.52 ± 1.07 <sup>b</sup>	6.96 ± 1.37 <sup>a</sup>	6.80 ± 1.31 <sup>b</sup>	6.68 ± 1.35 <sup>b</sup>	5.66 ± 0.98 <sup>b</sup>	6.88 ± 1.22 <sup>b</sup>
น้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงทางการค้า	7.34 ± 1.04 <sup>a</sup>	7.76 ± 0.98 <sup>a</sup>	6.84 ± 1.30 <sup>a</sup>	7.92 ± 0.99 <sup>a</sup>	7.46 ± 1.18 <sup>a</sup>	7.72 ± 0.83 <sup>a</sup>	7.28 ± 1.26 <sup>a</sup>

หมายเหตุ. ค่าที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการทดลอง

ตัวอักษร a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4.12 ลักษณะทางประสาทสัมผัสของน้ำนมรำข้าวชนิดผงเปรียบเทียบกับน้ำนมถั่วเหลืองชนิดผงทางการค้า (A) และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์น้ำนมรำข้าวชนิดผง (B) (คน 50 ผู้ทดสอบ)

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองข้างต้นสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 อัตราส่วนระหว่างรำข้าวต่อน้ำ 1:15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้ร้อยละผลผลิตนํ้าม  
รำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์สูงที่สุด

5.1.2 การเติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ให้ผลทางด้านเคมี ภายภาพ  
และความคงตัวของผลิตภัณฑ์นํ้ามรำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์ดีที่สุด

5.1.3 ผลของเอนไซม์ผสมกลุ่มอะไมเลสกับเซลลูเลส (1:1, ยูนิตต่อยูนิต) ที่ความเข้มข้น  
500 ยูนิต มีความคงตัวของผลิตภัณฑ์สูงที่สุด

5.1.4 การใช้ไฮโดรคอลลอยด์มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์นํ้าม  
รำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้เอนไซม์

5.1.5 นํ้ามรำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์กลิ่นรสวนิลาที่ระดับความหวานของน้ำตาลร้อยละ  
5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีคะแนนความชอบโดยรวมของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์สูงที่สุด

5.1.6 นํ้ามรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงประกอบด้วยสารอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการที่มี  
ประโยชน์ โดยเฉพาะกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกาย กรดไขมันอิสระ วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ

5.1.7 นํ้ามรำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์ และชนิดผงไม่พบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อโรค  
ตามข้อกำหนดมาตรฐานอาหาร เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส สำหรับ  
พาสเจอร์ไรส์ และ 25 องศาเซลเซียส สำหรับชนิดผง

5.1.8 นํ้ามรำข้าวอินทรีย์ชนิดผงมีคะแนนการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มากถึง  
ร้อยละ 80

5.1.9 นํ้ามรำข้าวอินทรีย์ชนิดพาสเจอร์ไรส์และชนิดผงสามารถช่วยสามารถเพิ่มมูลค่า  
ให้กับรำข้าวอินทรีย์ได้ และเป็นเครื่องคั้นเพื่อสุขภาพทางเลือกใหม่ของผู้บริโภคที่ตระหนักเรื่อง  
สุขภาพ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การผลิตน้ำมันรำข้าวอินทรีย์พาสเจอร์ไรส์ที่อัตราส่วนของน้ำมากกว่ารำข้าวจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายสูญเสียความคงตัวได้ง่าย หรืออนุภาคของรำข้าวไม่สามารถแขวนลอยอยู่ได้ เนื่องจากมีขนาดใหญ่ ถึงแม้จะมีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ (เช่น แชนแทนกัม) เข้าช่วย แต่ความคงตัวของผลิตภัณฑ์ยังคงลดลงหลังเก็บรักษาเป็นเวลานาน ดังนั้นจึงควรนำผลการทดลองชนิดและความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ที่ให้ความคงตัวสูงมาผสมกันในอัตราส่วนที่เหมาะสม

5.2.2 ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น โลคัสปีนกัม และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) ควรนำมาพิจารณาเพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำมันรำข้าว นอกจากนี้สารเหล่านี้จะให้ความหนืดของเครื่องดื่มที่ไม่สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกัวร์กัม และ แชนแทนกัม

5.2.3 การใช้วิธีการทำผงด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยมีข้อจำกัดในเรื่องของอุณหภูมิที่สูงส่งผลให้คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันรำข้าวชนิดผงสูญหายไป เช่น ปริมาณวิตามิน แร่ธาตุ และสารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพต่อกิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น ดังนั้นวิธีการทำแห้งแบบผงชนิดวิธีอื่น เช่น การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งควรนำมาประยุกต์ใช้ เนื่องจากไม่มีความร้อนมาเกี่ยวข้อง จึงช่วยรักษาคุณค่าทางโภชนาการได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากคุณค่าทางโภชนาการที่ต้องพิจารณาแล้ว ต้นทุน และความเป็นไปได้ในเชิงธุรกิจ รวมถึงความคุ้มทุนต้องนำมาประกอบการพิจารณาด้วย

รายการอ้างอิง

## รายการอ้างอิง

- ชมพูนุช เพื่อนพิภพ และปรัชญา แพมมงคล. (2554). เครื่องดื่มน้ำมะนาวผสมใยอาหารแบบพาสเจอร์ไรส์ (*Pasteurized lime juice mix fiber*). สืบค้นเมื่อ 11 เมษายน 2557, จาก <http://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/936/HEC-54-21.pdf?sequence=1>
- นันทยา จงใจเทศ. (2549). ความสำคัญของกรดอะมิโน. สืบค้นเมื่อ 12 เมษายน 2557, จาก <http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/view.php?group=3&id=80>
- นิธิยา รัตนานนท์. (2553). เคมีอาหาร: ใยโคโรลลอยด์. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- บ้งอร ศรีพานิชกุลชัย, ผดุงขวัญ จิตโรภาส และอรุณศรี ปรีเปรม. (2548). รำข้าวที่มีคุณภาพ คุณค่าต่อสุขภาพ (*Rice Bran: Its Value for Health*). *วารสารศูนย์บริการวิชาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 13(3), 4-9.
- บริษัท เนสท์เล่ (ไทย) จำกัด. (2555). เรื่องข้าว...ข้าว. สืบค้นเมื่อ 13 เมษายน 2557, จาก <https://www.dekthaid.com/knowledge-detail.aspx?nid=30>
- บุญชัย เบญจรงค์กุล. (2557). รำข้าวสามารถนำไปทำอะไรได้อีกเยอะ. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2557, จาก <http://www.rakbankerd.com/agriculture/open.php?id=3956&s=tblrice>
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. (2556). การสีข้าว / *Rice milling*. สืบค้นเมื่อ 13 เมษายน 2557, จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3644/การสีข้าว-rice-milling>
- เยาวพา สุวัตติ. (2557). การถนอมอาหาร. สืบค้นเมื่อ 13 เมษายน 2557, จาก [https://www.gpo.or.th/rdi/html/preserve\\_food.html](https://www.gpo.or.th/rdi/html/preserve_food.html)
- รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. (2535). *วิศวกรรมแปรรูปอาหาร: การถนอมอาหาร*. กรุงเทพฯ: โอ เอส พรีนติ้ง เฮาส์.

- วสันต์ ด้วงคำจันทร์. (2546). *ปัจจัยในการทำงานที่สำคัญสำหรับการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบ  
พ่นฝอยกรณีศึกษากระเจี๊ยบฝง*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา  
วิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- วรรณดา ตูลยชัย. (2551). *เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต พอลิแซ็กคาไรด์ โครงสร้างและสมบัติ*.  
(พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิราสิณี จันทร์เป็ง และนพพล เล็กสวัสดิ์. (2556). *อะไมเลส (Amylase)*. สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2558,  
จาก <http://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/57/57-025.pdf>
- ศูนย์หัวใจสิริกิติ์ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2555). *รำข้าวบำรุงสุขภาพ*.  
สืบค้นเมื่อ 4 กรกฎาคม 2557, จาก <http://www.heart.kku.ac.th>
- สำนักงานคณะกรรมการองค์การอาหารและยา. (2543). *น้ำมันถั่วเหลืองในภาชนะบรรจุที่เปิดสนิท*.  
สืบค้นเมื่อ 4 กันยายน 2558,  
จาก [iodinethailand.fda.moph.go.th/food\\_54/data/announ\\_moph/P198.pdf](http://iodinethailand.fda.moph.go.th/food_54/data/announ_moph/P198.pdf)
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2557). *รายงานสถานการณ์สินค้าเกษตร ปี 2557 และแนวโน้มปี  
2558*. สืบค้นเมื่อ 4 กันยายน 2558, จาก [https://www.bot.or.th/Thai/.../Yearly-  
2557\\_Trend-2558\\_final.pdf](https://www.bot.or.th/Thai/.../Yearly-2557_Trend-2558_final.pdf)
- สำนักโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. (2554). *ปริมาณวิตามิน และแร่ธาตุที่ควร  
ได้รับแต่ละวัน*. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2558, จาก  
<http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/view.php?group=2&id=132>
- สุนันทา วงศ์ปิยชน และวัชร สุขวิวัฒน์. (2556). *Instant Cereal Beverage Product (ผลิตภัณฑ์  
เครื่องดื่มธัญพืชสำเร็จรูป)*. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2558,  
จาก [www.brrd.in.th/main/document/51%20report/28.pdf](http://www.brrd.in.th/main/document/51%20report/28.pdf)
- สุริย์ แฉวतीयง. (2552). *เครื่องดื่มน้ำมันถั่วเหลืองผสมน้ำแครอท*. วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร,  
กรุงเทพมหานคร.

- สมบัติ ขอทวีวัฒนา. (2529). *กรรมวิธีการอบแห้ง*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมพร อิศวิลานนท์ และปรุพท์ สันติธรรมรักษ์. (2555). รายงานสถานการณ์การผลิตและการค้าข้าวของโลกและของไทยปี 2554 และแนวโน้ม. *KNIT Agricultural Policy No. 2012-1*, หน้า 22-30.
- อภิรดา กิตติชัยกุล. (2554). *เครื่องต้มข้าวพิษ*. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2558, จาก [http:// boc.dip.go.th/index.php?option=com\\_content&view=article.pdf](http://boc.dip.go.th/index.php?option=com_content&view=article.pdf)
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2556). *ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6182-6187.
- Ahamed N., Thoufeek, Singhal S., Rekha, P. R., Kulkami, & Mohinder, P. (1996). Physicochemical and functional properties of *Chenopodium quinoa* starch. *Carbohydrate Polymer*, 31(96), 99-103.
- Ahmadian-Kouchaksaraei, Z., Varidi, M., Varidi, M. J., & Pourazarang, H. (2014). Influence of processing conditions on the physicochemical and sensory properties of sesame milk: A novel nutritional beverage. *Food Science and Technology*, 57(1), 299-305.
- Alqahtani, N. K., Ashton, J., Katopo, L., Haque, E., Jones, O. A. H., & Kasapis, S. (2014). Consistency of UHT beverages enriched with insoluble fibre during storage. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 4(1), 84-92.
- Andres, V., Tenorio, M. D., & Villanueva, M. J. (2015). Sensory profile, soluble sugars, organic acids, and mineral content in milk- and soy-juice based beverages. *Food Chemistry*, 173, 1100-1106.
- Anonymous. (2538). *ข้าว สารอาหาร มากกว่า 15 ชนิด*. สืบค้นเมื่อ 12 เมษายน 2557, จาก <http://www.doctor.or.th/article/detail/4032>

- AOAC. (2000). Official method of analysis (17th ed.). Arligton, Virginia: Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (2000). Official method of analysis. (18th ed.). Arligton, Virginia: Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (2002). Official method of analysis. (986.33). Arligton, Virginia : Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (2002). Official method of analysis. (991.14). Arligton, Virginia : Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (2002). Official method of analysis. (2003.07). Arligton, Virginia : Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (2002). Official method of analysis. (997.02). Arligton, Virginia : Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (2005). Official method of analysis. (18th ed.). Arligton, Virginia : Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC. (2012). Official method of analysis. (18th ed.). Arligton, Virginia: Association of Official Analytical Chemists.
- Araujo, R., Casal, M., & Cavaco, P., A. (2008). Application of enzymes for textile fibres processing. *Biocatal Biotrans*, 26, 332-349.
- Bacteriological Analytical Manual (BAM). (2002). *U.S. Food and Drug Administration*. New York: Academic Press.
- Bagchi, T. B., Sharma, S., & Chattopadhyay, K. (2016). Development of NIRS models to predict protein and amylose content of brown rice and proximate compositions of rice bran. *Food Chemistry*, 191, 21-27.

- Butsat, S., & Siriamornpun, S. (2010). Antioxidant capacities and phenolic compounds of the husk, bran and endosperm of Thai rice. *Food Chemistry*, *119*(2), 606-613.
- Central Laboratory (Thailand) Co., Ltd. (2003). *Compendium of method for food analysis*. Chiangmai: Central Laboratory (Thailand).
- Cernikova, M., Bunka, F., Pavlinek, V., Brezina, P., Hrabe, J., & Valasek, P. (2008). Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. *Food Hydrocolloids*, *22*(6), 1054-1061.
- Chotimarkorn, C., Benjakul, S., & Silalai, N. (2008). Antioxidant components and properties of five long-grained rice bran extracts from commercial available cultivars in Thailand. *Food Chemistry*, *111*(3), 636-641.
- Chung, C., Degner, B., & McClements, D. J. (2013). Designing reduced-fat food emulsions: Locust bean gum-fat droplet interactions. *Food Hydrocolloids*, *32*(2), 263-270.
- Clegg, S. M. (1995). *Thickeners, gels and gelling*. In Dans. S.T, Physico-chemical aspects of food processing (pp. 117-141) Glasgow: Blackie Academic & Professional.
- Connor, M. A., Saunders, R. M., & Kohler, G. O. (1976). Rice bran protein concentrates obtained by wet alkaline extraction. *Cereal Chemistry*, *53*(4), 488.
- Da Silva, M. A., Sanches, C., & Amante, E. R. (2006). Prevention of hydrolytic rancidity in rice bran. *Journal of Food Engineering*, *75*(4), 487-491.
- Dickinson, E. (1992). *Introduction to food colloids*. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry.
- Dickinson, E. (2003). Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems. *Food Hydrocolloids*, *17*(1), 25-39.
- Durand, A., Franks, G. V., & Hosken, R. W. (2003). Particle sizes and stability of UHT bovine, cereal and grain milks. *Food Hydrocolloids*, *17*(5), 671-678.

- FAO: Food and Nutrition Division (2004). *Rice and human nutrition*. New York: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fabian, C. B., Huynh, L. H., & Ju, Y. H. (2010). Precipitation of rice bran protein using carrageenan and alginate. *LWT - Food Science and Technology*, *43*(2), 375-379.
- Fabian, C., & Ju, H. Y. (2011). A Review on rice bran protein: Its properties and extraction methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *51*(9), 816-827.
- Fabian, C., Ayucitra, A., Ismadji, S., & Ju, Y. H. (2011). Isolation and characterization of starch from defatted rice bran. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *42*(1), 86-91.
- Faccin, G. L., Miotto, L. A., Vieira, L. d. N., Barreto, P. L. M., & Amante, E. R. (2009). Chemical, sensorial and rheological properties of a new organic rice bran beverage. *Rice Science*, *16*(3), 226-234.
- Fernández, P. P., Martino, M. N., Zaritzky, N. E., Guignon, B., & Sanz, P. D. (2007). Effects of locust bean, xanthan and guar gums on the ice crystals of a sucrose solution frozen at high pressure. *Food Hydrocolloids*, *21*(4), 507-515.
- Friberg, S., Larsson, K., & Sjöblom, J. (2004). *Food emulsions* (4th ed.). New York: Marcel Dekker.
- Friedman, M. (2013). Rice brans, rice bran oils, and rice hulls: composition, food and industrial uses, and bioactivities in humans, animals, and cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *61*(45), 10626-10641.
- Gao, M. T., Kaneko, M., Hirata, M., Toorisaka, E., & Hano, T. (2008). Utilization of rice bran as nutrient source for fermentative lactic acid production. *Bioresource Technology*, *99*(9), 3659-3664.

- Goesaert, H., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2008). *11 - Use of enzymes in the production of cereal-based functional foods and food ingredients*. In E. K. Arendt & F. D. Bello (Eds.), *Gluten-Free Cereal Products and Beverages* (pp. 237-265). San Diego: Academic Press.
- Graham, H. D. (1978). *Colloidal dispersions: Polysaccharide gums*. In *Encyclopedia of Food Science*. Westport. The AVI Pub.Co.Inc.
- Gul, K., Yousuf, B., Singh, A. K., Singh, P., & Wani, A. A. (2015). Rice bran: Nutritional values and its emerging potential for development of functional food-A review. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *6*(1), 24-30.
- Huang, X., Kakuda, Y., & Cui, W. (2001). Hydrocolloids in emulsions: Particle size distribution and interfacial activity. *Food Hydrocolloids*, *15*(4-6), 533-542.
- Ibrahim, G. E., Hassan, I. M., Abd-Elrashid, A. M., El-Massry, K. F., Eh-Ghorab, A. H., Manal, M. R., & Osman, F. (2011). Effect of clouding agents on the quality of apple juice during storage. *Food Hydrocolloids*, *25*(1), 91-97.
- Iqbal, S., Bhangar, M. I., & Anwar, F. (2005). Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. *Food Chemistry*, *93*(2), 265-272.
- International Organization for Standardization (ISO). (2005). ISO 14502-1. *Determination of substance characteristic of green tea and black tea - Part 1 : Content of total polyphenols in tea – Calorimetric method using Folin - Ciocalteu reagent*. Geneva: ISO.
- Jame, C. S. (1995). *Volumetric determination of sugars by copper reduction (Lane and Eynon method)*, in *Analytical Chemistry of Foods*. Chapman & Hall: Oxford.
- Javidi, F., Razavi, S. M. A., Behrouzian, F., & Alghooneh, A. (2016). The influence of basil seed gum, guar gum and their blend on the rheological, physical and sensory properties of low fat ice cream. *Food Hydrocolloids*, *52*, 625-633.

- Jensen, S., Rolin, C., & Ipsen, R. (2010). Stabilisation of acidified skimmed milk with HM pectin. *Food Hydrocolloids*, 24(4), 291-299.
- Jinapong, N., Supphantharika, M., & Jamnong, P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84(2), 194-205.
- Juliano, B. O. (1985). *Rice: Chemistry and technology* (2nd ed), St. Paul, MI. American Association of Cereal Chemists
- Kaewboonnum W., Wachararuji K., & Shotipruk A., (2008). Value added products from by-products of rice bran oil processing. *Chiang Mai Journal of Science*, 35(1), 116-122.
- Keshtkaran, M., Mohammadifar, M. A., Asadi, G. H., Nejad, R. A., & Balaghi, S. (2013). Effect of gum tragacanth on rheological and physical properties of a flavored milk drink made with date syrup. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 4794-4803.
- Kiani, H., Mousavi, M. E., Razavi, H., & Morris, E. R. (2010). Effect of gellan, alone and in combination with high-methoxy pectin, on the structure and stability of doogh, a yogurt-based Iranian drink. *Food Hydrocolloids*, 24(8), 744-754.
- Kim, H. G., Kim, G. W., Oh, H., Yoo, S. Y., Kim, Y. O., & Oh, M. S. (2011). Influence of roasting on the antioxidant activity of small black soybean (*Glycine max L. Merrill*). *LWT - Food Science and Technology*, 44(4), 992-998.
- Koksoy, A., & Kilic, M. (2004). Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. *Food Hydrocolloids*, 18(4), 593-600.
- Kolniak-Ostek, J., Oszmianski, J., & Wojdylo, A. (2013). Effect of apple leaves addition on physicochemical properties of cloudy beverages. *Industrial Crops and Products*, 44(0), 413-420.
- Krzeminski, A., Prell, K. A., Weiss, J., & Hinrichs, J. (2014). Environmental response of pectin-stabilized whey protein aggregates. *Food Hydrocolloids*, 35, 332-340.

- Krongsin, J., Gamonpilas, C., Methacanon, P., Panya, A., & Goh, S. M. (2015). On the stabilisation of calcium-fortified acidified soy milks by pomelo pectin. *Food Hydrocolloids*, *50*, 128-136.
- Lal, S. N. D., O'Connor, C. J., & Eyres, L. (2006). Application of emulsifiers/stabilizers in dairy products of high rheology. *Advances in Colloid and Interface Science*, *123–126*(0), 433-437.
- Laurent, M. A., & Boulenguer, P. (2003). Stabilization mechanism of acid dairy drinks (ADD) induced by pectin. *Food Hydrocolloids*, *17*(4), 445-454.
- Lawless, H. T., & Heymann, H. (1998). *Sensory evaluation of food: Principles and practices*. New York: Chapman & Hall.
- Lerma-García, M. J., Herrero-Martínez, J. M., Simó-Alfonso, E. F., Mendonça, C. R. B., & Ramis-Ramos, G. (2009). Composition, industrial processing and applications of rice bran  $\gamma$ -oryzanol. *Food Chemistry*, *115*(2), 389-404.
- Li, B. B., Smith, B., & Hossain, Md. M. (2006). Extraction of phenolics from citrus peels: II. Enzyme-assisted extraction method. *Separation and Purification Technology*. *48*, 189–196.
- Li, Z., Lu, J., Yang, Z., Han, L., & Tan, T. (2012). Utilization of white rice bran for production of l-lactic acid. *Biomass and Bioenergy*, *39*(0), 53-58.
- Li, S., Yang, X., Yang, S., Zhu, M., & Wang, X. (2012). Technology prospecting on enzymes: application, marketing and engineering. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, *2*(3), 1-11.
- Liang, C., Hu, X., Ni, Y., Wu, J., Chen, F., & Liao, X. (2006). Effect of hydrocolloids on pulp sediment, white sediment, turbidity and viscosity of reconstituted carrot juice. *Food Hydrocolloids*, *20*(8), 1190-1197.

- Lim, L. H., Macdonald, D. G., & Hill, G. A. (2003). Hydrolysis of starch particles using immobilized barley  $\alpha$ -amylase. *Biochemical Engineering Journal*, 13(1), 53-62.
- Liu, X., Zheng, X., Song, Z., Liu, X., Kopparapu, N. k., Wang, X., & Zheng, Y. (2015). Preparation of enzymatic pretreated corn gluten meal hydrolysate and in vivo evaluation of its antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18(Part B), 1147-1157.
- Ma, L., Li, B., Han, F., Yan, S., Wang, L., & Sun, J. (2015). Evaluation of the chemical quality traits of soybean seeds, as related to sensory attributes of soymilk. *Food Chemistry*, 173, 694-701.
- Matia-Merino, L., & Singh, H. (2007). Acid-induced gelation of milk protein concentrates with added pectin: Effect of casein micelle dissociation. *Food Hydrocolloids*, 21(5-6), 765-775.
- McClements, D. J. (2005). *Food emulsions: Principles, practices, and techniques*. (2nd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- McClements, D. J. (2007). Critical review of techniques and methodologies for characterization of emulsion stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(7), 611-649.
- McClements, D. J., & Li, Y. (2010). Structured emulsion-based delivery systems: controlling the digestion and release of lipophilic food components. *Advances in Colloid and Interface Science*, 159(2), 213-228.
- Meneses, N. G. T., Martins, S., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2013). Influence of extraction solvents on the recovery of antioxidant phenolic compounds from brewer's spent grains. *Separation and Purification Technology*, 108(0), 152-158.
- Mirhosseini, H., Tan, C. P., Hamid, N. S. A., & Yusof, S. (2008). Optimization of the contents of Arabic gum, xanthan gum and orange oil affecting turbidity, average particle size, polydispersity index and density in orange beverage emulsion. *Food Hydrocolloids*, 22(7), 1212-1223.

- Molyneux P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology*, 26, 211-219.
- Moongarm, A., Daomukda, N., & Khumpika, S. (2012). Chemical compositions, phytochemicals, and antioxidant capacity of rice bran, rice bran layer, and rice germ. *APCBEE Procedia*, 2, 73-79.
- Nontasan, S., Moongarm, A., & Deeseenthum, S. (2012). Application of functional colorant prepared from black rice bran in yogurt. *APCBEE Procedia*, 2(0), 62-67.
- Perez-Locas, C., & Yaylayan, V. A. (2010). The Maillard reaction and food quality deterioration. In L. H. Skibsted, J. Risbo & M. L. Andersen (Eds.), *Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages* (pp. 70-94). Woodhead Publishing.
- Pierre, G., Maache-Rezzoug, Z., Sannier, F., Rezzoug, S.-A., & Maugard, T. (2011). High-performance hydrolysis of wheat straw using cellulase and thermomechanical pretreatment. *Process Biochemistry*, 46(11), 2194-2200.
- Piorowski, D. T., & McClements, D. J. (2014). Beverage emulsions: Recent developments in formulation, production, and applications. *Food Hydrocolloids*, 42(1), 5-41.
- Potter, R. M., Dougherty, M. P., Halteman, W. A., & Camire, M. E. (2007). Characteristics of wild blueberry–soy beverages. *LWT - Food Science and Technology*, 40(5), 807-814.
- Prakash, J., & Ramanatham, G. (1995). Proximate composition and protein quality of stabilized rice bran. *Journal of Food Science and Technology*, 32(5), 416-419.
- Prakash, J. (1996). Rice bran proteins: Properties and food uses. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36(6), 537-552.
- Prieke, P. E., Wei, L. S., Nelson, A. I. & Steinberg, M. P. (1980). Suspension stability of Illinois soybean beverage. *Journal of Food Science*, 45, 242-245.

- Puerari, C., Magalhães-Guedes, K. T., & Schwan, R. F. (2015). Physicochemical and microbiological characterization of chicha, a rice-based fermented beverage produced by Umutina Brazilian Amerindians. *Food Microbiology*, *46*, 210-217.
- Ramos, C. L., de Almeida, E. G., Pereira, G. V. D. M., Cardoso, P. G., Dias, E. S., & Schwan, R. F. (2010). Determination of dynamic characteristics of microbiota in a fermented beverage produced by Brazilian Amerindians using culture-dependent and culture-independent methods. *International Journal of Food Microbiology*, *140* (2-3), 225-231.
- Ramos, C. L., De-Almeida, E. G., Freire, A. L., & Schwan, R. F. (2011). Diversity of bacteria and yeast in the naturally fermented cotton seed and rice beverage produced by Brazilian Amerindians. *Food Microbiology*, *28* (7), 1380-1386.
- Ribeiro, D. S., Henrique, M. B., Oliveira, L. S., Macedo, G. A., & Fleuri, L. F. (2010). Enzymes in juice processing: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, *45*, 635-641.
- Rigo, L. A., Pohlmann, A. R., Guterres, S. S., & Ruver Beck, R. C. (2014). *Chapter 23 - Rice Bran Oil: Benefits to Health and Applications in Pharmaceutical Formulations*. In: R. R. Watson, V. R. Preedy, & S. Zibadi, *Wheat and rice in disease prevention and health* (pp. 311-322). San Diego: Academic Press.
- Ryan, E. P. (2011). Bioactive food components and health properties of rice bran. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *238*(5), 593-600.
- Ryan, L., Thondre, P. S., & Henry, C. J. K. (2011). Oat-based breakfast cereals are a rich source of polyphenols and high in antioxidant potential. *Journal of Food Composition and Analysis*, *24*(7), 929-934.
- Sadler, G. D. (2010). pH and titratable acidity. In Nielsen, S. S. (Ed.), *pH and titratable acidity* (pp. 219-237). New York: Springer Science+Business Media.

- Salmeron, I., Thomas, K., & Pandiella, S. S. (2015). Effect of potentially probiotic lactic acid bacteria on the physicochemical composition and acceptance of fermented cereal beverages. *Journal of Functional Foods*, *15*, 106-115.
- Saunders, R. M. (1990). The properties of rice bran as a food stuff. *Cereal Food World*, *35*(7), 632-662.
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, *18*(Part B), 820-897.
- Shih, F. F. (2003). An update on the processing of high-protein rice products. *Nahrung*, *47*(6), 420-424.
- Shimoni, E. (2004). Stability and shelf life of bioactive compounds during food processing and storage: Soy isoflavones. *Journal of Food Science*, *69*, 160-166.
- Shittu, T. A., Aminu, R. A., & Abulude, E. O. (2009). Functional effects of xanthan gum on composite cassava-wheat dough and bread. *Food Hydrocolloids*, *23*(8), 2254-2260.
- Silvan, J. M., Amigo-Benavent, M., & Dolores del Castillo, M. (2014). Chapter 23 - Antioxidant Properties of Soy-Based Drinks and Effects of Processing. In V. Preedy (Ed.), *Processing and impact on antioxidants in beverages*, (pp. 225-232). San Diego: Academic Press.
- Skara, N., Novotni, D., Cukelj, N., Smerdel, B., & Curic, D. (2013). Combined effects of inulin, pectin and guar gum on the quality and stability of partially baked frozen bread. *Food Hydrocolloids*, *30*(1), 428-436.
- Stone, H., & Sidel, J. L. (1985). *Sensory evaluation practices*. London: Academic Press.

- Thanonkaew, A., Wongyai, S., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2012). Effect of stabilization of rice bran by domestic heating on mechanical extraction yield, quality, and antioxidant properties of cold-pressed rice bran oil (*Oryza sativa* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 48(2), 231-236.
- Thomas, W. R. (1997). Carageenan, In A. Imeson (ed.), *Thickening and gelling agents for food* (pp. 45-59). London: Blackie Academic & Professional.
- Tuinier, R., ten Grotenhuis, E., & de Kruif, C. G. (2000). The effect of depolymerised guar gum on the stability of skim milk. *Food Hydrocolloids*, 14(1), 1-7.
- Tuncel, N. B., Yilmaz, N., Kocabyk, H., & Uygur, A. (2014). The effect of infrared stabilized rice bran substitution on physicochemical and sensory properties of pan breads: Part I. *Journal of Cereal Science*, 59(2), 155-161.
- U.S. Department of Agriculture. (2012). *Grain: World Market and Trade, United States Department of America*. Retrieved March 25, 2012, from [www.irri.org/science/ricestate/index.asp](http://www.irri.org/science/ricestate/index.asp)
- Viebke, C., Al-Assaf, S., & Phillips, G. O. (2014). Food hydrocolloids and health claims. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 4(2), 101-114.
- Wang-Li, L., Cao, Z., Buser, M., Whitelock, D., Parnell, C. B., & Zhang, Y. (2013). Techniques for measuring particle size distribution of particulate matter emitted from animal feeding operations. *Atmospheric Environment*, 66(0), 25-32.
- Wang, M., Hettiarachchy, N. S., Qi, M., Burks, W., & Siebenmorgen, T. (1999). Preparation and functional properties of rice bran protein isolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(2), 411-416.
- Wang, Y. C., Yu, R. C., & Chou, C. C., (2006). Antioxidative activities of soymilk fermented with lactic acid bacteria and bifidobacteria. *Food Microbiology*, 23, 128-135.

- Wanyo, P., Meeso, N., & Siriamornpun, S. (2014). Effects of different treatments on the antioxidant properties and phenolic compounds of rice bran and rice husk. *Food Chemistry*, *157*(0), 457-463.
- Watchararujji, K., Goto, M., Sasaki, M., & Shotipruk, A. (2008). Value-added subcritical water hydrolysate from rice bran and soybean meal. *Bioresource Technology*, *99*(14), 6207-6213.
- Wu, J., Du, B., Li, J., & Zhang, H. (2014). Influence of homogenisation and the degradation of stabilizer on the stability of acidified milk drinks stabilized by carboxymethylcellulose. *LWT - Food Science and Technology*, *56*(2), 370-376.
- Xu, B., & Chang, S. K. C. (2011). Reduction of antiproliferative capacities, cell-based antioxidant capacities and phytochemical contents of common beans and soybeans upon thermal processing. *Food Chemistry*, *129*(3), 974-981.
- Yadav, M. P., Johnston, D. B., & Hicks, K. B. (2009). Corn fiber gum: New structure/function relationships for this potential beverage flavor stabilizer. *Food Hydrocolloids*, *23*(6), 1488-1493.
- You, S., & Izydorczyk, M. S. (2007). Comparison of the physicochemical properties of barley starches after partial  $\alpha$ -amylolysis and acid/alcohol hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, *69*(3), 489-502.
- Yu, J., Ahmedna, M., & Goktepe, I. (2007). Peanut protein concentrate: Production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry*, *103*(1), 121-129.
- Yu, L. J., Ngadi, M., & Raghavan, G. S. V. (2009). Effect of temperature and pulsed electric field treatment on rennet coagulation properties of milk. *Journal of Food Engineering* *95*(1), 115-118.

ประวัติผู้เขียน

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายอัฐพล อิศระ
วัน เดือน ปีเกิด	24 มกราคม 2534
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	258/4/118 หมู่ 2 ตำบลสมอแข อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
ประวัติการศึกษา 2552-2556	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต เทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
ประวัติการฝึกงาน 2555-2556	นักศึกษาทุนแลกเปลี่ยน โครงการ MIT (Malaysia, Indonesia, Thailand) ของสำนักงานคณะกรรมการ การอุดมศึกษาเพื่อศึกษาค้นคว้าวิจัยทางด้าน เทคโนโลยีการอาหาร ปริญญาตรี วิทยาศาสตร บัณฑิต เทคโนโลยีการอาหาร ที่ University Sains Malaysia (USM) ปีนัง ประเทศมาเลเซีย
2555-2556	นักศึกษาปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต เทคโนโลยีการอาหาร ฝึกงานฝ่ายตรวจสอบคุณภาพ ที่ สหกรณ์โคนม หนองโพ ราชบุรี จำกัด (ในพระบรมราชูปถัมภ์)

## ผลงานวิชาการ

- Issara, U., and Rawdkuen, S. (2015). Physicochemical properties of organic rice bran milk: effect of enzymatic treatment. Proceeding, Food Ingredients Asia Conference 2015 (FiA2015), New Functional Ingredients for Healthy Living. BITEC, Bangkok, Thailand, 10-11<sup>st</sup> September 2015.
- Issara, U., and Rawdkuen, S. (2014). Organic rice bran milk: production and its natural quality attributes. Proceeding, 1<sup>st</sup> Joint ACS AGFD-ACS ICSCT Symposium on Agricultural and Food Chemistry. Montien Riverside Hotel, Bangkok, Thailand., Thailand, March 4-5<sup>th</sup>, 2014.
- Issara, U., and Rawdkuen, S. (2014). Effect of hydrocolloids on physico-chemical properties and stability of organic rice bran milk. Book of abstract, The 2<sup>nd</sup> International Conference on Agriculture and Agro-Industry 2014 (ICAAI2014) Fresh Produce, Novel Process and Health Product. Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand, 20-21<sup>st</sup> November 2014.
- Issara, U., Tongdeesoontorn, W., and Chueamchaitrakun, P. (2013). Study moisture sorption isotherm of Hom-mali rice flour and cookie made from Hom-mali rice flour. Proceeding, Food Innovation Asia Conference 2013. BITEC, Bangkok, Thailand, 13-14<sup>th</sup> June 2013.
- Issara, U., Zzaman, W., and Yang, T.A. (2014). Rambutan seed fat as a potential source of cocoa butter substitute in confectionary product. *International Food Research Journal*. 21(1): 25-31.
- Zzaman, W., Issara, U., Febrianto, N. F., and Yang, T. A. (2014). Fatty acid composition, rheological properties and crystal formation of rambutan fat and cocoa butter. *International Food Research Journal*. 21(3): 983-987.