



## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2558

การเพิ่มมูลค่าอาหารท้องถิ่นจากแป้งสาคุ : หั่วข้าวเกรียบแช่แข็ง

The added value of traditional food from Sago starch : frozen Palaw

Keropok

จรรยา สุขจันทร์

ชูไต้ะ หะยิวาเงาะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

ธันวาคม 2558

รหัสโครงการ 2558A14862004

## รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2558

การเพิ่มมูลค่าอาหารท้องถิ่นจากแป้งสาคุ : หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

จรรยา สุขจันทร์

ชูไพบี๊ หะยิวาเงะ

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

สนับสนุนโดย สำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัย  
ในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ  
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

เรื่อง การเพิ่มมูลค่าอาหารท้องถิ่นจากแป้งสาคุ : หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง  
 ผู้ศึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์จริยา สุขจันทร์  
 นางซูไบตะ หะยีวาเงาะ  
 คณะ วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร  
 มหาวิทยาลัย ราชภัฏยะลา  
 ปี 2558

### บทคัดย่อ

การพัฒนาผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็งโดยใช้วัตถุดิบจากท้องถิ่น จะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันให้กับอาหารท้องถิ่น การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตหัวข้าวเกรียบแช่แข็งด้วยวิธี air-blast โดยการทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งสาคุในสูตรการผลิต 6 ระดับ คือ 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 และการใช้สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STPP) เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์แช่แข็งในปริมาณร้อยละ 0.2, 0.3 และ 0.4 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด พบว่า หัวข้าวเกรียบที่ผลิตโดยใช้แป้งสาคุในปริมาณสูงขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง ( $p < 0.05$ ) ค่าเนื้อสัมผัส (TPA) ได้แก่ Hardness และค่า fracturability มีแนวโน้มลดลง ( $p < 0.05$ ) แต่ไม่ส่งผลต่อค่า drip loss ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงถึงอัตราส่วนของแป้งสาคุและแป้งมันสำปะหลังที่เหมาะสมคือ 40:60 ซึ่งได้รับคะแนนการยอมรับสูงสุดในด้านความชอบรวม และการเติม STPP ปริมาณร้อยละ 0.4 ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีที่สุด จากปริมาณความชื้น ค่า hardness และ fracturability ซึ่งมีค่าสูง ( $p < 0.05$ ) โดยไม่ส่งผลต่อค่า drip loss อัตราการขยายตัวหลังทอด และคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ( $p > 0.05$ ) เมื่อนำหัวข้าวเกรียบแช่แข็งมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้าใยอาหาร และคาร์โบไฮเดรต มีค่าเท่ากับร้อยละ 19.31, 17.96, 13.18, 4.87, 0.11 และ 44.57 ตามลำดับ จึงจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์ในกลุ่มข้าวเกรียบปลา

คำสำคัญ: อาหารท้องถิ่น หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง แป้งสาคุ

**Research Title:** The added value of traditional food from Sago starch : frozen Palaw

Keropok

**Researchers:** Jariya Sukjuntra

Zubaidah Hajiwangoh

**Faculty:** Science, Technology and Agriculture

**University:** Yala Rajabhat

**Year:** 2015

### **Abstract**

Development of frozen Palaw Keropok by using local raw material might increase competition potential of traditional food. The aims of this research was to study appropriate amount of sago starch to substitute cassava starch in the Palaw Keropok recipes that produced by air-blast freezer. The ratio of substitution including 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 and 0:100 (sago starch : cassava starch) were investigated. The other objective was to improve the product texture by adding sodium tripolyphosphate (STPP) (0.2, 0.3 and 0.4 % w/w of total mixture). It was found that increasing sago starch in the recipes significantly decreased product moisture ( $p<0.05$ ). Texture characteristics including hardness and fracturability also tended to decrease ( $p<0.05$ ). However, it did not affect drip loss. The most appropriated ratio of sago starch substitution in the recipes was 40:60, that got the highest sensory score on overall acceptance in the product. Addition of 0.4% STPP gave the highest quality of the product indicated by the highest moisture, hardness and fracturability ( $p<0.05$ ). Whereas it did not affect the drip loss, expansion and sensory score ( $p>0.05$ ). In addition, moisture, protein, lipid, ash, fiber and carbohydrate in the product were 19.31%, 17.96%, 13.18%, 4.87%, 0.11% and 44.57%, respectively. It is a product with high nutritional value compared with the fish cracker.

**Keywords :** Tradition food Frozen Palaw Keropok Sago starch

## กิตติกรรมประกาศ

รายงานวิจัย “การเพิ่มมูลค่าอาหารท้องถิ่นจากแป้งสาตู : หัวข้าวเกรียบแซ่แข็ง” ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากสำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2558

รายงานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความอนุเคราะห์จากหลายฝ่าย ได้แก่ บริษัทชัยเจริญมารีน (2002) จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือและบุคลากรในการแซ่แข็งผลิตภัณฑ์ คณาจารย์นักวิทยาศาสตร์ และนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารซึ่งมีส่วนร่วมในกระบวนการวิจัย คณะนักวิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้วิจัย

จริยา สุขจันทร์

ชูไบตะ หะยีวาเงาะ

ธันวาคม 2558



## สารบัญ

|                                                                 | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ                                                        | (1)  |
| กิตติกรรมประกาศ                                                 | (3)  |
| สารบัญ                                                          | (4)  |
| สารบัญตาราง                                                     | (6)  |
| สารบัญภาพ                                                       | (7)  |
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>                                             |      |
| ความเป็นมาและความสำคัญ                                          | 1    |
| วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย                                     | 1    |
| ขอบเขตของโครงการวิจัย                                           | 2    |
| ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                       | 2    |
| <b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>                   |      |
| หวัข้าวเกรียบ                                                   | 3    |
| สมบัติของแป้ง                                                   | 5    |
| ขั้นตอนการผลิตหวัข้าวเกรียบ                                     | 8    |
| การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของอาหารทอด                       | 8    |
| การแปรรูปอาหารโดยใช้ความเย็น                                    | 10   |
| ขั้นตอนการเกิดการแช่แข็ง                                        | 10   |
| การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบในอาหารแช่แข็ง                       | 13   |
| วิธีการและอุปกรณ์ในการแช่แข็งอาหาร                              | 14   |
| การละลายผลึกน้ำแข็ง                                             | 16   |
| สารประกอบฟอสเฟต                                                 | 17   |
| การใช้สารฟอสเฟตในอาหาร                                          | 20   |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                                           | 21   |
| <b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย</b>                            |      |
| วัตถุประสงค์                                                    | 24   |
| อุปกรณ์ในการผลิตหวัข้าวเกรียบ                                   | 24   |
| อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี | 24   |
| วิธีดำเนินการวิจัย                                              | 24   |

## สารบัญ(ต่อ)

|                                                                | หน้า |
|----------------------------------------------------------------|------|
| <b>บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล</b>                                  |      |
| ผลการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแซ่แข็ง | 28   |
| ผลของสารโพสเฟตต่อสมบัติต่างๆของผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแซ่แข็ง   | 33   |
| ผลการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์                        | 37   |
| <b>บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ</b>                            |      |
| สรุปผล                                                         | 39   |
| ข้อเสนอแนะ                                                     | 40   |
| ผลผลิต (output)                                                | 40   |
| <b>รายงานการเงิน</b>                                           | 41   |
| <b>เอกสารอ้างอิง</b>                                           | 42   |
| <b>ภาคผนวก</b>                                                 |      |
| ภาคผนวก ก . การวิเคราะห์ทางเคมี                                | 48   |
| ภาคผนวก ข. แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส                             | 54   |
| ภาคผนวก ค. ประวัติผู้วิจัย                                     | 55   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า                                                    |
|----------|---------------------------------------------------------|
| 2.1      | เปรียบเทียบการแช่แข็งแบบช้าและการแช่แข็งแบบเร็ว         |
| 3.1      | ส่วนผสมในการผลิตหั่วข้าวเกรียบ                          |
| 4.1      | คุณภาพทางเคมีและกายภาพของหั่วข้าวเกรียบแช่แข็ง          |
| 4.2      | เนื้อสัมผัสของหั่วข้าวเกรียบแช่แข็ง                     |
| 4.3      | คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหั่วข้าวเกรียบแช่แข็งหลังทอด |
| 4.4      | คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของหั่วข้าวเกรียบแช่แข็ง       |
| 4.5      | เนื้อสัมผัส ของหั่วข้าวเกรียบแช่แข็ง                    |
| 4.6      | คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหั่วข้าวเกรียบแช่แข็ง        |
| 4.7      | คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์หั่วข้าวเกรียบแช่แข็ง      |



## สารบัญภาพ

| ภาพที่ | หน้า                                                                      |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1    | หัวข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งสาคุและแป้งมันสำปะหลัง                         | 28 |
| 4.2    | หัวข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งสาคุและแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่างๆ หลังทอด | 33 |
| 4.3    | หัวข้าวเกรียบที่เติมสารSTPP ในปริมาณต่างๆก่อนทอด                          | 34 |
| 4.4    | หัวข้าวเกรียบที่เติมสารSTPP ในปริมาณต่างๆหลังทอด                          | 36 |
| 4.5    | หัวข้าวเกรียบแช่แข็งสูตรพัฒนา ก่อน-หลัง การทอด                            | 37 |



## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญ

“หัวข้าวเกรียบ” เป็นอาหารท้องถิ่นของ 3 จังหวัดชายแดนใต้ที่รู้จักอย่างแพร่หลาย แหล่งผลิตส่วนใหญ่อยู่ในจังหวัดปัตตานีและนราธิวาส วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตเป็นวัตถุดิบในท้องถิ่น ได้แก่ เนื้อปลาสดและแป้งสาคู จัดเป็นอาหารว่างประเภททอดเช่นเดียวกับลูกชิ้นและไส้กรอก จุดเด่นของผลิตภัณฑ์คือมีรสชาติอร่อยและมีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะโปรตีนสูงถึงร้อยละ 15-17 และแคลเซียมสูงถึง 4,020 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (จริยาและคณะ, 2554) ความนิยมบริโภคผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบันทำให้มีการทดแทนแป้งสาคูด้วยแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 100 ด้วยเหตุผลที่ว่าหาซื้อได้ง่ายเพราะแป้งมันสำปะหลังมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม อนึ่งผลิตภัณฑ์ชนิดนี้มีข้อจำกัดเรื่องอายุการเก็บรักษาสั้น นั่นคือสามารถเก็บได้เพียง 1 วันที่อุณหภูมิห้อง (Nor Khaizura, 2009) และ 12-15 วัน ในสภาวะแช่เย็น ( $3\pm 1$  องศาเซลเซียส) (จริยาและคณะ, 2554) ดังนั้นการพัฒนาหัวข้าวเกรียบเป็นอาหารแช่แข็งจึงเป็นการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ทำให้มีศักยภาพการแข่งขันในตลาดได้สูงขึ้น

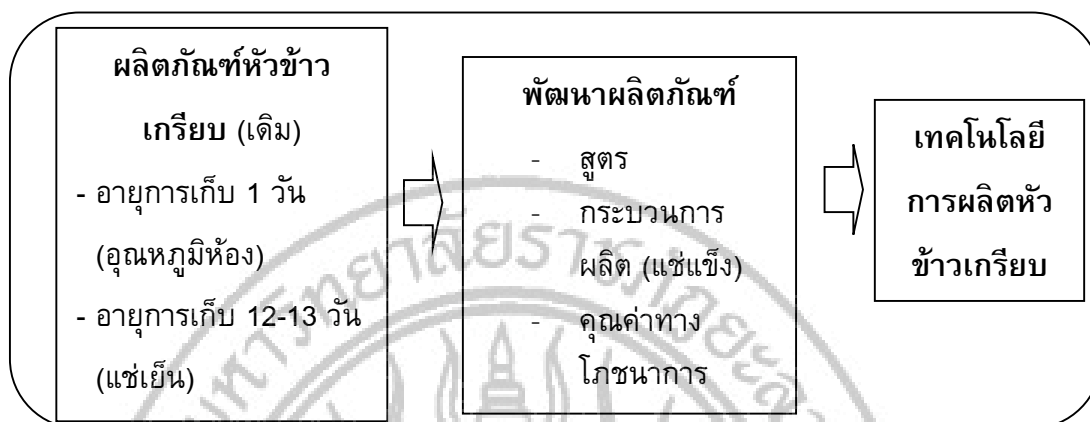
อาหารแช่แข็ง เป็นการนำอาหารมาผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิให้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง จัดเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยยืดเวลาในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารให้นานขึ้น โดยที่ยังคงรสชาติของอาหารไว้ ปัญหาที่พบในอาหารแช่แข็งคือ การสูญเสียน้ำในขั้นตอนการละลาย (drip loss) ซึ่งทำให้อาหารสูญเสียเนื้อสัมผัสที่ดีไป จึงมีการใช้สารในกลุ่มโพลีฟอสเฟตมาช่วยเพิ่มความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโปรตีนเพื่อช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว (Alex and Jose, 2008) ซึ่งกฎหมายกำหนดให้มีการเติมฟอสเฟตได้ โดยให้มีเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายได้ไม่เกิน 3000 ppm ทั้งนี้ในปัจจุบันอาหารแช่แข็งมีบทบาทต่อวิถีชีวิตของคนไทยมากยิ่งขึ้น ทำให้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งรูปแบบใหม่ ๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นการพัฒนาผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็งจึงเป็นการต่อยอดภูมิปัญญาและเพิ่มมูลค่าให้กับอาหารท้องถิ่น ให้สามารถนำไปจำหน่ายได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น

#### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง
2. เพื่อศึกษาผลของการใช้สารโพลีฟอสเฟตในการผลิตหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง
3. เพื่อศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

## ขอบเขตของโครงการวิจัย

การวิจัยเพื่อพัฒนาสูตรและกระบวนการผลิตหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง ให้สามารถผลิตได้จริงในเชิงพาณิชย์



## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

### ด้านวิชาการ

- บทความวิจัยเผยแพร่ในวารสารที่ได้มาตรฐาน
- ใช้เป็นบทปฏิบัติการ สำหรับการเรียนการสอนของนักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

### ด้านนโยบาย

- หน่วยงานภาครัฐ อาทิ อุตสาหกรรม พัฒนาชุมชน สนับสนุนให้เกิดเป็นธุรกิจการผลิตอาหารท้องถิ่น

### ด้านเศรษฐกิจ/พาณิชย์

- ผู้ประกอบการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์

### ด้านสังคมและชุมชน

- ผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบเป็นที่รู้จักของผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้มีการผลิตในพื้นที่เพิ่มขึ้น
- มีการใช้ประโยชน์จากแป้งสาธิตเพิ่มขึ้น เกิดการตื่นตัวในการอนุรักษ์พืชสาธิตในพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนใต้

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### ห้วข้าวเกรียบ

ห้วข้าวเกรียบ หมายถึง ข้าวเกรียบแบบนึ่งหรือข้าวเกรียบพลาสติก เป็นอาหารพื้นบ้านที่ประชาชนใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้นิยมรับประทานกันมาก มีชื่อภาษาถิ่นว่า กือปาลอเกอรูโปะ (Kepala keropok) ซึ่ง kepala หมายถึง หัว ส่วน keropok หมายถึง ข้าวเกรียบ ห้วข้าวเกรียบจะเป็นกลุ่มย่อยของข้าวเกรียบ จัดอยู่ในกลุ่มอาหารรับประทานเล่นจำพวกเดียวกับลูกชิ้น แหนม ไส้กรอก ฯลฯ จุดเด่นของผลิตภัณฑ์ห้วข้าวเกรียบ คือ มีปริมาณโปรตีนและแคลเซียมสูง เนื่องจากใช้ปลาพร้อมทั้งก้างบดจนเป็นเนื้อเดียวกันเป็นส่วนผสมปริมาณสูงกว่าร้อยละ 60 ในขณะที่ข้าวเกรียบปลาโดยทั่วไปเติมเนื้อปลาเพียงร้อยละ 20-25 และเป็นเนื้อปลาล้วนที่ไม่มีก้างเป็นส่วนผสม (เพลินใจ ตังคณะกุล, 2546) จึงเป็นอาหารรับประทานเล่นที่อุดมไปด้วยโปรตีนและแคลเซียมเหมาะสมสำหรับผู้บริโภคทุกวัย กระบวนการผลิตห้วข้าวเกรียบจะมีส่วนผสมหลัก คือ ปลา นำมาทอดผสมกับส่วนผสมรอง คือ แป้งมันสำปะหลัง และเครื่องปรุงรสต่างๆ นวดจนเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงนำมาขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก นำไปต้มให้สุกในน้ำเดือด แล้วจึงนำมาทอดในน้ำมัน (deep frying) รับประทานพร้อมน้ำจิ้ม (Mohamed *et al.*, 2008)

ห้วข้าวเกรียบมีอายุการเก็บรักษาสั้น โดยสามารถเก็บได้เพียง 1 วัน ที่อุณหภูมิห้องเท่านั้น (Embong *et al.*, 1990) โดยมีรายงานพบว่าจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดในห้วข้าวเกรียบมีการเพิ่มขึ้นจาก  $1 \times 10^2$  cfu/g เป็น  $1.5 \times 10^3$  cfu/g หลังจากเก็บ 2 วัน ที่อุณหภูมิห้อง (Che and Mat, 1992) เนื่องจากห้วข้าวเกรียบนั้นมีค่า pH อยู่ในช่วง 6.61-6.87 และมีค่า Water activity ( $a_w$ ) อยู่ในช่วง 0.98-0.99 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ (Nor Khaizura *et al.*, 2010)

#### วัตถุดิบในการผลิตห้วข้าวเกรียบ ดังนี้

1. ปลา ปลาที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตห้วข้าวเกรียบมีหลายชนิด อาทิ ปลาทุบแซก ปลาหลังเขียว ปลาข้างเหลือง เป็นต้น โดยปลาที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ ปลาทุบแซก
2. แป้ง แป้งเป็นวัตถุดิบหลักอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการผลิตห้วข้าวเกรียบ เนื่องจากมีผลต่อคุณภาพของห้วข้าวเกรียบ กล่าวคือ ทำให้ห้วข้าวเกรียบพองตัว ส่วนใหญ่แป้งที่ใช้ในการทำห้วข้าวเกรียบ คือ แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคู ซึ่งเป็นแป้งในกลุ่มที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำประมาณร้อยละ 20 และมีลักษณะดังนี้

**2.1 แป้งมันสำปะหลัง** มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีขาว ลักษณะเด่นของแป้งชนิดนี้คือมีความบริสุทธิ์สูง มีสิ่งปนเปื้อนต่ำ โดยจะมีสตาร์ชอยู่มากกว่าร้อยละ 95 มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.05 ไขมันร้อยละ 0.14 และเถ้าร้อยละ 0.16 มีปริมาณอะมิโลสค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่น คือ ร้อยละ 17-18 และมีปริมาณอะมิโลเพกทินร้อยละ 83 โดยน้ำหนักแห้ง (Taewee, *et al.*, 2008; จันทรพิชญ์ บางสำราจ, 2550)

**2.2 แป้งสาคุ** สาคุจัดเป็นพืชท้องถิ่นชนิดหนึ่งในตระกูลปาล์ม เมื่อลำต้นมีอายุ 8-10 ปี จะนำมาผลิตเป็นแป้งสาคุ ซึ่งในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตหรือใช้ประโยชน์แป้งสาคุในระดับอุตสาหกรรม (จันทร์เพ็ญ ไชยัญ, 2549) เม็ดแป้งสาคุประกอบด้วย โปรตีนร้อยละ 0.10 ไขมันร้อยละ 0.10 เถ้าร้อยละ 0.20 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.02 มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 27 และมีปริมาณอะมิโลเพกทินร้อยละ 73 โดยน้ำหนักแห้ง เม็ดแป้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ขนาด คือ 0-15 ไมโครเมตร และน้อยกว่า 8 ไมโครเมตร (วิภาดา มุรินทร์พมาศ และภารดี พลไชย, 2554)

### 2.3 เครื่องปรุงรส เครื่องปรุงรสที่ใช้ในการหั่นข้าวเกรียบมีดังนี้

**2.3.1 เกลือ** ในทางวิทยาศาสตร์จะหมายถึง สารประกอบที่เกิดจากอนุมูลของกรดรวมตัวกับอนุมูลของด่าง ซึ่งในธรรมชาติมีอยู่มากมาย เช่น โพแทสเซียมคลอไรด์ โซเดียมคลอไรด์ และแมกนีเซียมซัลเฟต เป็นต้น แต่เกลือที่มนุษย์ใช้ในการถนอมอาหารมาแต่โบราณ คือ เกลือโซเดียมคลอไรด์ หรือที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อ เกลือแกง (cooking salt, table salt) สูตรเคมี คือ NaCl มีสีขาวลักษณะเป็นผลึกลูกบาศก์ มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น (hygroscopic) และจะดูดความชื้นได้มากขึ้นถ้าเกลือนั้นไม่บริสุทธิ์ (อรพิน ชัยประสพ, 2548) เกลือเป็นสารเพิ่มรสชาติของข้าวเกรียบการเติมเกลือร้อยละ 0.5-5.5 ช่วยเพิ่มการพองตัว (สุมาลีกา เปี่ยมมงคล, 2544)

**2.3.2 น้ำตาล (sugar)** เป็นสารให้ความหวานที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เดิมการบริโภคน้ำตาลจะอยู่ในรูปน้ำตาลทราย แต่ในปัจจุบันมีการผลิตสารให้ความหวานในรูปแบบอื่นๆ เช่น น้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมฟรักโทส ตลอดจนน้ำตาลเทียมขึ้นใช้แทนน้ำตาลทราย น้ำตาลไม่ว่าจะเป็นน้ำตาลทราย น้ำตาลกลูโคส และหรือน้ำตาลฟรักโทส ทั้งที่มีอยู่ในอาหารหรือที่เติมลงไปในการบวนการผลิตหรือถนอมอาหาร จะเกี่ยวข้องกับลักษณะคุณภาพ ตลอดจนอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อาหาร อันเป็นผลมาจากคุณสมบัติของน้ำตาลในด้าน เคมีกายภาพ และจุลินทรีย์ (อรพิน ชัยประสพ, 2548) น้ำตาลเป็นเครื่องปรุง ที่ให้รสหวานแก่ข้าวเกรียบมีผลทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งช้าลง ทำให้การสุกของแป้งเป็นไปอย่างช้าๆ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำตาลรีดิวซิง (reducing sugar) สามารถจับตัวกับน้ำตาลได้ดีกว่าแป้ง จึงสามารถดึงน้ำไปรวมได้ดีกว่า ถ้าใส่น้ำตาลมากเกินไปแป้งเปียกจะไม่พองตัว และเมื่อนำไปทอดจะมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่พองตัวด้วย (สุมาลีกา เปี่ยมมงคล, 2554)

**2.3.3 ผงชูรส** เป็นเกลือของกรดกลูตามิกซึ่งเป็นกรดอะมิโนชนิดหนึ่ง พบในอาหารตามธรรมชาติ เช่น พืชทะเล ถั่วเหลือง และหัวบีท จัดเป็นวัตถุเจือปนอาหารประเภทวัตถุแต่งรส อาหารที่มีการใช้ในอาหารกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก มีชื่อเคมีว่า โมโนโซเดียมแอล-กลูตาเมท (monosodium-L-glutamate) ผงชูรสมีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่มีกลิ่น มีประโยชน์ในการเป็นสารเพิ่มรสชาติอาหาร (flavor enhancer) ทำให้อาหารมีรสชาติโดยรวมดีขึ้น เนื่องจากเมื่อผงชูรสละลายน้ำจะแตกตัวได้โซเดียมและกลูตาเมทอิสระที่มีสมบัติในการเพิ่มรสชาติอาหาร โดยช่วยเพิ่มรสชาติของรสชาติพื้นฐาน 4 รสที่รู้จักกันดีคือ รสหวาน รสเค็ม รสเปรี้ยว และรสขม ให้เด่นชัดมากขึ้น ในทางการศึกษาทางเภสัชวิทยาเกี่ยวกับรสชาติพบว่า ผงชูรสสามารถกระตุ้น glutamate receptor แล้วทำให้เกิดรสชาติเฉพาะตาที่เรียกว่า รส อูมามิ (umami) ซึ่งเป็นรสที่ 5 ที่มนุษย์

สามารถรับรู้ได้และเป็นเอกลักษณ์แตกต่างจากรสชาติพื้นฐานทั้ง 4 นอกจากนี้ผงชูรสจะกระตุ้นประสาทในปากและลำคอ จึงทำให้รู้สึกอาหารอร่อยขึ้นและเกิดความรู้สึกซ่าเล็กน้อยและทำให้รสต่างๆ สามารถค้างอยู่ในปากและลำคอได้เป็นเวลานาน ช่วยเสริมรสชาติของอาหารได้ดีโดยเฉพาะในอาหารคาว เช่น ช่วยให้ไก่มีรสชาติมากขึ้น ช่วยให้รสของผักเหมือนผักสด ช่วยเน้นรสหวานของเนื้อเค็ม นอกจากนี้ยังทำให้ความรู้สึกทางด้านรสชาติของอาหารบางอย่างลดน้อยลง เช่น ความฉุนของหัวหอม กลิ่นคาวของสัตว์ดิบ กลิ่นของผักดิบ กลิ่นเปลือกและกลิ่นดินในเผือก องค์การอนามัยโลกได้แนะนำการใช้ผงชูรสอย่างปลอดภัยโดยกำหนดให้รับประทานผงชูรสได้ไม่เกินวันละ 120 มิลลิกรัม ต่อ น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม และไม่ควรใช้กับเด็กทารกที่อายุต่ำกว่า 12 สัปดาห์ (วิภาดา มุรินทร์พนมาศ และภารดี พลไชย, 2554)

## สมบัติของแป้ง

**1. การพองตัวและการละลาย (swelling and solubility)** แป้งที่พบในธรรมชาติ รูปร่างลักษณะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งนั้นๆ โครงสร้างของเมล็ดแป้งจะประกอบด้วยรูพรุนจำนวนมากบริเวณพื้นผิวของเมล็ดแป้ง ทำให้น้ำหรือของเหลวสามารถแพร่เข้าไปในเม็ดแป้งได้อย่างอิสระ เมื่อเติมน้ำลงไป แป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำจนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับความชื้นภายนอก ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งแป้งทั่วไปจะเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศจะมีความชื้นอยู่ระหว่าง ร้อยละ 10-17 ดังนั้นขณะที่แป้งดิบอยู่ในน้ำเย็นเม็ดแป้งจะสามารถดูดซึมน้ำและสามารถพองตัวได้เพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเม็ดแป้งถูกทำลายหรือถูกทำให้เปลี่ยนแปลงสภาพไปจากปกติ โดยกระบวนการต่าง ๆ เช่น การลดขนาดเม็ดแป้ง การทำให้เกิดเจลลิตินในเซชัน เป็นต้น จะส่งผลให้เม็ดแป้งสามารถดูดซึมน้ำและพองตัวได้ดีกว่าเม็ดแป้งดิบ แม้ว่าเม็ดแป้งจะไม่ละลายในน้ำเย็นแต่จะดูดซึมน้ำไว้ได้ประมาณ ร้อยละ 25-30 ทั้งนี้เนื่องจากการจัดเรียงตัวกันระหว่างโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน (intermixed) ภายในเม็ดแป้ง ในส่วน crystallite โมเลกุลอยู่กันอย่างหนาแน่นและเป็นระเบียบ ช่วยป้องกันการกระจายตัวและทำให้ไม่ละลายในน้ำเย็น ส่วนของ amorphous ซึ่งเป็นส่วนที่เกาะเกี่ยวกันอย่างหลวมๆ ไม่เป็นระเบียบและมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระมาก สามารถเกิดปฏิกิริยากับน้ำ (hydration) ได้บ้างแม้ในน้ำเย็น เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 องศาเซลเซียส ขึ้นไป ส่วน amorphous จับกับน้ำได้มากขึ้นและการจับกันของโมเลกุลในส่วน crystallite เริ่มคลายความหนาแน่นลง โมเลกุลส่วนที่เริ่มคลายตัวออกจากกันจับกับน้ำทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น โมเลกุลในส่วน crystallite ที่เหลืออยู่เกิดสภาพคล้ายร่างแหเรียกว่า micelle network ซึ่งยึดเหนี่ยวกันไว้ทำให้เม็ดแป้งยังคงสภาพอยู่ได้ แต่อาจมีโมเลกุลของอะมิโลส และอะมิโลเพกทินซึ่งมีขนาดเล็กและอิสระกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง เมื่อทำให้อุณหภูมิ น้ำแป้งสูงขึ้นไปอีก ส่วน crystallite ที่เหลืออยู่ก็จะคลายตัวออกทำให้เม็ดแป้งพองมากขึ้นและโมเลกุลแป้งอยู่ในสภาวะสลายละลายมากขึ้น

แป้งสาคุมีองค์ประกอบทางเคมี ความสามารถในการพองตัว และสมบัติด้านความหนืดที่แตกต่างจากแป้งสาลีอเนกประสงค์มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีปริมาณโปรตีนที่ต่ำกว่า แต่สามารถพองตัวได้ดีกว่า นอกจากนี้แป้งสาคุจากแหล่งผลิตต่างกันก็มีสมบัติบางประการที่ต่างกันไป เมื่อทดลองใช้แป้งสาคุทดแทนแป้งสาลีในคุกกี้ที่ระดับร้อยละ 0-100 พบว่า คุกกี้มีการแผ่ขยายตัวมากขึ้น เนื้อคุกกี้มีลักษณะโปร่งมากขึ้น ความหนาแน่น ความแข็งลดลง ความเปราะเพิ่มขึ้น และการยอมรับในด้านต่างๆ ลดลงเมื่อเพิ่มระดับการทดแทน โดยระดับการทดแทนสูงที่สุดที่ผลิตภัณฑ์ยังคงเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค คือ ร้อยละ 40 อย่างไรก็ตาม การนำแป้งสาคุไปใช้ในระดับอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณภาพของแป้งสาคุที่ผลิตขึ้น (ศศิวิมล บุญยั้ง และคณะ , 2550)

**2. การเกิดเจลลิตไนเซชัน (gelatinization)** เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งจากสภาวะที่มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเม็ดแป้งอย่างมีระเบียบสู่สภาวะที่ไม่มีระเบียบ เมื่อนำแป้งใส่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งดูดซับน้ำได้ในปริมาณจำกัดปริมาณหนึ่ง แต่จะยังไม่พองตัวหรือพองตัวได้จำกัดมากและสังเกตได้ยาก การพองตัวของเม็ดแป้งสาลีในน้ำที่อุณหภูมิห้องพบว่าแป้งที่พองตัวมีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 และปรากฏการณ์นี้สามารถผันกลับได้ (reversible) โดยเมื่อนำไปอบแห้งก็จะได้แป้งที่มีลักษณะและคุณสมบัติดั้งเดิม ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลอะมิโลสและอะมิโลเพกทินในส่วนที่เป็น crystallite จับตัวกันอย่างหนาแน่นแข็งแรงจึงไม่ละลายในน้ำเย็น แต่น้ำอาจจะซึมเข้าไปในส่วนของเม็ดแป้งซึ่งไม่เป็นระเบียบและมีกลุ่มไฮดรอกซิลอิสระได้บ้าง แต่เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งประมาณ 60-75 องศาเซลเซียส หรือใช้สารเคมี เช่น ให้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส แก่แป้งสาลีจะมีผลทำให้การจับยึดกันระหว่างโมเลกุลของแป้งในส่วน crystallite ลดลง เกิดปฏิกิริยารับน้ำและการพองตัวของเม็ดแป้งซึ่งไม่สามารถผันกลับได้ (irreversible) และทำให้สารละลายแป้งมีความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่สำคัญขึ้นคือ มีการพองตัวของเม็ดแป้งและเครื่องหมายกากบาท (maltese cross) ภายในเม็ดแป้งหายไป อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของแป้ง เนื่องจากแป้งแต่ละชนิดมีโครงสร้างส่วน crystallite ที่แตกต่างกัน ทั้งระดับการจับกัน (degree of association) และความสม่ำเสมอของการเกิดเจลลิตไนเซชันไม่พร้อมกันทุกเม็ด แม้แต่ในแป้งชนิดเดียวกันจากแหล่งเดียวกันก็ตาม อาจมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนเซชันที่ห่างกันถึง 8-10 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปเม็ดแป้งขนาดใหญ่จะเกิดเจลลิตไนเซชันได้ก่อนขนาดเล็ก แต่เมื่อใช้ SEM ส่องดูโครงสร้างของเม็ดแป้งข้าวบาร์เลย์ซึ่งมีเม็ดแป้งขนาดเล็กอยู่ประมาณร้อยละ 30 พบว่าการสูญเสียเครื่องหมายกากบาทจะเกิดขึ้นได้พร้อมๆ กัน แป้งอาจเกิดเจลลิตไนเซชัน ได้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยการละลายใน Solvent เช่น alkali, liquid ammonia, aq.  $\text{CaCl}_2$

โดยปกติแล้วเม็ดสตาร์ชจะไม่ละลายในน้ำเย็น แต่เมื่ออยู่ในน้ำอุ่นเม็ดสตาร์ชจะพองตัวและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นเรื่อยๆ เม็ดแป้งจะพองตัวมากขึ้นจนกระทั่งแตกได้เป็นสารละลายชั้นหนืด เรียกกระบวนการนี้ว่า เจลลิตไนเซชัน (gelatinization) คุณสมบัติในการเกิดปฏิกิริยากับน้ำมีความสำคัญในการนำแป้งไปใช้ประโยชน์ เม็ดแป้งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเมื่อรับ

ความร้อนพลังงานความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างของเม็ดแป้งทำให้โมเลกุลของน้ำสามารถเข้าไปจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระของเม็ดแป้งได้ และเม็ดแป้งจะเริ่มพองตัวขึ้น ซึ่งกำลังการพองตัวของเม็ดแป้งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง แป้งที่มีอะมิโลสสูงจะมีการพองตัวต่ำกว่าแป้งที่มีอะมิโลสต่ำ แป้งมันสำปะหลังเป็นแป้งที่มีอะมิโลสต่ำจึงมีการพองตัวสูง ทำให้มีความหนืดสูงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งชนิดอื่น ดังนั้น แป้งเปียกของแป้งมันสำปะหลังจะไม่คงตัว (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) จึงทำให้แป้งมันสำปะหลังถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบ เนื่องจากมีผลต่อการพองตัวดีกว่าแป้งชนิดอื่น และยังมีผลต่อความสม่ำเสมอของผิวและการบีบอม้วนตัว ทั้งนี้เป็นผลจากปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน ตลอดจนโครงสร้างขนาดและรูปร่างของแป้งนั่นเอง (นาฏยา แหละหมัด และ นูริฮาน สาและ, 2551)

**3. การคืนตัวของแป้งสุก (retrogradation)** การคืนตัวของแป้งสุกเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งสุกซึ่งร้อนมีอุณหภูมิลดลง ขณะที่อุณหภูมิลดลง โมเลกุลอิสระของอะมิโลสซึ่งอยู่ใกล้กันจะเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันและจับตัวกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้เกิดสภาพการจัดเรียงตัวของโมเลกุลขึ้นใหม่ โดยเปลี่ยนจากลักษณะการกระจายตัวของโมเลกุลเป็นส่วนที่เป็น crystallite ซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดยใช้ X-ray diffraction (Collison, 1968) ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นต่ำ การจัดเรียงตัวของโมเลกุลเหล่านี้จะทำให้เกิดลักษณะตะกอนขุ่นขาว แต่ถ้าน้ำแป้งสุกมีความเข้มข้นสูง เช่น แป้งข้าวโพดความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนัก จำนวนโมเลกุลที่มามีการจัดเรียงตัวกันใหม่มีมากและระหว่างเคลื่อนที่เข้ามาจับกันจะสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และในที่สุดเกิดลักษณะเจลที่อ่อนนุ่ม

การคืนตัวของน้ำแป้งโดยทั่วไปจะเกิดได้ดีเมื่อน้ำแป้งมีความเข้มข้นสูง และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำ แป้งแต่ละชนิดมีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกแตกต่างกัน โดยทั่วไปแป้งจากรากหัว มีอัตราการคืนตัวช้ากว่าแป้งจากธัญพืช ทั้งนี้เป็นเพราะแป้งจากรากหัว เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวมากและเร็ว และเม็ดแป้งแตกง่าย ทำให้โมเลกุลแป้งทั้งหมดกระจายอยู่ทั่วไปในน้ำแป้ง ยากที่โมเลกุลอะมิโลสจะมามีการจัดเรียงตัวกันใหม่ แต่แป้งจากธัญพืช เมื่อได้รับความร้อนจะพองตัวน้อยกว่า เม็ดแป้งแตกน้อย โมเลกุลที่คลายตัวยังอยู่ใกล้ชิดกัน จึงเคลื่อนที่จับกันใหม่ได้ง่าย ซึ่งอาจจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งที่พองตัวซึ่งอยู่ใกล้กัน หรือระหว่างชิ้นส่วนของเม็ดแป้งหรือโมเลกุลอะมิโลสอิสระที่หลุดออกมา ทำให้เกิดสภาพเป็น matrix ซึ่งยึดอยู่ด้วยกันโดยพันธะไฮโดรเจน และสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้ การมีอะมิโลเพกทินอยู่ทำให้อัตราการคืนตัวของแป้งสุกช้าลง เนื่องจากโมเลกุลของอะมิโลเพกทินมีกิ่งก้านสาขาทำให้เกาะกะ ยากที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่เข้ามาจัดกันใหม่ได้ จึงพบว่าแป้งประเภท waxy มีอัตราการคืนตัวของน้ำแป้งสุกน้อยกว่าแป้งชนิดอื่น ขนาดโมเลกุลของอะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดมีผลในการเกิดการคืนตัวของน้ำแป้งสุกด้วย โมเลกุลอะมิโลสที่มีขนาดพอเหมาะในการเคลื่อนที่มาจับกัน คือ ในช่วง 100-200 หน่วยกลูโคส ถ้าโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่งมีอะมิโลสขนาดใหญ่ประมาณ 1000-6000 หน่วย กลูโคสจะเคลื่อนที่เข้ามาจับกันได้ยาก และถ้าโมเลกุลสั้นเกินไปจะเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา (brownian movement) ทำให้จับกันยากเช่นกัน

## ขั้นตอนการผลิตหัวข้าวเกรียบ

การผลิตหัวข้าวเกรียบมีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. **การนวดผสม** การนวดผสมเป็นขั้นตอนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อผสมเนื้อปลา แป้งมันสำปะหลังและส่วนผสมอื่นๆ ให้เป็นเนื้อเดียวกัน และมีเนื้อสัมผัสเนียน ซึ่งมีผลให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะปรากฏเป็นรูปทรงสม่ำเสมอของตัวดี (เพลินใจ ตั้งคณะกุล, 2546) ในขั้นตอนการนวดผสมนี้พบว่ามีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์สูงจากอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการผลิต (Che Rohani, 1992 อ้างโดย Nor khaizura *et al*, 2009) จะเห็นได้ว่าจุลินทรีย์ทั้งหมดจะสูงขึ้นในช่วงของการนวด คือ 6.65 Log CFU/g (Nor khaizura *et al*, 2010)

2. **การปั่นและการต้ม** การปั่นและการต้มเป็นขั้นตอนที่มีผลต่อรูปร่างของหัวข้าวเกรียบ โดยนำส่วนผสมที่ผ่านการนวดแล้วมาปั่นเป็นท่อนขนาด กว้าง×ยาว ประมาณ 5×30 เซนติเมตร (Nurul *et al*, 2009) แล้วนำไปต้ม โดยการต้มหัวข้าวเกรียบจะใช้อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสระยะเวลาในการต้มขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนแป้ง ชนิดและส่วนผสมที่ใช้ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ ถ้าใช้น้ำมากเกินไปแป้งจะสุกเร็ว แต่ก้อนแป้งไม่สามารถรักษารูปร่างเอาไว้ได้ เนื่องจากก้อนแป้งจะมีลักษณะนิ่ม แต่หากใช้น้ำน้อยเกินไปแป้งจะสุกช้าหรือไม่สุกเลยเนื่องจากแป้งเกิดเจลได้ไม่หมด หรือเกิดเจลไม่ทั่วถึง แม้จะใช้เวลาดำมนาน (สุมาลีภา เปี่ยมมงคล, 2544)

3. **การหั่น** การหั่นคือการลดขนาดของก้อนหัวข้าวเกรียบให้เป็นชิ้นเล็กๆ เพื่อความสะดวกในการทอดและการรับประทาน ขั้นตอนนี้จะกระทำเมื่อได้ก้อนหัวข้าวเกรียบที่ผ่านการต้มและวางทิ้งไว้ให้ก้อนแป้งเย็นแล้ว ถ้าก้อนแป้งมีลักษณะไม่ติดมืออาจหั่นได้เลย แต่หากต้องการให้หั่นได้สะดวก ควรแช่เย็นไว้ประมาณ 12 ชั่วโมง ซึ่งทำได้ทั้งหั่นด้วยมือหรือใช้เครื่องจักรหั่น สิ่งที่ต้องระมัดระวังในการหั่นคือ ความหนาของแผ่น ถ้าแผ่นมีความหนามาก การเกิดการพองตัวน้อย เนื้อแข็ง แต่ถ้าความหนาน้อยลง การพองตัวจะมีมากขึ้น การหั่นหัวข้าวเกรียบมักมีปัญหาแป้งติดมีดหั่นเสมอ เนื่องจากหัวข้าวเกรียบที่มีแป้งมันสำปะหลังผสมอยู่ด้วย (สุตารัตน์ พริกบุญจันทร์, 2547 ; Nor khaizura *et al*, 2010) ในขั้นตอนการวางก้อนแป้งให้เย็นก่อนนำไปหั่นทำให้เกิดจุลินทรีย์กลุ่ม coliform, fecal coliform และ *E. coli* มีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 3.79, 3.02, 1.69 MPN/g ตามลำดับ

การรับประทานหัวข้าวเกรียบนั้นมีการเตรียมก่อนรับประทาน คือ การนำไปทอดในน้ำมันที่เป็นการทอดแบบน้ำมันท่วม ซึ่งการทอดในลักษณะนี้ส่งผลต่อคุณภาพ และการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์หลังทอด

## การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของอาหารทอด

ในระหว่างการทอดมีการเปลี่ยนแปลงในอาหารดังนี้ (Joslyn and Heid, 1964)

1. เกิดการระเหยของน้ำในอาหาร
2. ผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงขึ้น จนถึงระดับที่ต้องการ และมีการฟอर्मตัวของเม็ดแป้ง เกิด เจลาติไนเซชัน ภายในชิ้นอาหาร จนกระทั่งอาหารสุกและมีความกรอบ

3. การที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีน้ำตาล
4. มีการดูดซับน้ำมันเข้าไปในผลิตภัณฑ์
5. เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอาหารขณะกำลังทอด ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการลอยหรือจมของชิ้นอาหารในการทอด

Guillaumin (1988) อธิบายการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารทอด ว่าประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. Surface เป็นส่วนที่มีความกรอบ มีสีเหลืองทอง เนื่องจากการสูญเสียไอน้ำระหว่างการทอด เมื่ออุณหภูมิของอาหารเท่ากับจุดเดือดของของเหลวที่เป็นองค์ประกอบในอาหาร และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เรียกว่าปฏิกิริยาการสีน้ำตาล (maillard reaction) ความเข้มของสีจะมากหรือน้อยขึ้นกับอุณหภูมิและเวลาในการทอดและองค์ประกอบที่ผิว ในส่วนนี้มีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 3

2. crust ระหว่างการทอดมีการระเหยน้ำกลายเป็นไอ เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันสูงกว่า 155 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการฟอर्मตัวของ crust ซึ่งประกอบด้วยช่องว่างและรูพรุนต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก และมีน้ำมันเข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านี้แทนที่น้ำที่ระเหยออกไป อาหารทอดแต่ละชนิดมีลักษณะเฉพาะตัวและมีปริมาณน้ำมันระดับหนึ่ง ขึ้นอยู่กับสัดส่วนของ crust/core เช่น potato chips เท่ากับร้อยละ 40 potato sticks ร้อยละ 35 fried shrimp ร้อยละ 12-13 และโดนัทร้อยละ 20-25

3. core เป็นส่วนที่อยู่ตรงกลาง มีความชื้นสูงและอาหารสุก เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากน้ำมันเข้าไปภายใน ในการทอดแบบน้ำมันท่วม มีส่วน core ปรากฏอยู่ตลอดเวลาการทอด ยกเว้นอาหารที่เป็นแผ่นบาง ๆ เช่น potato chips จะมีเฉพาะส่วน crust

#### **ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอาหารในกระบวนการทอด**

การทอดเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนมาก มีตัวแปรมากมายที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและการภาพของอาหารทอด (Varela, 1988) สามารถพิจารณาเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. สภาพการผลิต ได้แก่ อุณหภูมิของน้ำมันและเวลาที่ใช้ทอด แบบของการทอดเป็นแบบจุ่มในน้ำมันหรือการทอดแบบสั่มผัส โดยปกติอุณหภูมิที่ใช้ในการทอดมีค่าประมาณ 163-193 องศาเซลเซียส ขึ้นกับชนิดของอาหารที่ใช้ทอด การเลือกอุณหภูมิที่ใช้สำหรับทอดอาจพิจารณาจากข้อกำหนดลักษณะและคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของผู้บริโภค การทอดที่ใช้ อุณหภูมิสูงจะลดเวลาการทอดให้สั้นลงและทำให้อัตราการทอดเร็วขึ้น

2. น้ำมันที่ใช้ทอด ได้แก่ คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมัน สารปนเปื้อน และ องค์ประกอบในน้ำมัน การทอดที่อุณหภูมิของน้ำมันสูงจะเป็นตัวเร่งให้น้ำมันเสื่อมสภาพเร็ว เนื่องจากเกิดกรดไขมันอิสระมากขึ้น และยังทำให้สี กลิ่น และความหนืดของน้ำมันเสียไป

3. ตัวอาหาร ได้แก่ การเตรียมอาหารก่อนการทอด สัดส่วนของน้ำในอาหารต่อ

ปริมาตรของน้ำมัน และสัดส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของอาหาร ซึ่งมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ถูกดูดซับเข้าไปในอาหาร

## การแปรรูปอาหารโดยใช้ความเย็น

การใช้ความเย็นเป็นการลดอุณหภูมิของอาหารให้ต่ำกว่าอุณหภูมิต่ำสุดที่เชื้อจุลินทรีย์สามารถเจริญได้ จะยับยั้งการเจริญและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ได้ และลดอัตราการเปลี่ยนแปลงจากเอนไซม์ลดปฏิกิริยาของเอนไซม์ ลดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี การแปรรูปอาหารโดยใช้ความเย็นในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การแช่เย็นและการแช่แข็ง ดังนี้

**1. การแช่เย็น (chilling)** เป็นการเก็บอาหารที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเยือกแข็งประมาณ 5-10 องศาเซลเซียส เป็นเพียงการเก็บรักษาอาหารไว้ชั่วคราวหนึ่งเท่านั้น ไม่ถือเป็นการถนอมอาหารที่แท้จริง เพราะเป็นเพียงการชะลอให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตช้าลงเท่านั้น สามารถรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้ระดับหนึ่ง มักใช้ควบคู่กับการแปรรูปอาหารวิธีอื่น ๆ

**2. การแช่แข็ง (freezing)** การแช่แข็งเป็นการถนอมอาหารวิธีหนึ่ง ซึ่งสามารถเก็บรักษาอาหารได้เป็นเวลานาน เนื่องจากการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์จะเกิดได้ช้ามาก

### ทฤษฎีการแช่แข็ง

การแช่แข็ง หมายถึง การนำอาหารมาแช่เย็นจนแข็ง ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง โดยทั่วไปนิยมใช้ที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า เพื่อให้น้ำที่อยู่ในอาหารกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง ไม่ว่าจะเป็นอาหารสดหรืออาหารสำเร็จรูป ซึ่งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาอาหารได้นาน โดยที่อาหารคงสภาพใกล้เคียงกับอาหารสด การแช่แข็งเป็นการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (สุญานีพร ตูลยพงศ์รักษ์, 2551; สายสนม ประดิษฐดวง, 2546)

หลักสำคัญในการแช่แข็งคือ การเปลี่ยนสถานะของน้ำในอาหารที่เป็นของเหลวได้เป็นน้ำแข็ง เพื่อมิให้น้ำนั้นสามารถทำหน้าที่ต่าง ๆ ในปฏิกิริยาเคมี และไม่เป็นสับเสตรท์ให้กับจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนกับอาหารได้ ในระหว่างกระบวนการแช่เยือกแข็งจะเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นภายในอาหาร การเปลี่ยนแปลงขนาดของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไปละลายน้ำแข็ง การเพิ่มขนาดของผลึกมักจะเกิดขึ้นในระหว่าง 1 เดือนแรกของการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาพแช่เยือกแข็ง (สุญานีพร ตูลยพงศ์รักษ์, 2551 ; Boast, 1985)

## ขั้นตอนการเกิดการแช่แข็ง

การแช่แข็ง เป็นกรรมวิธีการถ่ายเทความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์กับสารให้ความเย็น โดยแบ่ง ออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. การลดลงของอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ (period of temperature decreasing) จากอุณหภูมิ เริ่มต้นถึงอุณหภูมียือกแข็ง จุดเยือกแข็งของอาหารทุกชนิดจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ

(0 องศาเซลเซียส หรือ 32 องศาฟาเรนไฮต์) เนื่องจากน้ำภายในเซลล์ของอาหารจะมีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์หลายชนิดละลายอยู่ ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิเยือกแข็งที่ต่างกัน

2. ขั้นตอนของการตกผลึกเป็นน้ำแข็ง (period of ice crystal formation) การเกิดผลึกของน้ำแข็ง คือ การรวมตัวอย่างเป็นระเบียบของส่วนที่เป็นของแข็ง โดยเกิดปรากฏการณ์ 2 อย่างต่อเนื่องกัน ได้แก่การก่อนิวเคลียสผลึก (nucleation) และการเพิ่มขนาดของผลึก (crystal growth) การก่อนิวเคลียสผลึก (nucleation) คือ ปรากฏการณ์ที่โมเลกุลของน้ำมารวมตัวกันอย่างเป็นระเบียบ จนเป็นโมเลกุลเล็กๆ ขึ้น ซึ่งเป็นจุดศูนย์กลางของผลึกต่อไป โดยเมื่อความร้อนถูกกำจัดออกจากระบบไปแล้ว จนกระทั่งผ่านสภาพที่เรียกว่าการทำให้เย็นยิ่งยวด (super cooling) ซึ่งก็คือการที่อุณหภูมิของน้ำในอาหารลดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของผลิตภัณฑ์แต่ยังไม่เกิดผลึก จากนั้นจะมีการชักนำให้เกิดผลึกและอุณหภูมิจะขึ้นมาอยู่ที่จุดเยือกแข็งของอาหาร ความร้อนจะถูกกำจัดออกไปในรูปของความร้อนแฝงของน้ำ (latent heat) ทำให้น้ำเปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็ง โดยเริ่มต้นจากการเกิดนิวเคลียสผลึกก่อน อัตราการเกิดนิวเคลียสผลึกจะเร็วมากเมื่ออุณหภูมิลดลง ขั้นตอนต่อไปคือการเพิ่มขนาดของผลึก (crystal Growth) หลังจากที่เกิดนิวเคลียสผลึกจำนวนมากพอ ก็จะเกิดการเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็ง ซึ่งเกิดได้ที่อุณหภูมิใกล้จุดหลอมเหลว โดยโมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนตัวเข้ามาเกาะอยู่กับนิวเคลียสผลึกมากกว่าที่จะก่อเกิดนิวเคลียสใหม่ เพราะโมเลกุลของน้ำในสภาวะที่เป็นของเหลวมีขนาดเล็กและเคลื่อนที่ได้ในอัตราที่สูง และจะหยุดเมื่อกระทบกับผิวหน้าของนิวเคลียสผลึก การเกิดผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ คือ อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง อุณหภูมิของตัวอย่าง และลักษณะตามธรรมชาติของเซลล์

3. ขั้นตอนการลดลงของอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ต่อไปจนถึง -18 ถึง -20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่แนะนำให้ใช้ในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์แช่แข็ง หลังจากเครื่องแช่แข็งดึงความร้อนจากอาหาร ทำให้อุณหภูมิของอาหารลดลงมาถึง -18 องศาเซลเซียส จะนำมาเก็บไว้ในห้องเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -18 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของการแช่แข็งมีผลต่อคุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางฟิสิกส์ของเนื้อและ ผลิตภัณฑ์เนื้อ อัตราเร็วของการแช่แข็งนอกจากจะขึ้นอยู่กับวิธีการแช่แข็งแล้วยังขึ้นกับอัตราส่วนของเนื้อแดง และไขมันของผลิตภัณฑ์เนื้อนั้นๆ ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันสูงจะสามารถแข็งตัวได้รวดเร็วกว่าชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันปริมาณต่ำกว่า

### การแช่แข็งอาหารแบ่งได้เป็น 2 วิธี

1. การแช่แข็งแบบช้า (slow freezing) คือ การทำให้อาหารแข็งตัวที่อุณหภูมิประมาณจุดเยือกแข็ง หรือ ต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส อย่างช้าๆ โดยใช้เวลาประมาณ 3-72 ชั่วโมง การแช่แข็งวิธีนี้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในเนื้ออาหารจะมีขนาดใหญ่ จึงไปดันหรือทิ่มแทงผนังเซลล์ของอาหาร เช่น เนื้อสัตว์ ผัก และผลไม้ ให้เกิดความบอบช้ำและฉีกขาด เป็นผลให้อาหารเมื่อนำมาละลายน้ำแข็งมีลักษณะเละ ชุ่มน้ำ เนื่องจากของเหลวภายในเซลล์ไหลออกมาของเหลวเหล่านี้ประกอบไปด้วยสารอาหาร วิตามิน และเกลือแร่ต่างๆ นอกจากนี้การแช่แข็งแบบช้าจะทำให้เกิด drip loss มากกว่าการแช่แข็งแบบรวดเร็ว (quick freezing) เพราะการแช่แข็งแบบช้าทำให้รูปร่างผลึกน้ำแข็งแหลมคมขนาดไม่สม่ำเสมอ จึงมีโอกาสสูญเสียน้ำในเซลล์เมื่อนำมาละลาย (ตารางที่ 2.1) ส่วนการแช่แข็ง

แบบ quick freezing ผลึกน้ำแข็งที่ได้มีขนาดเล็กสม่ำเสมอ กระจายทั้งภายในและภายนอกเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์ไม่เสียหายเนื่องจากผลึกน้ำแข็ง เวลาละลายจะมีการสูญเสียน้ำในปริมาณน้อย ในทางปฏิบัติในปัจจุบันนี้ การใช้ slow freezing ในโรงงานปลา/สัตว์น้ำแช่เยือกแข็งจะไม่ค่อยมีแล้ว และมีการเทคโนโลยีการแช่แข็งแบบต่างๆ เช่น cryogenic freezing คือ ใช้ไนโตรเจนเหลวทำให้ แช่แข็งตัวอย่างรวดเร็ว (วุฒิพนธ์ ศุภวิริยากร, 2554)

**2. การแช่แข็งแบบเร็ว (quick freezing)** คือ การทำให้น้ำในอาหารกลายเป็นน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว โดยใช้อุณหภูมิต่ำ -17.8 ถึง -45.6 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาสั้นไม่เกิน 30 นาที วิธีนี้ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเล็กละเอียด ไม่ทำให้เซลล์ของอาหารบอบช้ำมากนัก (ตารางที่ 2.1) การแช่แข็งแบบนี้จึงไม่ทำลายเซลล์อาหารมากเหมือนการแช่แข็งแบบช้าเป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร การแช่แข็งแบบนี้ทำได้หลายวิธี เช่น การจุ่มอาหารในสารให้ความเย็นโดยตรง การใช้ลมเป่าลงบนอาหาร เป็นต้น (อัมพวัน ตันสกุล และคณะ, 2545)

**ตารางที่ 2.1** เปรียบเทียบการแช่แข็งแบบช้าและการแช่แข็งแบบเร็ว

| การแช่แข็งแบบช้า                                                  | การแช่แข็งแบบเร็ว                                                  |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1. ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่กว่า                                      | 1. ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กกว่า                                       |
| 2. กระบวนการเมตาบอลิซึมเกิดอย่างช้าๆ                              | 2. หยุดกระบวนการเมตาบอลิซึม                                        |
| 3. ใช้เวลานานกว่า                                                 | 3. ใช้เวลาน้อยกว่า                                                 |
| 4. เมื่อนำอาหารไปละลายน้ำแข็ง อาหารจะเสียคุณค่าทางโภชนาการมากกว่า | 4. เมื่อนำอาหารไปละลายน้ำแข็ง อาหารจะเสียคุณค่าทางโภชนาการน้อยกว่า |
| 5. เซลล์ต่างๆ จะถูกทำลายมากกว่า                                   | 5. เซลล์ต่างๆ จะถูกทำลายน้อยกว่า                                   |

### ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอาหารระหว่างแช่แข็ง

การเก็บรักษาในสภาวะแช่เยือกแข็งมีผลต่อสี กลิ่น รส หรือคุณค่าทางโภชนาการน้อยมาก แต่สิ่งเหล่านี้อาจเกิดการสูญเสียในขั้นตอนการเตรียมหรือในระหว่างการแช่เยือกแข็ง การเติบโตของผลึกน้ำแข็งมีผลให้เกิดความเสียหายของเซลล์ ผลึกน้ำแข็งจะเกิดที่ส่วนใดขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง โดยปกติการแช่เยือกแข็งอย่างช้า ๆ จะทำลายโครงสร้างของโคมามากกว่าการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว เนื่องจากความแตกต่างของการเกิดผลึกน้ำแข็ง (Inoue and Bushuk, 1991) การแช่เยือกแข็งอย่างช้า ๆ จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่และจะเกิดที่บริเวณภายนอกเซลล์ (extracellular) น้ำภายในเซลล์จะถูกดึงมาเพิ่มขนาดของผนังที่ภายนอกเซลล์ (Hsu *et al.*, 1979) เนื่องจากผลึกน้ำแข็งจะมีความดันไอน้ำต่ำกว่าบริเวณภายนอกเซลล์ น้ำจากเซลล์จึงเคลื่อนที่ไปยังผลึกที่ผลึกที่เติบโตเป็นผลให้เซลล์หดตัวลดขนาดลงและได้รับความเสียหายต่อไปเนื่องจากความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงขึ้น การทำละลายน้ำแข็งในอาหาร เซลล์ของอาหารจะไม่กลับมามีรูปร่างและความแข็งแรงเหมือนเดิม อาหารจะนิ่มมากขึ้นและสารต่างๆ ภายในเซลล์จะไหลออกสู่ภายนอกเซลล์ ส่วนการแช่เยือกแข็งอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งจะเกิดขึ้นทั้งภายในและภายนอกเซลล์ได้พร้อมๆ กัน ผลึกจึงมีขนาดเล็กและกระจายทั่วไป จึงเกิดความเสียหายทางกายภาพเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม

อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ไม่คงที่将有ผลให้ผลิตภัณฑ์น้ำแข็งหลอมละลายและรวมตัวกันกลายเป็นน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่ (Paine and Paine, 1992)

### การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบในอาหารแช่แข็ง

- **โปรตีน** การแช่เยือกแข็งมีผลให้โปรตีนสูญเสียสภาพและทำให้การละลายลดลง (Zayas, 1997) การสูญเสียสภาพของโปรตีนเนื่องจาก 3 ปัจจัย คือ การเปลี่ยนแปลงความชื้น ลิพิด ผลของเมตาบอไลต์จากเซลล์ การสูญเสียความชื้นเนื่องจากผลิตภัณฑ์ไม่ได้ห่อหุ้มด้วยบรรจุภัณฑ์หรือบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีคุณภาพมีผลให้เกิดลักษณะไหม้เกรียม (freeze-burn) และมีผลให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามโปรตีนที่ละลายได้และคุณค่าทางอาหารอื่น ๆ ยังคงอยู่ (Paine and Paine, 1992) ในขณะที่การสลายตัวของไขมัน รวมทั้งมาลอนัลดีไฮด์ (malonaldehyde) จะก่อให้เกิดพันธะเชื่อมระหว่างโพลีเปปไทด์ จึงทำให้โปรตีนมีความสามารถในการละลายลดลง (Xiong, 1997) น้ำตาลสามารถยับยั้งการสูญเสียสภาพโปรตีน ซึ่งมีความหมายกับความสัมพันธ์กับความสามารถในการยับยั้งการเกิดพันธะไดซัลไฟด์ระหว่างโมเลกุลโปรตีน Lee และ Timasheff (1981) กล่าวว่า ซูโครสเมื่ออยู่ในสภาพสารละลายจะเพิ่มแรงดึงดูดของน้ำ ส่วนอื่นที่มีแรงดึงดูดต่ำจึงมีแนวโน้มที่จะล้อมรอบโมเลกุลโปรตีน

- **สตาร์ช** การแช่เยือกแข็งมีผลต่ออาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน ซึ่งสตาร์ชประกอบด้วยอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน การเปลี่ยนแปลงขณะทำการเก็บรักษา โดยอะมิโลสจะรวมตัวกันแน่นและก่อตัวเป็นผลึก ในขณะที่อะมิโลเพกทินจะมีความคงตัวสูงกว่า เพราะโครงสร้างมีลักษณะเป็นกิ่งก้าน จึงทำให้เกิดเป็นผลึกอย่างช้า ๆ โดยลักษณะที่ปรากฏนี้เรียกว่า ริโทรเกรเดชัน การเกิดริโทรเกรเดชันจะเกิดหลังจากที่สตาร์ชผ่านการเกิดเจลแล้ว ทำให้เจลมีความหนาแน่น เกิดการก่อตัวของผลึก และทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะไม่สด (staling) (Mua and Jackson, 1998) การเกิดริโทรเกรเดชัน เกิดจากหลังให้ความร้อน โดยความชื้นจะเคลื่อนที่จากสตาร์ชไปสู่กลูเตน นอกจากนี้น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในผลิตภัณฑ์ไปสู่ผิวนอก เมื่อรับประทานจะรู้สึกวุ้นเหนียวและแห้งในปาก (Zhang and Jackson, 1992) แต่การเพิ่มความชื้นในผลิตภัณฑ์สามารถชะลอการเกิดลักษณะไม่สดได้ (He and Hosney, 1990) เพราะความชื้นจะช่วยลดพันธะข้ามระหว่างสตาร์ชบางส่วนที่ละลายได้กับโปรตีน (Martin et al., 1989) อย่างไรก็ตามปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาต่อการเกิดริโทรเกรเดชัน คือ อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิลดลงจะมีผลให้เกิดริโทรเกรเดชันของสตาร์ชเพิ่มขึ้น และความแตกต่างของการเกิดขึ้นกับอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกทิน โดยในระหว่างการเก็บรักษาอาหารจะพบว่าอาหารที่มีอะมิโลสเป็นองค์ประกอบเกิดริโทรเกรเดชันเร็วกว่าอาหารที่มีอะมิโลเพกทินเป็นองค์ประกอบ (Zhang and Jackson, 1992; Cauvain, 1998; Belitz and Grosch, 1999)

- **ไขมัน** การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไขมันที่สำคัญ คือ การหืน การแช่เยือกแข็งจะช่วยป้องกันการเกิดการหืนในอาหารที่มีไขมันได้ดี การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -10 องศาเซลเซียสสามารถลดการออกซิเดชันของไขมันแบบใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์ได้ (Rousseau and

Marangoni, 1998) การหีนเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของไขมันหรือน้ำมัน ทำให้มีกลิ่นผิดปกติและสมบัติทางเคมีและกายภาพเปลี่ยนไป

### ผลของการแช่แข็งต่ออาหาร

การแช่เยือกแข็งมีผลกระทบต่อคุณภาพของอาหารโดยตรง คือ ทำให้เซลล์ของเนื้อเยื่อแตก เนื่องจากเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อการแช่เยือกแข็งเกิดขึ้นอย่างช้าๆ การแช่เยือกแข็งจะมีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงของสารสี รสชาติ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร

เมื่อนำอาหารแช่แข็งมาหลอมละลาย เซลล์ไม่สามารถคืนรูปและเต่งได้เหมือนเดิม อาหารจะมีเนื้อนิ่ม มีของเหลวจากภายในเซลล์ไหลออกมาเนื่องจากผนังเซลล์ถูกทำลายแต่หากกระบวนการแช่เยือกแข็งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นภายในเซลล์และช่องว่างระหว่างเซลล์จะมีขนาดเล็ก จะมีผลเสียหายต่อผนังเซลล์น้อยมาก และไม่เกิดความแตกต่างระหว่างความดันไอด้วยเซลล์ไม่เหี่ยวลง หรือมีการสูญเสียน้ำออก จากเซลล์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ลักษณะเนื้อของอาหารแช่เยือกแข็งจะยังคงเหมือนเดิมมาก ทำให้อาหารแช่เยือกแข็งที่ได้มีคุณภาพดีและเมื่อนำไปหลอมละลายก็จะมีลักษณะปรากฏที่ดีด้วย (อัมพวัน ตันสกุล และคณะ, 2545)

### วิธีการและอุปกรณ์ในการแช่แข็งอาหาร (freezing methods and equipments)

มีหลายวิธี แบ่งตามวิธีการลดอุณหภูมิและลักษณะเครื่องมือ (อรพิน ชัยประสพ, 2548) ดังนี้

#### - การแช่เยือกแข็งโดยใช้อากาศเย็น (air freezing)

เป็นวิธีการแรกที้นำมาใช้ในทางการค้า ตั้งแต่ปี 2404 โดยนำอาหารที่จะแช่เยือกแข็งไปวางไว้ในห้องเย็นที่มี อุณหภูมิ -18 ถึง -40 องศาเซลเซียส โดยมีระบบทำความเย็น แต่ไม่มีระบบการทำให้อากาศเย็นเคลื่อนที่ จึงทำให้มีการเคลื่อนที่ของอากาศเพียงเล็กน้อย ซึ่งเกิดขึ้นโดยธรรมชาติโดยการพา อาหารจะค่อยๆ เย็นลง ซึ่งใช้เวลานาน 3-72 ชั่วโมง ขึ้นกับสภาวะการแช่เยือกแข็งและขนาดของอาหารที่นำมาแช่แข็ง การแช่แข็งวิธีนี้ เรียกว่า sharp freezing เป็นวิธีการแช่แข็งแบบช้า มีผลกระทบต่อคุณภาพของอาหาร ไม่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน

#### - การแช่แข็งโดยใช้อากาศเย็นที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง (air blast freezing)

พัฒนาขึ้นจากวิธีการแช่แข็งโดยใช้อากาศเย็น (air freezing) โดยใช้ความเย็นที่มีความเร็วสูง ทำให้การหมุนเวียนของอากาศภายในห้องดีขึ้น การถ่ายเทความร้อนที่เป็นไปได้ดี อัตราการแช่เยือกแข็งเร็วขึ้น การแช่เยือกแข็งวิธีนี้ทำได้ทั้งระบบไม่ต่อเนื่อง กึ่งต่อเนื่อง และต่อเนื่อง เครื่องมืออาจมีลักษณะเป็น ตู้ ห้อง (cabinet) และอุโมงค์สายพาน วิธีการทำงานอาจแตกต่างกันบ้าง ดังนี้

**1. ตู้หรือห้องแช่เยือกแข็ง (cabinet)** การแช่เยือกแข็งทำได้โดย นำอาหารไปวางในตู้หรือที่มีชั้นสำหรับวางผลิตภัณฑ์หรือวางบนรถเข็นที่มีชั้นวางผลิตภัณฑ์หลายๆ ชั้น เข็นเข้าไปแช่เยือกแข็งในตู้หรือห้องแช่เยือกแข็ง ซึ่งภายในห้องติดพัดลมที่มีกำลังสูง ๆ เพื่อให้มีการหมุนเวียนของอากาศ การแช่เยือกแข็งจะเป็นชุด ๆ เมื่อกระบวนการแช่เยือกแข็งเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ ก็จะนำผลิตภัณฑ์ออกจากห้องแช่เยือกแข็งทั้งหมด แล้วจึงนำชุดใหม่เข้าแช่เยือกแข็งต่อไป

**2. เครื่องแช่เยือกแข็งแบบสายพาน (belt freezer)** การแช่เยือกแข็งทำโดย นำอาหารวางบนสายพาน ซึ่งเคลื่อนที่เข้าไปในอุโมงค์ที่มีอากาศเย็นเป่าลงมา หรือเคลื่อนที่สวนทางกับอาหาร อาหารจะเกิดการแข็งตัวเมื่อเคลื่อนที่ถึงปลายอีกด้านหนึ่งของอุโมงค์ โดยสามารถปรับความเร็วของสายพานให้เหมาะสมกับเวลาที่จะทำให้อาหารแข็งตัวพอดี และสามารถบรรจุหีบห่อได้ทันทีเมื่อเคลื่อนที่พ้นอุโมงค์ นอกจากนี้ยังสามารถออกแบบให้สายพานเชื่อมต่อกับส่วนเตรียมอาหาร สามารถลำเลียงอาหารที่เตรียมเสร็จแล้ว เข้าสู่กระบวนการแช่แข็งได้ทันที ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก ผลิตได้อย่างต่อเนื่อง และมีกำลังการผลิตสูง การแช่เยือกแข็งวิธีนี้ ใช้อากาศเย็นที่มีอุณหภูมิ -30 ถึง -45 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ -29 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม ช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย และการบำรุงรักษาต่ำสามารถแช่เยือกแข็งอาหารได้หลายชนิด โดยไม่ต้องคำนึงถึงขนาดและรูปร่างอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 100-3500 ฟุต/นาที่ ถ้าใช้อากาศที่มีความเร็วสูง จะถ่ายเทความร้อนได้ดี อัตราการแช่เยือกแข็งสูง แต่เสียค่าใช้จ่ายสูง นิยมใช้ความเร็ว 2500 ฟุต/นาที่ อัตราเร็วในการแช่เยือกแข็งสูงกว่าแบบ air freezing แต่แช่เยือกแข็งอาหารที่ไม่บรรจุหีบห่อจะเกิดการสูญเสีย น้ำ เกิดลักษณะ freezer burn และน้ำที่ระเหยออกจากอาหาร จะไปเกาะตามเครื่องมือ กลายเป็นผลึกน้ำแข็ง เกาะติดขดลวดทำความเย็น เมื่อน้ำแข็งมีปริมาณมาก จะต้องเสียเวลาในการละลายน้ำแข็งออกก่อน มิฉะนั้นการถ่ายเทความร้อนจะเกิดได้ช้าลง

**3. การแช่เยือกแข็งโดยการสัมผัสกับผิวของแผ่นโลหะเย็น (plate freezing, contact plate freezing)** การแช่เยือกแข็งวิธีนี้ทำได้โดย นำอาหารที่จะแช่เยือกแข็งวางบนแผ่นโลหะเย็น ซึ่งมีสารทำความเย็นไหลเวียนอยู่ภายในช่องว่างระหว่างแผ่นโลหะ เครื่องแช่เยือกแข็งแบบนี้ประกอบด้วยแผ่นโลหะหลายๆ แผ่น เรียงเป็นชั้นๆ ระหว่างชั้นของแผ่นโลหะจะเป็นที่สำหรับวางอาหาร ช่องว่างระหว่างชั้นปรับได้ มีลักษณะอาหารสลับกับแผ่นโลหะสัมผัสกับอาหารทั้งสองด้าน ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนได้เร็ว ใช้เวลาสั้นๆ ในการแช่เยือกแข็ง

การแช่เยือกแข็งวิธีนี้ใช้ได้กับอาหารทั้งที่บรรจุ อาหารที่บรรจุหีบห่อแล้ว ไม่เกิดลักษณะโป่งพองหรือบวมในระหว่างการแช่เยือกแข็ง และไม่เกิดการสูญเสีย น้ำ แต่มีข้อจำกัด คือ ผลิตภัณฑ์ต้องมีขนาดและรูปร่างที่สม่ำเสมอ ระยะเวลาในการแช่เยือกแข็งขึ้นกับขนาดและความหนาของผลิตภัณฑ์ ถ้าหนามากการถ่ายเทความร้อนจะช้า ใช้เวลาในการแช่เยือกแข็ง อาหารที่จะแช่เยือกแข็งด้วยวิธีนี้ควรมีความหนาไม่เกิน 50-10 มิลลิเมตร

การแช่เยือกแข็งอาหารที่เป็นของเหลว เช่น ไอศกรีม น้ำผลไม้ ทำได้โดยใช้เครื่องแช่เยือกแข็งที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก บรรจุอาหารอยู่ใน มีใบพัดกวนอาหารเหลวให้สัมผัสกับผิวโลหะเย็น

**4. การแช่เยือกแข็งในขณะที่อาหารลอยตัว (fluidize freezing, fluidize bed freezing)** การแช่เยือกแข็งวิธีนี้ ทำได้โดยพ่นอากาศเย็นจัดที่มีกำลังลมสูง จนสามารถทำให้ชิ้นอาหารเคลื่อนที่หรือลอยตัว และอาหารเกิดการเยือกแข็งในขณะที่ลอยตัว และอาหารเกิดการเยือกแข็งในขณะที่ลอยตัว

วิธีการโดยวางอาหารบนสายพานที่มีลักษณะเป็นรูตะแกรง สายพานจะเคลื่อนที่นำอาหารเข้าสู่บริเวณที่ทำการแช่เยือกแข็ง ซึ่งจะมีอากาศเย็นสวนทางขึ้นมาจากด้านล่าง อุณหภูมิของอากาศเย็นที่ใช้ -34 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วที่สามารถทำให้อาหารลอยอยู่ใต้ตลอดการแช่เยือกแข็ง ทั้งนี้ขึ้นกับขนาดและความหนาแน่นของชิ้นอาหาร โดยทั่วไปนิยมใช้ความเร็วประมาณ 375 ฟุต/นาที

**5. การแช่เยือกแข็งโดยการจุ่มในของเหลว (liquid immersion or direct immersion freezing)** การแช่เยือกแข็งวิธีนี้ ทำได้โดยจุ่มอาหารซึ่งมีการห่อหุ้มหรือไม่ก็ได้ในของเหลวที่เป็นสารทำความเย็น หรือฉีดพ่นสารทำความเย็นลงบนอาหาร

สารทำความเย็นที่นำมาใช้ ต้องมีคุณสมบัติดังนี้ คือ เป็นของเหลวที่มีจุดเยือกแข็งต่ำมาก และยังคงสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -18 หรือต่ำกว่า โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะ นอกจากนี้สิ่งที่สำคัญคือ สารทำความเย็นจะมีการสัมผัสโดยตรงกับอาหาร หรือมีโอกาสปนเปื้อนกับอาหาร ดังนั้นสารทำความเย็นต้องไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่น และไม่ทำให้ส่วนประกอบและคุณลักษณะ ตลอดจนคุณสมบัติต่างๆ ของอาหารเสียไป

**6. การแช่เยือกแบบไคนโอเจนิค (cryogenic freezing)** เป็นวิธีที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งสูงมาก ทำได้โดยจุ่มอาหารในสารทำความเย็น หรือฉีดพ่นสารทำความเย็นลงบนอาหาร เมื่อสารทำความเย็นสัมผัสกับอาหาร จะเกิดการเปลี่ยนสถานะจากเดิม ซึ่งอาจจะเป็นของแข็งหรือของเหลวไปเป็นก๊าซ การเปลี่ยนสถานะจะมีการดึงความร้อนออกจากอาหาร ทำให้อาหารมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว (อรพิน ชัยประสพ, 2548)

### การละลายผลึกน้ำแข็ง

การละลายผลึกน้ำแข็งเป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างซับซ้อนและอาหารมีแนวโน้มที่จะเกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมี กายภาพ และจุลินทรีย์ เนื่องจากในระหว่างการละลายน้ำแข็งมีโอกาสดังกล่าวที่อาหารจะได้รับความเสียหายจากสาเหตุต่างๆ มากที่สุด เช่น ความเข้มข้นของของเหลว การเกิดตกผลึกใหม่ ความเสียหายเชิงกล และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งการละลายน้ำแข็งอย่างรวดเร็วจะลดปัญหาที่เกิดจากความเสียหายดังกล่าวได้ ผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งที่ผ่านการแช่เยือกแข็งด้วยวิธีที่มีอัตราการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว นั้น หากนำมาผ่านขั้นตอนการละลายน้ำแข็งที่ไม่เหมาะสมและไม่มีการควบคุมที่ดีพอก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งนั้นมีคุณภาพที่ไม่ดี ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าขั้นตอนการละลายผลึกน้ำแข็งอาจมีผลทำให้เกิดความเสียหายได้ไม่น้อยกว่าในขั้นตอนการแช่เยือกแข็ง ภายหลังจากที่ละลายน้ำแข็งออกจะมีปริมาณน้ำที่ไหลออกมานอกเซลล์ (drip) ถ้าใช้วิธีการละลายน้ำแข็งที่ดีจะทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลออกมานอกเซลล์น้อย มีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารน้อย น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลดลงน้อย คุณภาพของเนื้อสัมผัสตลอดจนรสชาติและสีไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (สุญานีพร ตูลยพงศ์รักษ์, 2551)

วิธีการละลายน้ำแข็งมีอยู่ 2 หลักการ คือ การนำความร้อนจากผิวไปสู่ภายในผลิตภัณฑ์ และการสร้างความร้อนให้เกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ หลักการแรกทำได้โดยจัดให้ผิวของผลิตภัณฑ์

สัมผัสกับแหล่งความร้อน เช่น แผ่นโลหะร้อน อากาศร้อน น้ำอุ่น หรือไอน้ำภายใต้สุญญากาศ ส่วนหลักการที่สองจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในผลิตภัณฑ์โดยใช้วิธี ไออิเล็กทริก หรือ ไมโครเวฟ แต่วิธีการละลายน้ำแข็งด้วยการให้ความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์ นิยมใช้มากกว่าการทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ (สุญานีพร ตุลยพงศ์รักษ์, 2551)

### 1. การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีให้ความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์

การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีนี้สามารถทำให้เวลาในการละลายน้ำแข็งลดลงได้โดยการลดขนาดของผลิตภัณฑ์ เพิ่มความแตกต่างอุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งและสภาพแวดล้อม หรือเพิ่มการเคลื่อนที่ของตัวกลางในสภาพแวดล้อมให้เร็วกว่าผิวของผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการละลายน้ำแข็งด้วยวิธีนี้จะเกิดขึ้นของส่วนที่ไม่เป็นน้ำแข็ง (unfrozen material) ซึ่งมีค่าสภาพนำความร้อนต่ำกว่าน้ำแข็ง ชั้นที่เกิดขึ้นนี้จะมีหนาแน่นเพิ่มขึ้นทำให้ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่ผิวจะสูงขึ้นเรื่อยๆ วิธีนี้จะได้ผลดีต่อเมื่อเกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์และสภาพแวดล้อม โดยต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงจนเกินไป เพราะอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในด้านสี หรือรูปร่างในบางผลิตภัณฑ์ได้ (สุญานีพร ตุลยพงศ์รักษ์, 2551)

การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีให้ความร้อนที่ผิวของผลิตภัณฑ์นี้ สามารถใช้ตัวกลางในการให้ความร้อนได้หลายแบบ ได้แก่ อากาศนิ่ง (still air) อากาศที่มีการเคลื่อนที่ (moving air) น้ำ ไอน้ำภายใต้สุญญากาศ เป็นต้น (สุญานีพร ตุลยพงศ์รักษ์, 2551)

### 2. การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีทำให้เกิดความร้อนภายในผลิตภัณฑ์

วิธีนี้ทำให้เกิดความร้อนภายในผลิตภัณฑ์โดยให้สนามไฟฟ้าเข้าไปในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายใน โมเลกุลภายในผลิตภัณฑ์จะเกิดความร้อนและทำให้อาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสมบัติทางไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด และเนื่องจากอาหารไม่ได้เป็นสารเนื้อเดียวกัน ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละส่วนย่อมแตกต่างกัน การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีนี้สามารถลดเวลาลงเหลือเพียงไม่กี่นาทีเท่านั้น แต่ต้องใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันในระหว่างการละลายน้ำแข็งอัตราการให้ความร้อนจะเพิ่มขึ้นซึ่งอาจจะเป็นปัญหากับผลิตภัณฑ์ได้ ในปัจจุบันนิยมใช้วิธีนี้เพื่อ tempering และให้ความร้อนกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง (สุญานีพร ตุลยพงศ์รักษ์, 2551) การละลายน้ำแข็งด้วยวิธีนี้สามารถทำได้หลายแบบ ได้แก่ การใช้ความต้านทานทางไฟฟ้าโดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในผลิตภัณฑ์ การใช้ความถี่สูงในช่วง 915-2,450 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นช่วงไมโครเวฟ

## สารประกอบฟอสเฟต

สารประกอบฟอสเฟตเป็นสารที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารหลาย ๆ ชนิด เช่น อุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ อุตสาหกรรมการผลิตนม ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง และผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ โดยการผลิตสารประกอบฟอสเฟตนั้นสามารถผลิตได้จากกระดูกสัตว์ หินฟอสเฟต หรือปฏิกิริยาระหว่างไอออนของโลหะกับกรดฟอสฟอริก ซึ่งสารประกอบฟอสเฟตนั้นได้รับการรับรองในเป็นส่วนประกอบ

ของอาหารที่ปลอดภัย (GRAS; Generally Recognized as Safe) จากประเทศสหรัฐอเมริกา โดยในประเทศไทยตามประกาศของกระทรวงสาธารณสุข 2547 นั้นได้มีการกำหนดปริมาณของสารประกอบฟอสเฟตสูงสุดที่สามารถใส่ในผลิตภัณฑ์เนื้อหมัก เช่น ไส้กรอก กุนเชียง แยม และขาหมูรมควันไว้ที่ 3000 มิลลิกรัมต่อผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม สารประกอบฟอสเฟตซึ่งเป็นวัตถุเจือปนอาหารชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมากเนื่องจากสารประกอบฟอสเฟตมีคุณสมบัติที่ช่วยปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีขึ้นและได้มาตรฐาน การเติมสารประกอบฟอสเฟตลงในเนื้อจะช่วยปรับปรุงคุณลักษณะต่างๆ ของเนื้อและผลิตภัณฑ์เนื้อให้ดีขึ้นได้ดังนี้

1. ทำสีของผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ให้มีความคงตัว
2. เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์มีรสสัมผัสที่นุ่มและมีความชุ่มฉ่ำมากขึ้น
3. ป้องกันการเกิดกลิ่นและรสชาติที่ไม่พึงปรารถนา โดยสารประกอบฟอสเฟตนั้นจะมีฤทธิ์ในการช่วยป้องกันการหืนของอาหาร
4. ยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์
5. ลดปริมาณของโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป

ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 (2527) กล่าวถึง คุณสมบัติของสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต มีสูตรทางเคมี คือ  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  มีน้ำหนักโมเลกุล 767.86 คุณสมบัติเป็นผงหรือเม็ดสีขาว สามารถดูดความชื้นได้เล็กน้อย และสามารถละลายน้ำได้ดี สารนี้มี 2 ชนิด คือ ชนิดอโนไฮเดรต (unhydrate) และชนิดไฮเดรต (hydrate)

**คุณสมบัติหลักของสารประกอบโพลีฟอสเฟต** คือ สามารถเพิ่มความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity) ของโปรตีนได้ฟอสเฟตจะมีปฏิสัมพันธ์กับโปรตีนในกล้ามเนื้อ และจะเพิ่มความสามารถของโปรตีนในการจับกับน้ำ ช่วยให้เนื้อสัตว์ที่ผ่านการปรุงมีผลผลิตเพิ่มขึ้น (yield) นอกจากนี้ยังเป็นการคงกลิ่นรสที่ดี ทำให้น้ำและกลิ่นรสสูญเสียอย่างลงในการปรุงความนุ่มของเนื้อและเนื้อสัมผัสที่ดีจะยังคงอยู่ เนื่องจากเส้นใยกล้ามเนื้อยังคงเก็บรักษาความชื้น (Teicher, 1990) ฟอสเฟตเป็นสารประกอบประเภท polyanion และสามารถจับกับองค์ประกอบอื่นๆ ในอาหารได้หลายชนิด เช่น โปรตีนไมโอไฟบริล โดยทั่วไปกล้ามเนื้อของสัตว์น้ำมีโปรตีนชนิดนี้เป็นส่วนประกอบอยู่ประมาณร้อยละ 40-60 (สุทรวัดน์ เบญจกุล, 2549) จึงทำให้โปรตีนในกล้ามเนื้อสัตว์น้ำมีสมบัติจับกับน้ำได้ดี ทำให้เกิดเจล และโปรตีนละลายน้ำได้มากขึ้น การใช้ฟอสเฟตในกระบวนการแปรรูปสัตว์น้ำ นิยมใช้วิธีการจุ่ม ส่วนการเติมในรูปผงนั้นนิยมใช้ในการผลิตไส้กรอกและซุริมิ (Teicher, 1990) การใช้ฟอสเฟตในอาหารทะเลนิยมพ่นสารละลายฟอสเฟตลงบนอาหารหรือจุ่มอาหารลงในสารละลาย หรืออาจฉีดสารละลายเข้าไปในปลาทั้งตัวหรือชิ้นปลาแล่ที่มีขนาดใหญ่ หรืออาจคลุกเคล้าในสภาพสุญญากาศ การใช้ฟอสเฟตควรใช้ในช่วงก่อนการให้ความร้อน สารฟอสเฟตจะให้ผลดีกับวัตถุดิบคุณภาพสูง และไม่ควรรใช้ฟอสเฟตเพื่อบดบังคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมเสียหรือด้อยคุณภาพ (Henson and Kowalewski, 1992) ได้มีการศึกษาถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตเนื้อปูต้มสุกจากเดิมที่ต้มในน้ำเดือด ควบคุมกับการใช้สารละลายฟอสเฟส

ผสมแช่ก่อนการให้ความร้อน สารผสมฟอสเฟตประกอบด้วย STPP และ SHMP พบว่าทำให้ผลผลิตอยู่ในระดับที่ดี และทำให้เนื้อปูมีความคงตัวหลังการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษา

โพลีฟอสเฟตเป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติควบคุมความเป็นกรดและด่างของโปรตีน ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอออนโนโปรตีน และจับกับอออนของโลหะแทนโปรตีนซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ ช่วยในการป้องกันการสูญเสียในระหว่างขั้นตอนการละลาย (thaw drip loss) และการแตกของน้ำแข็งที่เคลือบผลิตภัณฑ์แช่แข็งอยู่ (cracking of glaze) การใช้โพลีฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่แข็งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากประเทศผู้นำเข้าได้มีการอนุญาตให้ใช้โพลีฟอสเฟต ได้มีการศึกษาระดับปริมาณโพลีฟอสเฟต ที่ผู้ผลิตใส่ในผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็งแต่ละชนิด รวมถึงระดับของสารโพลีฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์สัตว์น้ำส่งออกไปยังประเทศที่มีมาตรฐานควบคุมการใช้โพลีฟอสเฟต โดยการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารทะเลแช่แข็งเพื่อการส่งออก 3 ชนิด ได้แก่ กุ้ง ปลา และปลาหมึก มาวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟอสเฟต จากการศึกษาพบว่า ปลา เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการตรวจพบปริมาณโพลีฟอสเฟตสูงถึงร้อยละ 50 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด รองลงมาคือ ปลาหมึกกล้วย ร้อยละ 37 กุ้งกุลาดำร้อยละ 21 และปลาหมึกกระดองร้อยละ 20 อย่างไรก็ตาม ปริมาณโพลีฟอสเฟต ที่ตรวจพบนี้ มีปริมาณโดยเฉลี่ยไม่เกินร้อยละ 0.1 ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณที่อนุญาตให้ใช้ได้ร้อยละ 0.5 การใช้สารประกอบฟอสเฟตในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น อาหารจำเป็นต้องคำนึงถึงความเหมาะสม และปริมาณที่ปลอดภัย ทั้งนี้ หากร่างกายได้รับสารประกอบฟอสเฟตในระดับที่สูงเกินไป ก็จะทำให้เกิดอาการเป็นพิษหรือเกิดอันตรายขึ้นได้ พิษของสารประกอบฟอสเฟตมีทั้งชนิดเฉียบพลันและเรื้อรัง จากการศึกษาทดลองในหนู พบว่า มีผลทำให้เกิดอาการผิดปกติขึ้นที่ไต ทำให้เกิด calcification อัตราการเจริญเติบโตลดลง น้ำหนักลดลง อย่างไรก็ตาม Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives; JECFA ได้ศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเป็นพิษของสารประกอบฟอสเฟตองค์ประกอบเหล่านี้ได้แก่ ปริมาณของฟอสฟอรัส แคลเซียม และแร่ธาตุอื่นๆ ซึ่งสรุปได้ว่า ถ้าร่างกายได้รับสารประกอบฟอสเฟตในปริมาณต่ำกว่า 30 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม จากอาหารทุกชนิด หรือในปริมาณ 30-70 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม จากอาหารที่มีแคลเซียมสูง ถือว่าเป็นปริมาณที่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค โดยสารประกอบฟอสเฟตที่นิยมใช้ ได้แก่ โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STPP) เตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟต (TSPP) และ เตตระโพแทสเซียมไพโรฟอสเฟต (TKPP)

วุฒิพจน์ ศุภวิริยากร (2554) ได้ศึกษาอิทธิพลของเกลือแกงและสารฟอสเฟตต่อคุณภาพปลาสลิดรมควันแบบร้อน พบว่าการแช่ปลาในน้ำเกลือความเข้มข้นร้อยละ 15 เวลา 10 นาที ทำให้มีปริมาณเกลือในเนื้อปลาร้อยละ 2.5 เป็นปริมาณเกลือที่ผู้บริโภคยอมรับ สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตใช้ได้ ดีที่ ร้อยละ 0.3 (โดยน้ำหนักเปียก) ส่วนสารฟอสเฟตตัวอื่นใช้ได้ปริมาณที่สูงกว่าคือ สารโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตร้อยละ 0.4 (โดยน้ำหนักเปียก) ไดโซเดียมฟอสเฟตร้อยละ 0.4 (โดยน้ำหนักเปียก) และเตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟตร้อยละ 0.4 (โดยน้ำหนักเปียก) ผลการคัดเลือกสารฟอสเฟตที่เป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบมากที่สุด คือโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตร้อยละ 0.3

(โดยน้ำหนักเปียก) การบรรจุปลาสดตรมควันภายใต้สภาวะสุญญากาศจะมีอายุการเก็บ 2 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ  $4 \pm 2$  องศาเซลเซียส และมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด  $5.61 \times 10^4$  CFU/g

## การใช้สารฟอสเฟตในอาหาร

### 1. การใช้สารประกอบฟอสเฟตเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำในผลิตภัณฑ์

**1.1 สภาวะความเป็นกรดสูง** ความเป็นกรดของสัตว์น้ำมีสาเหตุได้จากธรรมชาติของสัตว์น้ำเอง ซึ่งมีผลจากอาหารที่ใช้เลี้ยง วิธีการจับ หรือสภาพการแปรรูปที่ไม่ดี จะมีผลมาจากกระบวนการ glycolysis หลังจากปลาทาย glycogen จะถูกเปลี่ยนไปเป็น lactic acid ในสภาพ aerobic ให้ pH ลดลง ซึ่ง pH จะลดลงมากขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณ glycogen ที่สะสมในสัตว์น้ำ การเกิดกรดแลคติกจะถูกกระตุ้นให้สูงขึ้น ซึ่งถ้า pH ลดลงจนใกล้เคียงกับ iso-electric point ของโปรตีนและจะทำให้โปรตีนแยกจากกัน เมื่อนำไปแช่แข็งและละลายน้ำแข็ง จะสูญเสียน้ำมาก (drip loss)

**1.2 การเกิด rigor – mortis ของกล้ามเนื้อปลา** การเกิด rigor-mortis หลังปลาทาย เกิดภายในเวลาประมาณ 10-30 ชั่วโมงขึ้นกับวิธีการจับ สภาพของปลาแต่ละชนิด ขนาดของปลา และการดูแลรักษาหลังการจับ ในช่วงการเกิด rigor-mortis โปรตีน actin จะรวมตัวกับ myosin เกิดเป็น actomyosin ทำให้สมบัติการละลายน้ำลดลง ถ้านำสัตว์น้ำไปแช่แข็งระหว่างที่กำลังอยู่ในระยะ rigor mortis ขณะเก็บในหีบเย็นกล้ามเนื้อที่แช่แข็งจะไม่เกิด rigor mortis แต่ในระยะ thawing จะเกิดปฏิกิริยา rigor ขึ้นอย่างรวดเร็วและสิ้นสุดเร็วกว่าการเกิดตามธรรมชาติ เรียกว่า thaw rigor ลักษณะเช่นนี้ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวน้ำภายในเซลล์ถูกดันออกมาอยู่ภายนอกเซลล์ ทำให้เกิด drip loss ขึ้น

### 2. การใช้สารประกอบฟอสเฟตในกระบวนการแปรรูปอาหาร

การใช้ฟอสเฟตในการแปรรูปเนื้อสัตว์ สัตว์ปีก และสัตว์น้ำ อาจใช้วิธีจุ่มหรือฉีดสารละลายฟอสเฟตเข้าไปในเนื้อ หรือผสมในรูปแบบผงแห้ง การแปรรูปเนื้อสัตว์ และสัตว์ปีกนิยมใช้การฉีก เพื่อให้ฟอสเฟตเข้าไปแพร่กระจายในกล้ามเนื้ออย่างสม่ำเสมอ ในกุ้ง ปลา และสัตว์น้ำแปรรูปอื่นๆ นิยมใช้วิธีการจุ่ม ส่วนการเติมในรูปแบบผงแห้งนั้นนิยมใช้ในการผลิตไส้กรอกและซุริมิ (Teicher, 1990)

### 3. การใช้ฟอสเฟตในอาหารทะเล

การใช้ฟอสเฟตในอาหารทะเลนิยมผสมสารละลายฟอสเฟตลงบนอาหาร หรือจุ่มอาหารลงบนสารละลาย หรืออาจฉีดสารละลายเข้าไปในปลาทั้งตัวหรือชิ้นปลาแลที่มีขนาดใหญ่ หรืออาจจะคลุกเคล้าในสภาพสุญญากาศ การใช้ฟอสเฟตควรใช้ในช่วงก่อนการให้ความร้อน สารฟอสเฟตจะเป็นผลดีกับวัตถุดิบคุณภาพสูง (Henson and Kowaleski, 1992)

#### 4. ผลที่เกิดจากการใช้ฟอสเฟต

การใช้ฟอสเฟตในปริมาณมากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อรสชาติและกระบวนการผลิตรสชาติของผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนไปอาจเป็นรสฝาดอาจพบได้เมื่อใช้ในปริมาณที่เกินร้อยละ 0.5 (Teichher, 1990) การได้รับฟอสเฟตมากเกินไปในอาหารอาจทำให้ปริมาณการดูดซึมแคลเซียม เหล็ก และแร่ธาตุอื่นๆ ในร่างกายลดลง แต่ยังไม่มียางานถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากสาเหตุดังกล่าวเมื่อได้รับฟอสเฟตในปริมาณที่พอเหมาะ (Branen, 1990)

การฟอสเฟตนั้นได้มีการควบคุมการใช้ในบางประเทศ สำหรับในประเทศออสเตรเลียอนุญาตให้ใช้ได้ไม่เกิน 1.3 กรัม ในรูปฟอสฟอรัส (P) ต่อ กิโลกรัมของผลิตภัณฑ์ ในประเทศสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ได้ไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักผลิตภัณฑ์ในรูปฟอสเฟต ส่วนในไทยอนุญาตให้ใช้สารประกอบฟอสเฟตได้ไม่เกิน 5 กรัมต่อกิโลกรัม ของน้ำหนักกึ่งเยือกแข็ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) การเก็บรักษาเนื้อมีแช่เย็น โดยแช่เย็นที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียส ควรมีการใช้วิธีการยืดอายุการเก็บรักษาโดยวิธีอื่นร่วมด้วยเช่น การใช้สารเคมี การบรรจุในสภาวะปรับบรรยากาศและการใช้รังสี (Shahidi and Botta, 1994) ดังนั้นจึงมีการใช้กรดอินทรีย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพต่อต้านการเจริญของ จุลินทรีย์และต้านการหืน (วุฒิจำนุ สุภาวิริยากร, 2554)

#### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พาดิละ สาเมาะ และคณะ (2553) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์หั่วข้าวเกรียบสูตรพื้นฐานและผลิตภัณฑ์หั่วข้าวเกรียบรสสาหร่ายให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หั่วข้าวเกรียบสูตรพื้นฐาน ได้แก่ ปริมาณเนื้อมีปลา และชนิดของแป้ง พบว่า หั่วข้าวเกรียบที่มีการเติมปริมาณเนื้อมีปลาที่ร้อยละ 63 ผู้บริโภคให้การยอมรับสูงสุด และผลิตภัณฑ์หั่วข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลัง มีคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงสุด ส่วนการศึกษาปริมาณสาหร่ายที่เติมลงไปผลิตภัณฑ์หั่วข้าวเกรียบที่ร้อยละ 0, 4, 6, 8, 10 และ 12 พบว่า การเติมสาหร่ายร้อยละ 10 ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์มีคะแนนความชอบทางด้านสี ลักษณะปรากฏ รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมสูงสุด ( $p < 0.05$ ) และผลของการเติมสาหร่ายในผลิตภัณฑ์หั่วข้าวเกรียบในระดับต่างๆ ไม่มีผลต่อค่าการฟองตัว การขยายตัวด้านกว้าง และการขยายตัวด้านหนาของผลิตภัณฑ์ทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ส่วนผลของปริมาณสาหร่ายต่อค่าสีในผลิตภัณฑ์หั่วข้าวเกรียบทั้งก่อนทอดและหลังทอด พบว่า การเติมปริมาณสาหร่ายที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$  ลดลง ส่วนคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์หั่วข้าวเกรียบสูตรพื้นฐานสูตรพัฒนาพร้อมรับประทาน พบว่า มีค่าความแข็งเท่ากับ 3,777.96 กรัม ค่าความเปราะเท่ากับ 1,382.53 กรัม มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ เท่ากับร้อยละ 17.42, 17.09, 8.91, 4.42 และแคลเซียมเท่ากับ 4,020.00 มิลลิกรัม ตามลำดับ ส่วนผลิตภัณฑ์หั่วข้าวเกรียบรสสาหร่ายที่พัฒนาพร้อมรับประทานมีค่าความแข็งเท่ากับ 3,216.66 กรัม ค่าความเปราะเท่ากับ 633.30 กรัม มีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เกลือ เท่ากับร้อยละ 32.30, 15.98, 8.48, 2.57, 0.14 และ

แคลเซียมเท่ากับ 670.00 มิลลิกรัม ตามลำดับ จากการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคทั่วไป จำนวน 210 คน พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้การยอมรับผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบสูตรพื้นฐานในระดับชอบ มากร้อยละ 46.2 ส่วนผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบรสสาหร่าย พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้การยอมรับ ผลิตภัณฑ์ในระดับชอบมากร้อยละ 45.2

Taewee และคณะ (2008) ได้ศึกษาผลทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งมันสำปะหลังกับแป้งสาकु ต่อคุณภาพของข้าวเกรียบโดยศึกษาสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ ได้แก่ การหาปริมาณอะมิโนส ลักษณะรูปร่าง ขนาด ของเม็ดแป้งและการพองตัว ซึ่งผลการวิเคราะห์สมบัติของข้าวเกรียบหลังการทอด (ข้าวเกรียบภายหลังการนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 25-100 นาที และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3-4 ชั่วโมงและทอดใน น้ำมันที่อุณหภูมิ 190-200 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 25 นาที) จากอัตราการพองตัว ลักษณะและจำนวนโพรงอากาศต่อพื้นที่ปรากฏและค่าแรงกดของเนื้อสัมผัส พบว่าปริมาณแป้งสาकु และระยะเวลาหนึ่งมีผลต่อสมบัติของข้าวเกรียบแป้งผสมหลังการทอดแตกต่างกัน ( $p < 0.05$ ) กล่าวคือ เมื่อปริมาณแป้งสาकुเพิ่มขึ้น อัตราการพองตัวของข้าวเกรียบแป้งผสมลดลง จำนวนโพรงอากาศ เพิ่มขึ้นและค่าแรงกดของเนื้อสัมผัสข้าวเกรียบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการศึกษา พบว่า สมบัติหลัง การทอดของข้าวเกรียบแป้งผสมที่ระยะเวลาหนึ่งนาน 60 นาที ขึ้นไป ให้ค่าไม่แตกต่างกันอย่างมี นัยสำคัญ ( $p > 0.05$ ) โดยข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวที่ระยะเวลาหนึ่งนาน 60 นาที มีอัตราการพองตัวสูงสุดเท่ากับร้อยละ 187.15 ขณะที่ข้าวเกรียบแป้งผสมที่มีปริมาณแป้ง สาکور้อยละ 24 ที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 60 นาที มี อัตราการพองตัวต่ำที่สุด (เท่ากับร้อยละ 182.04) โดยอัตราการพองตัวของข้าวเกรียบหลังการทอด มีความสัมพันธ์ที่ระดับการเกิดเจลลิตีในเซชันของข้าวเกรียบที่ยังไม่ผ่านทอด

สุรรัตน์ พริกบุญจันทร์ (2547) ทดลองทำผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาโดยศึกษาอัตราส่วนที่ เหมาะสมระหว่างแป้งกับเนื้อปลา 3 ระดับ (80:20, 70:30, และ 60:40) และศึกษาอัตราส่วนที่ เหมาะสมของน้ำด่ำลึงกับน้ำที่ใช้ทำหัวข้าวเกรียบ 5 ระดับ (0:80, 50:30, 60:20, 70:10 และ 80:0) พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างแป้งกับเนื้อปลา คือ 60:40 และอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำ ด่ำลึงกับน้ำที่ใช้ทำหัวข้าวเกรียบที่ 60:20 โดยผลทางด้านประสาทสัมผัสสูงสุด (คุณลักษณะ ด้านสี กลิ่นรส รสชาติ ความกรอบ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม) และเมื่อนำข้าวเกรียบปลา มา วิเคราะห์ทางเคมี พบว่ามีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ร้อยละ 1.52, 10.85, 4.31 และ 3.04 ตามลำดับ

ศรายุทธ์ สมประสงค์ (2551) ศึกษาผลของอุณหภูมิและการใช้น้ำมันซ้ำต่อการดูดซับน้ำมัน เนื้อสัมผัส สีของข้าวเกรียบกุ้งทอด และสีของน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดที่อุณหภูมิ 160, 170, 180, 190 และ 200 องศาเซลเซียส พบว่า ที่อุณหภูมิการทอดสูงขึ้นการดูดซับน้ำมันของข้าวเกรียบ กุ้งทอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่ความแข็งของข้าวเกรียบกุ้งทอดลดลงไม่ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าสี  $L^*$  ของข้าวเกรียบกุ้งทอด ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่ค่าสี  $a^*$  ของข้าวเกรียบกุ้งทอดเพิ่มขึ้นอย่างมี

นัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) และค่าสี  $b^*$  ของข้าวเกรียบกุ้งทอดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการทอดและพบว่า การใช้อุณหภูมิทอดที่สูงขึ้นทำให้สีของน้ำมันปาล์มเข้มขึ้นด้วย ผลของการใช้น้ำมันปาล์มทอดซ้ำนั้นที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส และทอดซ้ำ 1-4 ครั้ง พบว่า การดูดซับน้ำมัน ความแข็ง ค่าสี  $a^*$  และค่าสี  $b^*$  ของข้าวเกรียบกุ้งทอดด้วยน้ำมันปาล์มที่ใช้ซ้ำนั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) การใช้ไขมันทอดซ้ำมีแนวโน้มที่จะทำให้ค่าสี  $L^*$  ของข้าวเกรียบกุ้งทอดลดลงและมีผลต่อค่าสี  $L^*$   $a^*$  และ  $b^*$  ของน้ำมันปาล์ม และพบว่าสีน้ำมันปาล์มเข้มขึ้นหลังจากผ่านการทอดซ้ำ ซึ่งทำให้สีของข้าวเกรียบกุ้งทอดเข้มขึ้นด้วย

Yu และคณะ (1991) ศึกษาผลการยอมรับของข้าวเกรียบปลาที่ผลิตจากแป้งต่างชนิดกัน คือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาธู และแป้งข้าวสาลี พบว่าอัตราการพองตัวของข้าวเกรียบปลาที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาธูจะมีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณของโปรตีนมีผลต่อคุณสมบัติการขยายตัวของข้าวเกรียบ อัตราการพองตัวของข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาธูจะสูงกว่าร้อยละ 77 ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมีความกรอบที่ดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและผลการประเมินทางด้านประสาทสัมผัส พบว่าข้าวเกรียบที่ผลิตด้วยแป้งมันสำปะหลังมีคะแนนความชอบทางด้านสี ความกรอบ กลิ่นรส และความชอบรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.01$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งสาธู

อรรถกร มุณีกานนท์ และมาลัยวรรณ อารยะสกุล (2547) ศึกษาการเติมสารฟอสเฟต 4 ชนิดเพื่อปรับปรุงคุณภาพไส้กรอกหมูแช่แข็ง พบว่า การใช้สารฟอสเฟตทั้ง 4 ชนิดจะช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ได้ดีกว่าไม่ใช้ ทั้งนี้การใช้โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟตจะช่วยปรับปรุงคุณภาพเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแน่นเนื้อ การเกาะตัว แรงที่ใช้ในการเคี้ยว ดีกว่าการใช้สารฟอสเฟตชนิดอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

เกศรินทร์ บาตรโพธิ์ และคณะ (2554) ศึกษาผลของอัตราการแช่เยือกแข็งและวิธีการละลายน้ำแข็งที่มีผลต่อคุณลักษณะของขนมชั้นแช่เยือกแข็ง โดยนำขนมชั้นมาแช่เยือกแข็งแบบเร็วที่อัตราการแช่เยือกแข็ง 4.08 องศาเซลเซียส/นาทีก และแช่เยือกแข็งแบบช้าที่อัตราเร็ว 0.2 องศาเซลเซียส/นาทีก จากนั้นนำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง และในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ตรวจสอบคุณภาพเนื้อสัมผัส พบว่า ขนมชั้นที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบช้ามีความแข็งมากกว่าขนมชั้นที่ผ่านการแช่เยือกแข็งแบบเร็ว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ส่วนการทำละลายที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ให้ผลดีกับการละลายที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากการให้ความร้อนสูงในระยะสั้นช่วยให้ขนมชั้นกลับคืนสู่สภาพเดิมได้มากที่สุด

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินการวิจัย

##### วัตถุดิบ

1. ปลาทุแครงครีบยาว
2. แป้งมันสำปะหลัง ตราแมวแดง ดาวเทียมลูกโลก
3. เกลือป่น ตรามงกุฎเพชร
4. น้ำมันปาล์ม ตราสีลา
5. น้ำตาล ตราลิน
6. ผงชูรส ตราอายิโนะโมะโต๊ะ
7. แป้งสาชูจากจังหวัดปัตตานี
8. สารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต จากบริษัท วิทยาธรรม จำกัด

##### อุปกรณ์ในการผลิตหัวข้าวเกรียบ

1. เครื่องบดเนื้อ ตรา champ amci. Product รุ่น tc12-c
2. เครื่องนวดผสม ตรา spar food machinery รุ่น ts 201
3. เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่ง ตราMETTLER TOLEDO รุ่น AB 204S
4. อุปกรณ์งานครัว ได้แก่ ถาด มีด หม้อต้มตะแกรง

##### อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพและทางเคมี

1. อุปกรณ์สำหรับทดสอบอัตราการพองตัวโดยการแทนที่เมล็ดงา
2. เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Water activity ;  $a_w$ ) ตรา Aqualab รุ่น S36090
3. เครื่องชั่งตวงวัด 4 ตำแหน่งตรา METTLER TOLEDO รุ่น AB 204S
4. เครื่องโฮโมจีไนซ์ (Homogenizer) ตรา ULRA รุ่น T25B
5. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) ตราSCHOTT รุ่น G 0840
4. เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Texture Analyser : TPA) รุ่น TA-Xt plus

##### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 1. ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

ศึกษาอัตราส่วนของแป้งสาชูและแป้งมันสำปะหลัง 6 ระดับคือ 100 : 0, 80 : 20, 60 : 40, 40 : 60, 20 : 80 และ 0 : 100 ในการผลิตหัวข้าวเกรียบ (ตารางที่ 3.1) ตามสูตรและวิธีการผลิตหัวข้าวเกรียบของ จริยา สุขจันทร์ และคณะ (2554) ดังนี้

### ส่วนผสม

|                        |        |      |
|------------------------|--------|------|
| - เนื้อปลาทุแขกครีบยาว | ร้อยละ | 63   |
| - แป้งมันสำปะหลัง      | ร้อยละ | 30.5 |
| - เกลือป่น             | ร้อยละ | 1.8  |
| - น้ำตาล               | ร้อยละ | 3.8  |
| - ผงชูรส               | ร้อยละ | 0.9  |

### ขั้นตอนการผลิตหัวข้าวเกรียบแซ่แข็ง

1. นำปลาทุแขกมาตัดหัว ควักไส้ทิ้ง แล้วล้างให้สะอาด วางทิ้งให้สะเด็ดน้ำ
2. นำปลาทุแขกมาบดด้วยเครื่องบด 2 ครั้ง ครั้งแรกเป็นการบดหยาบ ใช้รังผึ้งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร จากนั้นทำการบดละเอียดโดยใช้รังผึ้งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 เซนติเมตร
3. นำเนื้อปลาที่บดละเอียดแล้วใส่ในเครื่องนวดผสมที่ใช้ใบพัดแบบตะขอ แล้วเติมส่วนผสม ได้แก่ เกลือป่น น้ำตาล และผงชูรสทำการนวดผสมเป็นเวลา 3 นาที ใช้ความเร็วระดับ 1
4. เติมแป้งมันสำปะหลังทั้งหมด ทำการนวดผสมเป็นเวลา 4-5 นาที หรือจนส่วนผสมจับตัวเป็นก้อน ที่ความเร็วระดับ 1
5. นำแป้งผสมที่ได้มาชั่งน้ำหนักให้ได้ 500 กรัม คลึงเป็นก้อนกลม แล้วปั้นเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 24 เซนติเมตร
6. นำไปต้มที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
7. นำก้อนข้าวเกรียบขึ้นจากหม้อต้มวางบนตะแกรงให้สะเด็ดน้ำ แล้วทิ้งไว้ให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง
8. นำมาหั่นเป็นแท่งสี่เหลี่ยมที่มีความกว้าง x ยาว x หนา เท่ากับ 1x8x1 เซนติเมตร

### ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมในการผลิตหัวข้าวเกรียบ

| ส่วนผสม (%)     | อัตราส่วน แป้งสาคุ : แป้งมันสำปะหลัง |       |       |       |       |       |
|-----------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                 | 100:0                                | 80:20 | 60:40 | 40:60 | 20:80 | 0:100 |
| แป้งสาคุ        | 30.5                                 | 24.4  | 18.3  | 12.2  | 6.1   | 0     |
| แป้งมันสำปะหลัง | 0                                    | 6.1   | 12.2  | 18.3  | 24.4  | 30.5  |
| เนื้อปลาทุแขก   | 63                                   | 63    | 63    | 63    | 63    | 63    |
| น้ำตาลทราย      | 3.8                                  | 3.8   | 3.8   | 3.8   | 3.8   | 3.8   |
| เกลือป่น        | 1.8                                  | 1.8   | 1.8   | 1.8   | 1.8   | 1.8   |
| ผงชูรส          | 0.9                                  | 0.9   | 0.9   | 0.9   | 0.9   | 0.9   |

นำหัวข้าวเกรียบที่หั่นเป็นชิ้นไปแช่เยือกแข็งโดยวิธี air-blast freezing โดย ณ บริษัทชัยเจริญมารีน (2002) จำกัด อ. เมือง จ. ปัตตานี นำหัวข้าวเกรียบแช่แข็งที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพดังนี้

### 1.1 การตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

- ปริมาณความชื้น (AOAC. 2000)

### 1.2 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

- Drip loss (Margit and Henrik, 2006)
- การขยายตัว โดยการแทนที่เมล็ดงา
- เนื้อสัมผัส (TPA) ได้แก่ hardness fracturability springiness cohesiveness และ chewiness (ส่งวิเคราะห์)

การเตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ โดยนำหัวข้าวเกรียบแช่แข็งมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $4\pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาทอดในน้ำมันปาล์ม ที่มีอุณหภูมิ  $190\pm 10$  องศาเซลเซียส นาน 2 นาที โดยใช้อัตราส่วนของน้ำมันหัวข้าวเกรียบต่อน้ำมันที่ทอด เท่ากับ 200 กรัม (20 ชิ้น) ต่อน้ำมัน 500 กรัม

### 1.3 การตรวจสอบคุณภาพคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9 point hedonic scale ด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส ความเหนียว ความกรอบ และความชอบรวม ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

การเตรียมตัวอย่างสำหรับตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยนำหัวข้าวเกรียบแช่แข็งมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $4\pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาทอดในน้ำมันปาล์ม ที่มีอุณหภูมิ  $190\pm 10$  องศาเซลเซียส นาน 2 นาที โดยใช้อัตราส่วนของน้ำมันหัวข้าวเกรียบต่อน้ำมันที่ทอด เท่ากับ 200 กรัม (20 ชิ้น) ต่อน้ำมัน 500 กรัมจนได้หัวข้าวเกรียบพร้อมบริโภค

## 2. ศึกษาผลของสารโพลิฟอสเฟตต่อสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

ผลิตหัวข้าวเกรียบโดยใช้อัตราส่วนของแป้งสาคูและแป้งมันสำปะหลัง ตามสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดจากข้อ 1. และเติมสารโพลิฟอสเฟต 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.2, 0.3 และ 0.4 ของส่วนผสมทั้งหมด แล้วนำผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชุดการทดลองไปแช่แข็ง โดยวิธี air-blast freezing ณ บริษัทชัยเจริญมารีน (2002) จำกัด อ. เมือง จ. ปัตตานี นำหัวข้าวเกรียบแช่แข็งที่ได้ไปตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

### 2.1 ตรวจสอบคุณภาพทางเคมี

- ความชื้น (AOAC, 2000)

## 2.2 การตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ

- Drip loss (Margit and Henrik, 2006)
- การขยายตัว โดยการแทนที่เมล็ดงา
- เนื้อสัมผัส (Texture analyzer) ได้แก่ hardness fracturability springiness cohesiveness และ chewiness (ส่งวิเคราะห์)

## 2.3 การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9 point hedonic scale ด้านสี กลิ่น รสชาติ ความเหนียว ความกรอบ และความชอบรวม ใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) สำหรับการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและกายภาพ และวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองแบบ DMRT (Duncan's New Multiple Range Test)

## 3. ศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ ดังนี้

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง ที่มีคุณลักษณะที่ดีที่สุดจากข้อ 2 ดังนี้ (นำตัวอย่างหัวข้าวเกรียบมาทอดในน้ำมันปาล์ม ที่มีอุณหภูมิ  $190 \pm 10$  องศาเซลเซียส นาน 2 นาที โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักหัวข้าวเกรียบต่อน้ำมันที่ทอด เท่ากับ 200 กรัม ต่อน้ำมัน 500 กรัม)

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)
- ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)
- ปริมาณไขมัน (AOAC, 2000)
- ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)
- ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

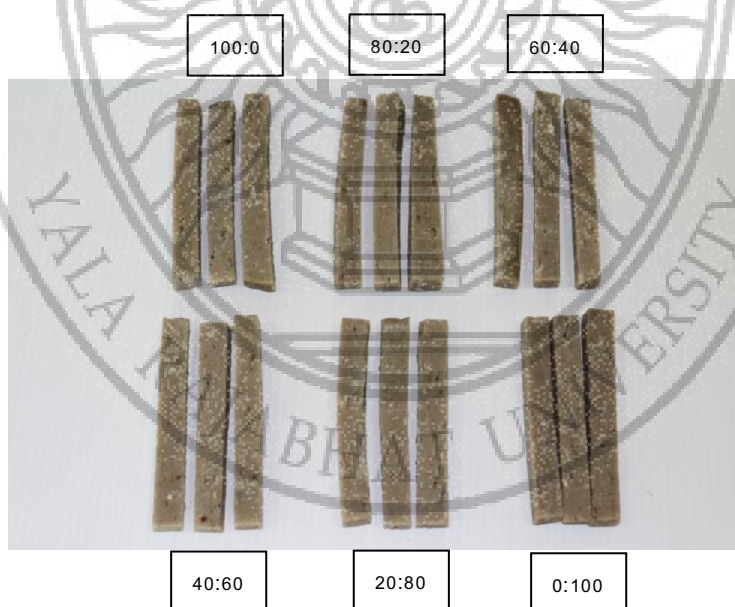
## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผล

การศึกษาการใช้แป้งสาคุซึ่งเป็นผลผลิตภัณฑ์จากพืชท้องถิ่นของภาคใต้ ทดแทนแป้งมันสำปะหลังในสูตรการผลิตหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง การศึกษาใช้สารช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบ มีลำดับการนำเสนอผลการศึกษาดังต่อไปนี้

#### ผลการศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

การศึกษสูตรในการผลิตหัวข้าวเกรียบด้วยการทดแทนแป้งมันสำปะหลังด้วยแป้งสาคุ ซึ่งศึกษาอัตราส่วนของแป้งสาคุ : แป้งมันสำปะหลัง 6 ระดับคือ อัตราส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60 20:80 และ 0:100 โดยทำการผลิตหัวข้าวเกรียบตามสูตร และวิธีการผลิตของจริยา สุขจันทร์ และคณะ (2554) แล้วนำหัวข้าวเกรียบทั้ง 6 ชุดการทดลอง หั่นเป็นชิ้นขนาด กว้างxหนาxยาว เท่ากับ 1x1x8 เซนติเมตร (รูปร่างคล้ายมันฝรั่งทอด ดังภาพที่ 4.1) นำไปแช่เยือกแข็งโดยวิธี air-blast ณ บริษัทชัยเจริญมารีน (2002) จำกัด จ. ปัตตานี จากนั้นนำมาตรวจสอบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ปรากฏผลตามลำดับดังนี้



ภาพที่ 4.1 หัวข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งสาคุและแป้งมันสำปะหลัง

## 1. ผลการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและกายภาพ

- **ปริมาณความชื้น** ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง ซึ่งผลิตโดยใช้อัตราส่วนของแป้งสาคูและแป้งมันสำปะหลังทั้ง 6 ระดับ คือ 100 : 0, 80 : 20, 60 : 40, 40 : 60, 20 : 80 และ 0 : 100 พบว่า ปริมาณความชื้นแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) หัวข้าวเกรียบที่ใช้แป้งมันสำปะหลังในปริมาณเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มของปริมาณความชื้นสูงขึ้นตามไปด้วย ข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว (0 : 100) มีปริมาณความชื้นสูงสุด คือ ร้อยละ 64.51 ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งปริมาณความชื้นของหัวข้าวเกรียบนี้ เป็นผลจากขั้นตอนการต้มที่อุณหภูมิ 90-95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยก่อนแป้งเมื่อได้รับความร้อนจากการต้ม จนมีอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิการเกิดเจลลาตินในเซชัน พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งก็จะเกิดการพองตัวขึ้น ซึ่งความสามารถในการพองตัวจะขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง โดยแป้งที่มีปริมาณอะมิโลแพกทินสูงจะมีการพองตัวสูง ในขณะที่การพองตัวจะลดลงเมื่อปริมาณอะมิโลสเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) อนึ่งแป้งสาคูมีปริมาณอะมิโลแพกทินต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง ในขณะที่มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่า จึงทำให้หัวข้าวเกรียบที่มีแป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมมีการพองตัวสูงและส่งผลให้ปริมาณความชื้นในหัวข้าวเกรียบสูงกวานั้นเอง (Taewee, 2011 ; Hayadi, 1994) นอกจากนี้ปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง ได้แก่ น้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของโมเลกุล จำนวนกิ่งก้านสาขา และการจัดเรียงตัวและความยาวของสาขาในอะมิโลเพกทิน เป็นต้น

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางเคมีและกายภาพของหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

| อัตราส่วน<br>(แป้งสาคู:แป้งมัน) | ปริมาณความชื้น<br>(%)*   | Drip loss<br>(%)**      | การขยายตัว<br>(เท่า)*** |
|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 100:0                           | 49.80 <sup>a</sup> ±0.37 | 2.26 <sup>a</sup> ±0.36 | 0.87 <sup>b</sup> ±0.08 |
| 80:20                           | 50.56 <sup>b</sup> ±0.28 | 2.21 <sup>a</sup> ±0.28 | 0.76 <sup>a</sup> ±0.08 |
| 60:40                           | 51.04 <sup>b</sup> ±0.53 | 2.52 <sup>a</sup> ±0.05 | 0.74 <sup>a</sup> ±0.06 |
| 40:60                           | 51.98 <sup>c</sup> ±0.33 | 2.78 <sup>a</sup> ±0.10 | 0.71 <sup>a</sup> ±0.00 |
| 20:80                           | 53.60 <sup>d</sup> ±0.25 | 2.67 <sup>a</sup> ±0.16 | 0.78 <sup>a</sup> ±0.04 |
| 0:100                           | 64.51 <sup>e</sup> ±0.35 | 2.14 <sup>a</sup> ±0.25 | 0.72 <sup>a</sup> ±0.03 |

หมายเหตุ : <sup>a-e</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

\* ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

\*\* , \*\*\* ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

- **ค่า drip loss** ผลการวัดค่า drip loss ของหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง ที่ผลิตโดยใช้

อัตราส่วนของแป้งสาคูและแป้งมันสำปะหลังแตกต่างกัน 6 ระดับ พบว่า มีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 2.14-2.78 (ตารางที่ 4.1) ค่า drip loss เป็นค่าการสูญเสียน้ำของเซลล์ เนื่องจากการทำลายของผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง ซึ่งน้ำดังกล่าวไม่สามารถกลับเข้าไปในเซลล์ได้ จึงทำให้น้ำเยิ้มออกมาที่ผิวอาหาร ส่วนใหญ่เป็นผลจากอัตราเร็วในการแช่เยือกแข็ง และองค์ประกอบของอาหารแช่แข็ง ซึ่งการศึกษาค้างนี้เป็นการแช่เยือกแข็งด้วยระบบพ่นลมเย็น (air-blast freezing) ซึ่งเป็นการแช่แข็งแบบเร็ว (quick freezing) เกิดการหมุนเวียนของอากาศเย็นอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็ก ไม่ทำให้เซลล์ของอาหารเสียหาย เมื่อนำมาละลายน้ำแข็งจึงมีค่าการสูญเสียต่ำ (Loannis, 2014) และการศึกษาค้างนี้ใช้แป้งสาคูและแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ใกล้เคียงกันคือประมาณร้อยละ 30-50 (Piyachomkwan *et al*, 1999) อย่างไรก็ตามการสูญเสียจากการละลายของอาหารแช่แข็งสามารถป้องกันได้โดยการควบคุมอุณหภูมิในการเก็บรักษาให้คงที่ และเลือกวิธีการละลายที่เหมาะสม (Corina *et al*, 2013 ; Coleen *et al*, 2012)

- **อัตราการขยายตัว** ผลการวัดอัตราการขยายตัวของหัวข้าวเกรียบแช่แข็งที่ผลิตโดย

ใช้อัตราส่วนของแป้งสาคูและแป้งมันสำปะหลัง 6 ระดับ ภายหลังจากนำไปทอดที่อุณหภูมิ  $190 \pm 10$  องศาเซลเซียส นาน 2 นาที พบว่า หัวข้าวเกรียบที่มีส่วนผสมของแป้งสาคูเพียงอย่างเดียว มีค่าการขยายตัวสูงสุด เท่ากับ 0.87 เท่า ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่หัวข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งสาคูและแป้งมันสำปะหลังอัตราส่วนอื่น ๆ มีค่าการขยายตัวไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) อนึ่งอัตราการขยายตัวของผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลาโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับปริมาณอะมิโนแอซิดของแป้งที่ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิต กล่าวคือควรทำจากแป้งที่มีความสามารถในการพองตัวดี ภายหลังจากเกิดเจลในเซชันจะทำให้ได้เจลที่มีลักษณะใส และคงตัวต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน ซึ่งมีรายงานการศึกษาว่าการใช้แป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวทำให้ข้าวเกรียบมีการขยายตัวมากกว่าแป้งผสมระหว่างแป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคูและแป้งสาคูเพียงอย่างเดียว (จันทร์เพ็ญ ไชยบุญ, 2545 ; Teawee, 2011 ; Mayyawadee and Gerherd, 2011 ; Nurul *et al*, 2010) อย่างไรก็ตามข้าวเกรียบปลาดังกล่าวมีปริมาณความชื้นก่อนทอดอยู่ในช่วงร้อยละ 9-14 ซึ่งแตกต่างจากหัวข้าวเกรียบซึ่งมีความชื้นสูง ร้อยละ 49.80-64.51 ซึ่งความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่สูงนี้ทำให้การถ่ายเทความร้อนจากภายในชั้นอาหารออกสู่ผิวหน้าอาหารขณะทอด (heat conduction) เกิดขึ้นไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการฟอร์มตัวของ crust (crust formation) จึงทำให้มีส่วนของ core ซึ่งเป็นส่วนกลางของชั้นอาหารที่มีความชื้นสูงอยู่ จึงทำให้อัตราการขยายตัวต่ำ (Guillaumin, 1988) อีกทั้งหัวข้าวเกรียบผลิตจากส่วนผสมที่เป็นแป้งเพียงร้อยละ 30.5 เป็นผลให้ผลิตภัณฑ์หลังทอดมีการพองตัวเพียงเล็กน้อย (วารวิชนี ลอปกุลเกียรติ และวิไล รังสาดทอง, 2553)

### - เนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis : TPA)

การวิเคราะห์โปรไฟล์ของเนื้อสัมผัส เป็นวิธีทดสอบที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ ซึ่งกราฟที่ได้จะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกับระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองบดเคี้ยว ค่า hardness หรือ ค่าความแข็ง เป็นแรงสูงสุดที่ทำให้ตัวอย่างอาหารเสียรูปร่างไป ค่า fracturability หรือ brittle เป็นแรงที่ทำให้สารแตกหักออก หรือความเปราะบางของผลิตภัณฑ์ ค่า springiness เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการคืนตัวของตัวอย่าง หลังจากเสียรูปจากการกดครั้งแรก ค่า cohesiveness เป็นพลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร และ ค่า chewiness เป็นพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหาร ผลจากการวัดค่า TPA ในตัวอย่างหัวข้าวเกรียบแช่แข็งทอด ซึ่งการศึกษาครั้งนี้วัดเนื้อสัมผัสโดยวิธี texture profile analysis ด้วย cylinder probe diameter 50 มิลลิเมตร ความเร็วของ probe ขณะทดสอบ 5.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะกดร้อยละ 50 ของความหนาตัวอย่าง ปรากฏว่า ค่า hardness และค่า fracturability มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) โดยสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 100 มีค่า hardness และค่า fracturability สูงสุด เท่ากับ 19,170 และ 11,684.5 กรัมตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการทอดหัวข้าวเกรียบอุณหภูมิ อุณหภูมิของชั้นอาหารสูงขึ้น เกิดการระเหยกลายเป็นไอของน้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดความดันไอลอยขึ้นภายในชั้นอาหาร และดันให้เนื้อของอาหารขยายตัว ทำให้เกิดรูพรุนขนาดต่าง ๆ (crust) ทำให้อาหารขยายตัวและกรอบ โดยชนิดของแป้งที่ใช้จะมีอิทธิพลต่อค่า hardness และค่า fracturability โดยอาหารที่มีโครงสร้างแข็งจะให้ความกรอบที่มากกว่า แต่อย่างไรก็ตามการทอดหัวข้าวเกรียบมีลักษณะแตกต่างจากการทอดข้าวเกรียบโดยทั่วไป ด้วยความชื้นของหัวข้าวเกรียบมีปริมาณสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 50-64 ในขณะที่ข้าวเกรียบทั่วไปมีความชื้นเพียง ร้อยละ 12-18 ทำให้อาหารของอาหารหลังทอดแตกต่างกัน หัวข้าวเกรียบทอดจะมีส่วนของ core หรือส่วนที่อยู่ตรงกลาง ซึ่งสุกและยังคงมีความชื้นอยู่สูง ในขณะที่มีส่วน crust น้อย และภายหลังการทอดจะค่อยๆ สูญเสียความกรอบเนื่องจากความชื้นในชั้นอาหารจะซึมผ่านออกสู่ภายนอกตลอดเวลา

ตารางที่ 4.2 เนื้อสัมผัส ของหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

| อัตราส่วน<br>(แป้งสาคู:แป้งมัน) | รายการทดสอบ            |                        |                    |                    |                         |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
|                                 | hardness (g)           | fracturability (g)     | springiness        | cohesiveness       | chewiness               |
| 100:0                           | 12,295.91 <sup>a</sup> | 7,748.63 <sup>a</sup>  | 0.793 <sup>c</sup> | 0.384 <sup>b</sup> | 3,579.14 <sup>abc</sup> |
| 80:20                           | 15,066.83 <sup>b</sup> | 6,699.44 <sup>a</sup>  | 0.733 <sup>b</sup> | 0.361 <sup>b</sup> | 4,023.70 <sup>c</sup>   |
| 60:40                           | 17,156.04 <sup>c</sup> | 6,396.50 <sup>a</sup>  | 0.717 <sup>b</sup> | 0.420 <sup>c</sup> | 5,142.02 <sup>d</sup>   |
| 40:60                           | 15,136.65 <sup>b</sup> | 6,642.94 <sup>a</sup>  | 0.705 <sup>b</sup> | 0.363 <sup>b</sup> | 3,900.99 <sup>bc</sup>  |
| 20:80                           | 17,754.57 <sup>c</sup> | 10,848.51 <sup>b</sup> | 0.614 <sup>a</sup> | 0.303 <sup>a</sup> | 3,101.71 <sup>a</sup>   |
| 0:100                           | 19,170.05 <sup>d</sup> | 11,684.51 <sup>b</sup> | 0.608 <sup>a</sup> | 0.278 <sup>a</sup> | 3,255.67 <sup>ab</sup>  |

หมายเหตุ : <sup>a-d</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่า springiness ในหัวข้าวเกรียบทั้ง 6 ชุดการทดลองมีค่าแตกต่างกัน ( $p < 0.05$ ) โดยหัวข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งสาคุเพียงอย่างเดียวมีค่า springiness สูงสุด และค่าดังกล่าวจะลดลงตามปริมาณแป้งสาคุที่ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับค่า hardness นั่นคือ หัวข้าวเกรียบที่มีความกรอบแข็งสูง จะมีค่าการยืดหยุ่นต่ำ นอกจากนี้ค่า cohesiveness ของหัวข้าวเกรียบที่จะสัมพันธ์กับค่า chewiness โดยขึ้นหัวข้าวเกรียบที่มีการยืดเกาะสูงจะใช้พลังงานในการเคี้ยวสูงตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลจากองค์ประกอบของแป้งที่ใช้นั่นเอง

## 2. ผลการตรวจสอบคุณภาพคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9 point hedonic scale ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเหนียว ความกรอบ และความชอบรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน พบว่า คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น รสชาติ และความเหนียว ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่คะแนนการยอมรับด้านสี ความกรอบ และด้านความชอบรวม มีค่าแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหัวข้าวเกรียบแช่แข็งหลังทอด

| อัตราส่วน<br>(แป้งสาคุ:<br>แป้งมัน) | การทดสอบทางประสาทสัมผัส ด้วยวิธี 9 point hedonic scale |                          |                         |                         |                         |                          |                         |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
|                                     | ลักษณะ<br>ปรากฏ                                        | สี                       | กลิ่น                   | รสชาติ                  | ความ<br>เหนียว          | ความกรอบ                 | ความชอบ<br>รวม          |
| 100:0                               | 6.37 <sup>a</sup> ±1.47                                | 6.27 <sup>ab</sup> ±1.40 | 6.40 <sup>a</sup> ±1.36 | 6.63 <sup>a</sup> ±1.63 | 6.13 <sup>a</sup> ±1.52 | 6.30 <sup>a</sup> ±1.56  | 6.73 <sup>b</sup> ±1.67 |
| 80:20                               | 5.93 <sup>a</sup> ±1.58                                | 6.50 <sup>b</sup> ±1.39  | 6.47 <sup>a</sup> ±1.40 | 6.73 <sup>a</sup> ±1.48 | 5.73 <sup>a</sup> ±1.45 | 6.70 <sup>ab</sup> ±1.44 | 6.87 <sup>b</sup> ±1.42 |
| 60:40                               | 6.37 <sup>a</sup> ±1.26                                | 6.63 <sup>b</sup> ±1.06  | 6.13 <sup>a</sup> ±1.30 | 6.57 <sup>a</sup> ±1.23 | 6.30 <sup>a</sup> ±1.49 | 6.97 <sup>ab</sup> ±1.29 | 6.83 <sup>b</sup> ±1.37 |
| 40:60                               | 6.53 <sup>a</sup> ±1.31                                | 6.23 <sup>ab</sup> ±1.39 | 6.57 <sup>a</sup> ±1.21 | 6.63 <sup>a</sup> ±1.21 | 6.30 <sup>a</sup> ±1.43 | 7.20 <sup>ab</sup> ±1.25 | 7.07 <sup>b</sup> ±1.25 |
| 20:80                               | 6.43 <sup>a</sup> ±1.26                                | 6.33 <sup>ab</sup> ±1.04 | 6.03 <sup>a</sup> ±0.97 | 6.30 <sup>a</sup> ±1.12 | 5.67 <sup>a</sup> ±1.31 | 7.43 <sup>b</sup> ±1.20  | 5.60 <sup>a</sup> ±1.41 |
| 0:100                               | 6.33 <sup>a</sup> ±1.19                                | 5.93 <sup>a</sup> ±1.12  | 6.03 <sup>a</sup> ±1.20 | 6.23 <sup>a</sup> ±1.02 | 5.50 <sup>a</sup> ±1.26 | 7.10 <sup>ab</sup> ±1.27 | 5.83 <sup>a</sup> ±1.73 |

หมายเหตุ : <sup>a-b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

จากคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็งที่เติมแป้งสาคุทดแทนแป้งมันสำปะหลัง มีคะแนนการยอมรับด้านสีแตกต่างจากหัวข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว นั่นคือสีของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งสาคุจะมีสีน้ำตาลอมแดง แตกต่างจากหัวข้าวเกรียบที่มีมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียวที่มีสีน้ำตาลเหลือง (ภาพที่ 4.2) ทั้งนี้เนื่องจากแป้งสาคุมีสีชาวมแดงซึ่งเป็นผลจากกระบวนการผลิตที่เป็นแบบพื้นบ้านไม่มีการฟอกสีด้วยกัมมะถันเหมือนกับการผลิตแป้งมันสำปะหลัง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) เมื่อนำมาผสมกับส่วนผสมอื่น ๆ และนำไปทอดจึงทำให้ได้สีที่ดี ผลคะแนนการยอมรับด้านความกรอบ พบว่า หัวข้าวเกรียบที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเป็นส่วนผสมเพิ่มขึ้นจะทำให้คะแนนการยอมรับด้านความกรอบเพิ่มขึ้นด้วย เป็นผลจากองค์ประกอบของอะไมโลเพกทินที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะกรอบแข็ง และมีลักษณะโดยรวมเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคสูงสุด ทั้งนี้แม้ว่าหัวข้าวเกรียบที่

มีส่วนผสมของแป้งสาคูจะมีความกรอบน้อยกว่า แต่จะมีความกรอบคงที่นานกว่าหัวข้าวเกรียบที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว ดังนั้นหัวข้าวเกรียบที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด คืออัตราส่วนของแป้งสาคูและแป้งมันสำปะหลังเท่ากับ 40:60 จึงคัดเลือกชุดการทดลองดังกล่าวไปศึกษาข้อต่อไป



ภาพที่ 4.2 หัวข้าวเกรียบที่ผลิตจากแป้งสาคูและแป้งมันสำปะหลังในอัตราส่วนต่างๆ หลังทอด

## ผลของสารโพสเฟตต่อสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

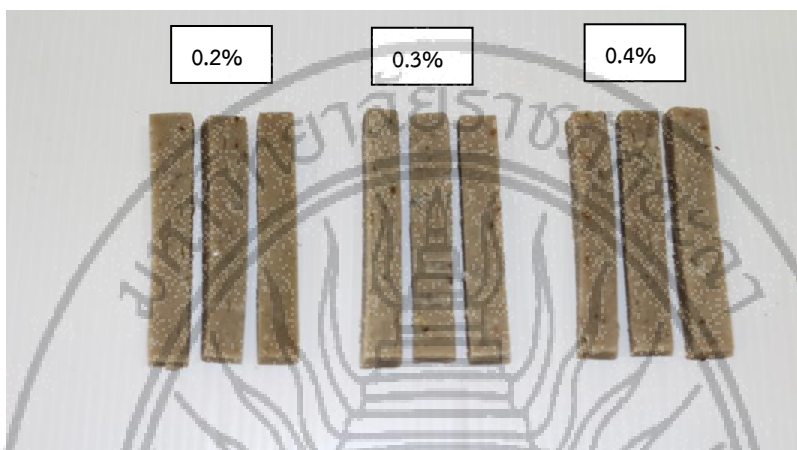
ผลิตหัวข้าวเกรียบตามสูตรที่ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดจากข้อ 1 นั่นคือใช้อัตราส่วนของแป้งสาคู : แป้งมันสำปะหลัง อัตราส่วน 40 : 60 ในส่วนผสม และเติมสารโซเดียมไตรโพสเฟต (STPP) 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.2, 0.3 และ 0.4 ของน้ำหนักส่วนผสม (ภาพที่ 4.3) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ชุดการทดลองไปแช่แข็ง (air-blast) และตรวจสอบคุณภาพทางเคมี กายภาพ และประสาทสัมผัส แสดงผลตามลำดับ ดังนี้

### 2.1 คุณภาพทางเคมี

#### - ความชื้น

ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของหัวข้าวเกรียบแช่แข็งที่เติมสาร STPP 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.2, 0.3 และ 0.4 พบว่า มีค่าแตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยหัวข้าวเกรียบแช่แข็งที่เติม STPP ร้อยละ 0.4 มีปริมาณความชื้นสูงสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 54.23 (ตารางที่ 4.4) และปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นตามปริมาณ STPP ที่เติมในกระบวนการผลิต เนื่องจากสารประกอบฟอสเฟต เป็นสารที่มีบทบาทในการเพิ่มคุณสมบัติในการจับกับน้ำของโปรตีน ทำให้หัวข้าวเกรียบมีลักษณะอู่น้ำไว้ในโครงสร้างได้สูง สารประกอบฟอสเฟตจะทำปฏิกิริยากับแอคโตไมโอซินทำให้แตกตัวเป็นแอคตินและไมโอซิน ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหที่มีช่องว่างให้น้ำสามารถแทรกอยู่ได้ นอกจากนี้การเติม STPP ในผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของแป้งซึ่งมีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ และพองตัวเมื่อได้รับความร้อน จึงทำให้ผลิตภัณฑ์เก็บน้ำเอาไว้ในโครงสร้างได้เพิ่มขึ้น และ

ลดการสูญเสียน้ำระหว่างการต้มสุกของผลิตภัณฑ์ได้ (อภิรดา รินพล, 2555) สารโพลีฟอสเฟตมีการใช้ในอุตสาหกรรมแช่แข็งหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น โมโนโซเดียมฟอสเฟต (monophosphate) โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (sodium tripolyphosphate) เตตระโซเดียมไพโรฟอสเฟต (tetrasodium pyrophosphate) เป็นต้น



ภาพที่ 4.3 หัวข้าวเกรียบที่เติมสาร STPP ในปริมาณต่างๆ ก่อนทอด

## 2.2 คุณภาพทางกายภาพ

- **drip loss** ผลการวัดค่า drip loss ของหัวข้าวเกรียบแช่แข็งที่ผลิตโดย

เติม STPP 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.2, 0.3 และ 0.4 พบว่าไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 0.45-0.55 แต่มีแนวโน้มของค่า drip loss ลดลงตามปริมาณ STPP ที่ใช้ ดังตารางที่ 4.4 ค่าดังกล่าวใช้ออกคุณภาพของอาหารแช่แข็ง ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการแช่แข็งและขั้นตอนการละลาย (Corina. G. *et al*, 2013 ; Coleen L, *et al*, 2012 ; Margit, M. *et al*, 2006) ทั้งนี้หัวข้าวเกรียบผลิตจากส่วนผสมของแป้งสาคูและแป้งมันสำปะหลังซึ่งมีความสามารถในการพองตัวสูง อีกทั้งการใช้สารฟอสเฟตจะช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของผลิตภัณฑ์ ทำให้มีค่าสูญเสียหลังการละลายต่ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Alex และ Jose (2009) ที่รายงานว่า การใช้ STPP สามารถลดค่า drip loss ในผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็งจากร้อยละ 18.3 เหลือเพียงร้อยละ 1.92 และรายงานของ Sutee และคณะ (2014) ที่รายงานว่า การใช้ STPP ร้อยละ 2 ในปลา NIL แช่แข็ง ลดค่า drip loss ได้อย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ ) เมื่อเทียบกับการใช้ฟอสเฟตรูปแบบอื่น

- **อัตราการขยายตัว** ผลการวัดอัตราการขยายตัวหลังทอดของหัวข้าวเกรียบแช่แข็งที่เติมสาร STPP 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.2, 0.3 และ 0.4 ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p>0.05$ ) โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1.21-1.26 ดังตารางที่ 4.4 อัตราการขยายตัวหลังทอดนี้จะสัมพันธ์กับเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เกิดจากการระเหยเป็นไอของน้ำในอาหารที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงเวลาที่เหมาะสม

ทำให้เกิดการขยายตัวเป็นรูพรุนในโครงสร้างของอาหาร ซึ่งการเติม STPP ในการศึกษาให้ส่งผลต่อการของตัวของหัวข้าวเกรียบน้อยมาก

ตารางที่ 4.4 คุณลักษณะทางเคมีและกายภาพของหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

| สารโพลีฟอสเฟต (%) | ความชื้น (%) <sup>*</sup> | drip loss (%) <sup>**</sup> | อัตราการขยายตัว (เท่า) <sup>***</sup> |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| 0.2               | 51.57 <sup>a</sup> ±0.05  | 0.55 <sup>a</sup> ±0.14     | 1.24 <sup>a</sup> ±0.05               |
| 0.3               | 52.77 <sup>b</sup> ±0.33  | 0.46 <sup>a</sup> ±0.06     | 1.26 <sup>a</sup> ±0.02               |
| 0.4               | 54.23 <sup>c</sup> ±0.14  | 0.45 <sup>a</sup> ±0.15     | 1.21 <sup>a</sup> ±0.03               |

หมายเหตุ : <sup>a-c</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

<sup>\*</sup> ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 3 ซ้ำ

<sup>\*\*</sup>, <sup>\*\*\*</sup> ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลอง 10 ซ้ำ

#### - เนื้อสัมผัส

จากการวัดเนื้อสัมผัสโดยวิธี texture profile analysis ด้วย cylinder probe diameter 50 มิลลิเมตร ความเร็วของ probe ขณะทดสอบ 5.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะกดร้อยละ 50 ของความหนาตัวอย่าง ผลการศึกษา พบว่า ค่า hardness fracturability cohesiveness และค่า chewiness ของหัวข้าวเกรียบมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ดังตารางที่ 4.5 โดยหัวข้าวเกรียบที่เติม STPP ร้อยละ 0.3 มีค่า hardness สูงสุด และมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับค่า fracturability ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15,648.90 และ 8,375.86 กรัม ตามลำดับ แสดงว่าฟอสเฟตที่เติมในผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำ และเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสหลังการแช่แข็ง ในปริมาณร้อยละ 0.3 ทำให้เนื้อสัมผัสของหัวข้าวเกรียบมีลักษณะกรอบแข็งสูงสุด แต่การเติม STPP ไม่ส่งผลต่อค่า springiness ( $p > 0.05$ ) นอกจากนี้การเติม STPP ส่งผลต่อค่า cohesiveness และ chewiness โดยหัวข้าวเกรียบที่มีค่า cohesiveness สูง นั่นคือมีการยึดเกาะกันภายในสูงทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารมีแนวโน้มสูงตามไปด้วย

ตารางที่ 4.5 เนื้อสัมผัส ของหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

| STPP (%) | รายการทดสอบ            |                       |                    |                    |                       |
|----------|------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|
|          | hardness (g)           | fracturability (g)    | springness         | cohesiveness       | chewiness             |
| 0.2      | 12,539.38 <sup>a</sup> | 6,827.03 <sup>a</sup> | 0.784 <sup>a</sup> | 0.465 <sup>b</sup> | 4,539.27 <sup>b</sup> |
| 0.3      | 15,648.90 <sup>b</sup> | 8,375.86 <sup>b</sup> | 0.780 <sup>a</sup> | 0.437 <sup>b</sup> | 5,273.46 <sup>c</sup> |
| 0.4      | 12,466.16 <sup>a</sup> | 7,768.66 <sup>b</sup> | 0.758 <sup>a</sup> | 0.393 <sup>a</sup> | 3,834.68 <sup>a</sup> |

หมายเหตุ : <sup>a-d</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## 2.3 คุณภาพคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (9 point hedonic scale) จากผู้บริโภคนจำนวน 30 คนต่อผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็งที่เติมสาร STPP 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.2, 0.3 และ 0.4 พบว่า คะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเหนียว ความกรอบ ความชอบรวม ไม่แตกต่างทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ดังตารางที่ 4.6 และเมื่อพิจารณาจากคะแนนความชอบ พบว่า หัวข้าวเกรียบแช่แข็งเติม STPP ในปริมาณ ร้อยละ 0.4 ได้รับคะแนนความชอบสูงสุดในคุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น ความเหนียว ความกรอบ และความชอบรวม เท่ากับ 7.18, 6.82, 6.95 6.82 และ 7.18 คะแนน ตามลำดับ ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบที่มีคุณลักษณะที่ดีจะมีลักษณะกรอบนุ่ม โดยกรอบภายนอกและเนื้อภายในสุกนุ่ม ไม่เหนียว (ภาพที่ 4.4) อีกทั้งมีปริมาณความชื้นสูงและมีค่า drip loss ต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิต (yield) สูงตามไปด้วย จึงคัดเลือกหัวข้าวเกรียบแช่แข็งเติม STPP ในปริมาณร้อยละ 0.4 (ภาพที่ 4.5) ไปศึกษาคุณค่าทางโภชนาการต่อไป



ภาพที่ 4.4 หัวข้าวเกรียบที่เติมสาร STPP ในปริมาณต่างๆ หลังทอด

ตารางที่ 4.6 คุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

| STPP (%) | การทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยวิธี 9 point hedonic scale |                         |                         |                         |                         |                         |                         |
|----------|-------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|          | ลักษณะปรากฏ                                           | สี                      | กลิ่น                   | รสชาติ                  | ความเหนียว              | ความกรอบ                | ความชอบรวม              |
| 0.2      | 6.77 <sup>a</sup> ±1.56                               | 6.41 <sup>a</sup> ±1.50 | 6.55 <sup>a</sup> ±1.40 | 6.77 <sup>a</sup> ±1.62 | 6.41 <sup>a</sup> ±1.61 | 6.55 <sup>a</sup> ±1.52 | 7.14 <sup>a</sup> ±1.55 |
| 0.3      | 6.68 <sup>a</sup> ±1.47                               | 6.86 <sup>a</sup> ±1.43 | 6.68 <sup>a</sup> ±1.44 | 7.09 <sup>a</sup> ±1.52 | 6.68 <sup>a</sup> ±1.47 | 6.68 <sup>a</sup> ±1.41 | 7.05 <sup>a</sup> ±1.50 |
| 0.4      | 7.18 <sup>a</sup> ±1.28                               | 6.82 <sup>a</sup> ±1.15 | 6.82 <sup>a</sup> ±1.27 | 6.91 <sup>a</sup> ±1.45 | 6.95 <sup>a</sup> ±1.41 | 6.82 <sup>a</sup> ±1.27 | 7.18 <sup>a</sup> ±1.31 |

หมายเหตุ : <sup>a-b</sup> ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ



ภาพที่ 4.5 หัวข้าวเกรียบแช่แข็งสูตรพัฒนา ก่อน-หลัง การทอด

### ผลการศึกษาคคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็งที่มีคุณลักษณะที่ดีที่สุดจากข้อ 2 ซึ่งผลิตจากเนื้อปลาสด, แป้งมันสำปะหลัง, แป้งสาหร่าย, น้ำตาล, เกลือ และผงชูรส ร้อยละ 30.5, 18.3, 12.2, 3.8, 1.8 และ 0.9 ตามลำดับ และเติม STPP ร้อยละ 0.4 ของส่วนผสมทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

| องค์ประกอบทางเคมี      | หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง | หัวข้าวเกรียบ <sup>1</sup> | ข้าวเกรียบปลา <sup>2</sup> |
|------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|
| ปริมาณความชื้น (%)     | 19.31                | 17.42                      | 2.87                       |
| ปริมาณโปรตีน (%)       | 17.96                | 17.09                      | 11.26                      |
| ปริมาณไขมัน (%)        | 13.18                | 8.91                       | 22.87                      |
| ปริมาณเถ้า (%)         | 4.87                 | 4.42                       | 3.47                       |
| ปริมาณใยอาหาร (%)      | 0.11                 | ไม่รายงาน                  | 0.95                       |
| ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%) | 44.57                | 52.16                      | 59.56                      |
| ปริมาณฮิสตามีน (mg/kg) | 12.24                | ไม่รายงาน                  | ไม่รายงาน                  |

หมายเหตุ <sup>1</sup>งานวิจัยของจริยา สุขจันทร์และคณะ (2554)

<sup>2</sup>งานวิจัยของจริยา สุขจันทร์และคณะ (2555)

จากผลการศึกษาคคุณค่าทางโภชนาการของหัวข้าวเกรียบแช่แข็งทอด พบว่า หัวข้าวเกรียบแช่แข็งมีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกับหัวข้าวเกรียบที่ผลิตโดยไม่ผ่านการแช่แข็ง จากงานวิจัยของจริยา สุขจันทร์ และคณะ (2554) แต่มีปริมาณความชื้นสูงกว่า ทั้งนี้จะเป็นผลจากการทอด

และแต่เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเกรียบปลาทั่วไป จะพบว่า หัวข้าวเกรียบแซ่แข็งมีปริมาณโปรตีนและ  
ไขมันสูงกว่า ซึ่งเป็นผลจากปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันนั่นเอง นอกจากนี้ปริมาณไขมันใน  
ผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแซ่แข็งมีปริมาณมากกว่าหัวข้าวเกรียบจากงานวิจัยของ จริญญา สุขจันทร์  
และคณะ (2554) ซึ่งหัวข้าวเกรียบแซ่แข็งที่มีการใช้แป้งสาคุเป็นส่วนผสมจะมีค่าการขยายตัวสูงกว่า  
จึงทำให้มีการอมน้ำมันไว้ในโครงสร้างได้มากกว่า แต่เมื่อเทียบกับข้าวเกรียบปลาจะมีปริมาณไขมัน  
ต่ำกว่าเนื่องจากการขยายตัวของเนื้อระหว่างการทอดในน้ำมันซึ่งทำให้น้ำมันเข้าไปแทนที่ในช่องว่าง และรู  
พรุนที่เกิดจากการขยายตัวของไอน้ำในชิ้นอาหาร ดังนั้นการรับประทานหัวข้าวเกรียบแซ่แข็งทอด  
ผู้บริโภคจะได้รับคุณค่าทางโภชนาการจากโปรตีนและไขมันสูง ในขณะที่ได้รับไขมันในปริมาณน้อย  
จึงนับว่าเป็นจุดเด่นของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผล

การศึกษาการใช้แป้งสาकुมาทดแทนแป้งมันสำปะหลังในการผลิตหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง โดยกำหนดอัตราส่วนการทดแทนแป้งสาकु 6 ระดับ คือ อัตราส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 พบว่า การทดแทนแป้งสาकुในอัตราส่วน 40:60 ในสูตรการผลิตหัวข้าวเกรียบซึ่งประกอบด้วยเนื้อปลาบด, แป้งมันสำปะหลัง, แป้งสาकु, น้ำตาล, เกลือ และผงชูรส ร้อยละ 30.5, 18.3, 12.2, 3.8, 1.8 และ 0.9 ตามลำดับ มีคะแนนการยอมรับด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความเหนียว ความกรอบและความชอบรวมเท่ากับ 6.53, 6.23, 6.57, 6.63, 6.30, 7.20 และ 7.07 ตามลำดับ ผลการตรวจสอบคุณภาพทางเคมีและกายภาพ พบว่า ปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มขึ้นตรงข้ามกับแป้งสาकुที่ลดลง ( $p < 0.05$ ) และการใช้แป้งสาकुเพียงอย่างเดียวทำให้อัตราการขยายตัวของหัวข้าวเกรียบหลังทอดมีค่าสูงสุด เท่ากับ 0.87 เท่า ( $p < 0.05$ ) ในขณะที่การทดแทนแป้งสาकुไม่ส่งผลต่อค่า drip loss ของผลิตภัณฑ์ ( $p > 0.05$ ) ผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TPA) ภายหลังการทอด ปรากฏว่า ค่า hardness และค่า fracturability มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของแป้งมันสำปะหลังที่เพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) โดยสูตรที่ใช้แป้งมันสำปะหลังเพียงอย่างเดียว มีค่า hardness และค่า fracturability สูงสุด เท่ากับ 19,170 และ 11,684.5 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ค่า cohesiveness ของหัวข้าวเกรียบที่สัมพันธ์กับค่า chewiness แสดงว่าชั้นหัวข้าวเกรียบที่มีการยึดเกาะสูงจะใช้พลังงานในการเคี้ยวสูงตามไปด้วย

ผลการเติมสารโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (STPP) 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.2, 0.3 และ 0.4 ของน้ำหนักส่วนผสม พบว่า ปริมาณความชื้นของหัวข้าวเกรียบแช่แข็งมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณ STPP ที่เพิ่มขึ้น ( $p < 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อค่า drip loss และอัตราการขยายตัวหลังทอดของผลิตภัณฑ์ ( $p > 0.05$ ) อนึ่งการเติม STPP ทำให้ค่า hardness fracturability cohesiveness และ chewiness แตกต่างทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) แต่ไม่ส่งผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัส ( $p > 0.05$ ) ดังนั้นจึงใช้ STPP ปริมาณร้อยละ 0.4 เดิมลงในการผลิต ด้วยเหตุผลที่ว่า การเติม STPP ในปริมาณนี้ทำหัวข้าวเกรียบแช่แข็งที่ได้มีปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ก่อนทอดสูง ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณผลผลิต (yield) สูงตามไปด้วย

ผลการศึกษาค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบแช่แข็งหลังทอด พบว่า ประกอบด้วย ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า โยอาหารและคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 19.31, 17.96, 13.18, 4.87, 0.11 และ 44.57 ตามลำดับ และปริมาณฮีตต้ามินเท่ากับ 12.24 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ดังนั้นการรับประทานหัวข้าวเกรียบแช่แข็งทอดผู้บริโภคจะได้รับคุณค่าทางโภชนาการจากโปรตีนและเถ้าสูง ในขณะที่ได้รับไขมันในปริมาณน้อย จึงนับว่าเป็นจุดเด่นของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาหั่วข้าวเกรียบแช่แข็งเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการวางแผนการผลิตและการตลาด
2. ควรศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด หรือรูปแบบการตลาดที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์
3. ควรส่งเสริมการนำผลการวิจัยไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์

### ผลผลิต (output)

บทความวิจัยเรื่อง การเพิ่มมูลค่าอาหารท้องถิ่นจากแป้งสาธุ : หั่วข้าวเกรียบแช่แข็ง (The added value of traditional food from sago starch : frozen Palaw Keropok)

ชื่อผู้แต่ง จริยา สุขจันทร์

ชื่อวารสาร วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา

หมายเหตุ ผลการประเมิน คือ แก้ไขเล็กน้อย ขณะนี้อยู่ในขั้นตอนการแก้ไขบทความวิจัยตามข้อเสนอแนะของ Reviewer

## ภาคผนวก

### ภาคผนวก ก. การวิเคราะห์ทางเคมี

#### ก1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับความชื้นหาความชื้น
2. ตู้อบไฟฟ้า
3. โถดูดความชื้น
4. เครื่องชั่งทศนิยม ตำแหน่ง

#### วิธีการ

1. อบภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 2-3 ชั่วโมง นำมาใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ เมื่อเย็นนำไปชั่งน้ำหนัก
2. กระทำเช่นเดียวกับข้อ 1 จนได้น้ำหนักที่แน่นอน หรือชั่งสองครั้งติดต่อกันผลต่าง ไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนัก 1-2 กรัม ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
4. นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 3-4 ชั่วโมง
5. นำออกจากตู้อบไฟฟ้าใส่โถดูดความชื้น หลังจากนั้นหาน้ำหนัก
6. อบซ้ำอีกครั้งประมาณ 30 นาที และกระทำเช่นเดิมจนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสอง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 กรัม

#### คำนวณตามสูตร

ปริมาณความชื้นคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

$$= \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนอบและหลังอบ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

#### ก.2 การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน

วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ย่อยโปรตีน (B-426) และเครื่องดักจับไอกรด (scrubber)
2. อุปกรณ์กลั่นโปรตีน (B-316)
3. กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
4. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร และขวดปรับปริมาณ ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. บีเปต ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร

6. บิวเรตต์ ขนาด 250 มิลลิลิตร
7. ลูกแก้ว
8. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
9. สารผสมระหว่างคอปเปอร์ซัลเฟต ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) และโพแทสเซียมซัลเฟต ( $\text{KSO}_4$ ) อัตราส่วน 1 : 10

10. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (conc.  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
11. โซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 40
12. กรดบอริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4
13. กรดเกลือที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล
14. อินดิเคเตอร์ (indicator) เป็นสารผสมระหว่างเมทิลเรด เมทิลีนบลู และโบรโมครีซอล -กรีน

#### ขั้นตอนการย่อย

1. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักประมาณ 1 กรัม ใส่หลอดย่อยโปรตีนและทำแบลงค์ด้วย
2. ใส่สารผสม  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{KSO}_4$  ปริมาณ 5 กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น ปริมาณ 12 มิลลิลิตร
4. วางหลอดย่อยในเตาย่อยแล้วประกอบสายยางระหว่างฝาคอ ขวดใส่ต่างและเครื่องดักจับไอกรดให้เรียบร้อย
5. เปิดสวิทช์เครื่องดักจับไอกรดและเตาย่อย ทำการ preheat โดยปรับอุณหภูมิไปที่ตำแหน่ง 10 เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปรับเพิ่มอุณหภูมิไปที่ตำแหน่ง 8 ย่อยต่ออีก 60 นาที จนได้สารละลายใส
6. ปล่อยให้เย็น

#### ขั้นตอนการกลั่นและการไตเตรด

1. จัดอุปกรณ์กลั่น และเปิดน้ำหล่อเย็นเครื่องควบแน่นด้วย แล้วเปิดสวิทช์ให้ความร้อน (ทำการ preheat ก่อนใช้)
2. นำขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตรที่บรรจุกรดบอริกความเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาณ 20 มิลลิลิตรและน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ซึ่งเติมอินดิเคเตอร์ 2-3 หยดเรียบร้อยแล้วไปรองรับของเหลวที่กลั่นได้ โดยให้ส่วนปลายของอุปกรณ์ควบแน่นจุ่มลงในสารละลายกรดนี้
3. นำหลอดย่อยสารจากขั้นตอนการย่อยข้อ 6 พร้อมเติมน้ำกลั่นปริมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วนำเข้าเครื่องกลั่น
4. เติมโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 40 จนสารละลายทั้งหมดเท่ากับ 100 มิลลิลิตร กลั่นประมาณ 4 นาที (หรือดูจากสารละลายในหลอดเท่ากับ 150 มิลลิลิตร) ล้างปลายอุปกรณ์ควบแน่นด้วยน้ำกลั่นลงในขวดรองรับ

5. ไตเตรตสารละลายที่กลั่นได้ด้วยกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (หาความเข้มข้นมาตรฐาน) จนสารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง

6. คำนวณหาปริมาณโปรตีนจากสูตร

$$\text{ปริมาณโปรตีนคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{(A - B) \times N \times 1.4007 \times F}{W}$$

A คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรตกับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

B คือ ปริมาณกรดที่ใช้ไตเตรตกับแบลงค์ (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรด (นอร์มอล)

F คือ แฟกเตอร์ เท่ากับ 6.25

W คือ น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

### ก.3 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน

#### วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์ชุดสกัดไขมัน (VELP)
2. หลอดใส่ตัวอย่าง (thimble)
3. ภาชนะใส่ตัวทำละลาย (extraction vessel)
4. ตู้อบไฟฟ้า (electric oven)
5. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. ภาชนะใส่ตัวทำละลาย (extraction vessel)
7. โถดูดความชื้น (desiccator)
8. ปีโตรเลียม อีเทอร์หรือเฮกเซน (petroleum ether หรือ hexane)

#### วิธีการทดลอง

1. อบ extraction vessel สำหรับหาปริมาณไขมันในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างบนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก ถ้าตัวอย่างเป็นอาหารที่มีไขมันมากให้ชั่ง 1-2 กรัม ถ้าเป็นชนิดที่มีไขมันน้อยให้ชั่ง 3-5 กรัม ห่อให้มิดชิด แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง
3. นำหลอดตัวอย่างใส่เข้าในเครื่องแล้วผลักปุ่มด้านหน้าเครื่องที่ตำแหน่ง washing
4. ใส่ตัวทำละลายเฮกเซนใน extraction vessel ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 50 มิลลิลิตรวางบน heating plate ตั้งคานาให้แน่น
5. ประกอบอุปกรณ์สกัดไขมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ควบแน่นและเปิดสวิทช์ให้ความร้อน

6. เปิดเครื่องมือสกัดไขมัน พร้อมเปิดน้ำเข้า ตั้งอุณหภูมิ heating plate ที่ 180 องศาเซลเซียส

7. เปิดก๊อกให้อยู่ในตำแหน่งตั้งตรงและผลักปุ่มด้านหน้าเครื่องไปที่ตำแหน่ง immersion และเปิดสวิตช์เริ่มให้ความร้อน เมื่อเริ่มเดือดจับเวลา 30 นาที

8. เมื่อสิ้นสุดการสกัดผลักปุ่มด้านหน้าเครื่องไปยังตำแหน่ง washing

9. reflux washing นาน 15 นาที

10. เมื่อสิ้นสุดการ reflux washing ปิดก๊อกแล้วให้อยู่ตำแหน่งขวางและรอการดูลกลับของตัวทำลายเสร็จสิ้น

11. ปลดคานบังคับ extraction vessel ลงหลอดสำหรับใส่ตัวอย่างออก

12. ปลอยตัวทำลายลงในบีกเกอร์ (นำกลับมาใช้ใหม่)

13. นำ extraction vessel ออบในตู้อบ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักเพื่อใช้ในการคำนวณ

14. คำนวณหาปริมาณไขมันจากสูตร

$$\text{ปริมาณไขมันคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักไขมันหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

#### ก.4 การวิเคราะห์หาปริมาณเก่า

##### วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (porcelain balance)
2. เตาเผา (muffle furnace)
3. โถดูดความชื้น (desiccators)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง

##### วิธีการทดลอง

1. เตาถ้วยกระเบื้องเคลือบในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง ปิดสวิตช์เตาเผา รอประมาณ 30-40 นาที เพื่อให้อุณหภูมิในเตาเผาลดลง ก่อน แล้วนำออกจากเตาเผา ใส่ในโถดูดความชื้น ปลอยให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก

2. เตาซ้ำอีกครั้งประมาณเวลา 30 นาที และกระทำเช่นข้อ 1 ซ้ำจนได้ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

3. ชั่งตัวอย่างให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 1-2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ซึ่งทราบน้ำหนักแล้ว นำเข้าเตาเผาตั้งอุณหภูมิเตาเผาไว้ที่ 600 องศาเซลเซียส แล้วกระทำเช่นเดียวกับข้อ 1-2

4. คำนวณหาปริมาณเก่าจากสูตร

$$\text{ปริมาณเก่าคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

## ก.5 การวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใย โดยวิธี A.O.A.C. (1999)

### วัสดุเครื่องมือและอุปกรณ์

1. อุปกรณ์หาปริมาณเยื่อใย (FIWE) ซึ่งประกอบด้วยถ้วยแก้วสำหรับใส่ตัวอย่าง (crucible) จำนวน 6 ใบ อุปกรณ์ควบแน่น และอุปกรณ์ให้ความร้อน
2. กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1
3. ตู้อบไฟฟ้า
4. เตาเผา
5. โถดูดความชื้น (desiccator)
6. เครื่องชั่งไฟฟ้าอย่างละเอียด
7. กรดซัลฟูริก เข้มข้นร้อยละ 1.25
8. N-Octanan ใช้เป็น Antifoam
9. Anhydrous Acetone

### วิธีการทดลอง

1. เตาเผาเครื่องแก้วสำหรับหาปริมาณเยื่อใยในเตาเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างอาหารซึ่งผ่านการสกัดไขมันออกแล้ว ลงในถ้วยแก้วสำหรับวิเคราะห์สารเยื่อใยประมาณ 1 กรัม
3. เติมกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 1.25 จนถึงระดับ 150 มิลลิลิตร (ต้มให้เดือดก่อน)
4. เติม N-Octanan 2-3 หยด
5. หลังจากส่วนผสมเดือดแล้ว ต้มต่อไปอีก 30 นาที (ขณะต้มให้เปิด value ด้านเครื่องไปที่ตำแหน่ง close)
6. เปิด value ไปที่ตำแหน่ง Vacuum และกดสวิตช์ Vacuum เพื่อระบาย Sulfuric acid ออก
7. ล้าง 3 ครั้งด้วยน้ำกลั่นร้อนๆ ครั้งละ 30 มิลลิลิตร ในการล้างแต่ละครั้งให้เปิด value ไปที่ตำแหน่ง Pressure แล้วกดสวิตช์ Pressure เพื่อดันให้อากาศผ่านฐานของถ้วยแก้ว ทำให้ส่วนผสมในถ้วยแก้วคลุกเคล้ากันโดยตลอด
8. หลังจากปล่อยน้ำครั้งสุดท้ายออกจนหมดแล้ว เติมสารละลายร้อยละ 1.25 Potassium Hydroxide ที่ทำให้ร้อนไว้ก่อนแล้วลงไป 150 มิลลิลิตร พร้อมกับ N-Octanan 2-3 หยด ล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งล้างหมดความกรด
9. ต้มให้เดือดนาน 30 นาที
10. ทำขั้นที่ 6 และ 7 ซ้ำ

11. ล้างด้วยน้ำกลั่นเย็นอีก 1 ครั้ง แล้วล้างอีกครั้งด้วย Acetone 25 มิลลิลิตร เปิดให้ความร้อนเข้าทุกครั้งที่ทำการล้าง
12. ทำให้แห้ง โดยอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมงแล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
13. ชั่งน้ำหนักแล้วอบซ้ำอีกครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิลิตร (จะได้เป็นน้ำหนักของเส้นใยหยาบรวมกับน้ำหนักของเถ้า)
14. นำถ้วยแก้วพร้อมกากที่อบแห้งแล้วไปเผา เช่นเดียวกับวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (500 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง)

**คำนวณหาปริมาณเยื่อใยจากสูตร**

$$\text{ปริมาณเยื่อใยคิดเป็น} = \frac{100 \times \text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างหลังอบและหลังเผา}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$



## ภาคผนวก ข แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

### ข1. แบบทดสอบประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบ

โครงการการเพิ่มมูลค่าอาหารท้องถิ่นจากแป้งสาคุ : หัวข้าวเกรียบแช่แข็ง  
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีให้คะแนนความชอบ (9 Point Hedonic Scale) ของหัวข้าวเกรียบแช่แข็ง

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่างตามลำดับที่นำเสนอจากซ้ายไปขวา แล้วให้คะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความรู้สึกของท่านมากที่สุด โดยกำหนดให้

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

กรณাবัวนปากระหว่างตัวอย่างทุกครั้ง

| คุณลักษณะ   | รหัส |  |  |  |  |  |
|-------------|------|--|--|--|--|--|
|             |      |  |  |  |  |  |
| ลักษณะปรากฏ |      |  |  |  |  |  |
| สี          |      |  |  |  |  |  |
| กลิ่น       |      |  |  |  |  |  |
| รสชาติ      |      |  |  |  |  |  |
| ความเหนียว  |      |  |  |  |  |  |
| ความกรอบ    |      |  |  |  |  |  |
| ความชอบรวม  |      |  |  |  |  |  |

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## ภาคผนวก ค. ประวัติผู้วิจัย

### หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล      นางจริยา สุขจันทร์  
Mrs. Jariya Sukjuntra
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3940200515604
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
4. หน่วยงานสังกัด คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร  
มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา โทรศัพท์ สำนักงาน 073-227151-61 ต่อ 72202  
โทรศัพท์มือถือ 086-6949836  
โทรสาร 073-299629 Email : [jariya@yala.yru.ac.th](mailto:jariya@yala.yru.ac.th)
5. ประวัติการศึกษา  
ปริญญาตรี (วท.บ. เทคโนโลยีอาหาร) สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้  
ปริญญาโท (วท.ม. เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ประมง) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
6. สาขาที่มีความชำนาญพิเศษ
  - การพัฒนาอาหารท้องถิ่น
  - การจัดการความปลอดภัยอาหารในการผลิตอาหาร
  - การพัฒนาผลิตภัณฑ์ประมง
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

#### 7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย

| ลำดับที่ | ชื่อแผนงานวิจัย                                                                          | แหล่งงบประมาณ (ปี)                     |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 1.       | การพัฒนาข้าวยา : อาหารเพื่อสุขภาพจากภูมิปัญญาไทยที่กษัตริย์เพื่อส่งเสริมการบริโภค        | สำนักงานคณะกรรมการ การอุดมศึกษา (2548) |
| 2.       | การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านชายแดนใต้สู่ธุรกิจแฟรนไชส์ : หัวข้าวเกรียบ (ปาลอ-กรือโป๊ะ) | มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา (2554)           |

#### 7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

| ลำดับที่ | ชื่อโครงการวิจัย                                   | แหล่งงบประมาณ (ปี)                    |
|----------|----------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1.       | การผลิตปลายจากซูริมิเสริมสมุนไพร                   | มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา (2545)          |
| 2.       | การผลิตกะปิโดยทดแทนกุ้งเคยบางส่วนด้วยปลา           | มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา (2546)          |
| 3.       | ตำรับอาหารท้องถิ่นภาคใต้ “ไก่ขอมและ” ระยะเวลาสี่ปี | สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (2547) |

| ลำดับที่ | ชื่อโครงการวิจัย                                                                                                     | แหล่งงบประมาณ (ปี)                                        |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 4.       | การตรวจสอบคุณภาพกะปิที่จำหน่ายในเขตเทศบาลนครยะลา                                                                     | มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา (2548)                              |
| 5.       | การผลิตบูดูข้าวยา:เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค                                                                | สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (2548)                     |
| 6.       | ผลของการใช้สารกันเหี่ยวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพกล้วยหินฉาบ                                                            | มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา (2549)                              |
| 7.       | การยกระดับการผลิตบูดูใน 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้แบบมีส่วนร่วม                                                           | สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (2549)        |
| 8.       | สถานการณ์ความปลอดภัยอาหารในผลิตภัณฑ์ปลาเค็ม : กรณีศึกษาจังหวัดยะลา                                                   | มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา (2553)                              |
| 9.       | การพัฒนาผลิตภัณฑ์ปลาทูแช่บรรจุกระป๋องเพื่อการแข่งขันตลาดภายในประเทศ                                                  | สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (โครงการรัฐร่วมเอกชน 2553) |
| 10.      | การจัดการคุณภาพและความปลอดภัยผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบสำหรับธุรกิจแฟรนไชส์                                              | มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา (2554)                              |
| 11.      | การพัฒนากระบวนการผลิตและยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่ม : ปลาทูแช่แดดเดียว            | มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา (2555)                              |
| 12.      | การพัฒนาอาหารท้องถิ่นเพื่อการสร้างธุรกิจ                                                                             | มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา (2556)                              |
| 13.      | การพัฒนาชุดอาหารฮาลาลเพื่อสุขภาพสำหรับผู้ประกอบพิธีฮัจญ์และนักท่องเที่ยวที่นับถือศาสนาอิสลาม (มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา) | มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา (2555-2557)                         |

### 7.3 งานวิจัยที่ตีพิมพ์

- จริยา สุขจันทร์. (2549). ภูมิปัญญาการผลิต “ไก่หมอและ” ของชุมชนทุ่งพลา. ว. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา . 1(1) หน้า 56 – 64.
- จริยา สุขจันทร์. (2549). การผลิตปลายจากซูริมิเสริมสมุนไพร. ว. อาหาร 36(2). หน้า 140-144.
- นันทรัตน์ นามบุรี และ จริยา สุขจันทร์. (2549). การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากกล้วยหินและปัจจัยที่ส่งเสริมการจำหน่าย. ว. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 1(1) หน้า 30 - 37.

- จริยา สุขจันทร์และกามีละห์ หามะ. (2551). ผลของน้ำมันที่ใช้ทอดต่อคุณภาพของกล้วยหินอบ. ว. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 3(1). หน้า 11-18.
- Jariya Sukjuntra, Suleenee Dolohmah and Nurheelah Salach,  
**Development processing of dried boiled Anchovies in Pattani province.**
- จริยา สุขจันทร์. กรอซียะห์ ยามิรุเต็ง. วิภาดา มุรินทร์พมาศ, วิไลวัลย์ อินทรไชยมาศ (2552). สถานการณ์การผลิตทูอินจังหวัดปัตตานี. ว. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 4(1). หน้า 11-21.
- Jariya Sukjuntra, Kuenchan Na Nakorn and Zubaidah Hajiwangoh.  
(2012). **Storage life of mackerel (*Decapterus maruadsii*) in ice.** The International Congress on Food Engineering and Technology. Bangkok Thailand. March 28-30 : 240-243.
- Kuenchan Na Nakorn, Jariya Sukjuntra and Zubaidah Hajiwangoh.  
(2012). **Studying shelf-life of Kepala Keropok at chilling temperature.** The International Congress on Food Engineering and Technology. Bangkok Thailand. March 28-30 : 237-239.
- Zubaidah Hajiwangoh, Jariya Sukjuntra and Kuenchan Na Nakorn.  
(2012). **Microbiological Quality of Kepala Keropokas as stored in ice.** The International Congress on Food Engineering and Technology. Bangkok Thailand. March 28-30 : 244-2147.
- จริยา สุขจันทร์. (2557). สถานการณ์ความปลอดภัยและพฤติกรรมผู้บริโภคปลาเค็มในจังหวัดยะลา. ว. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 9(1). หน้า 85-98.

## ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นางซูไบตะ หะยีวาเงาะ

Mrs Zubaidah Hajiwangoh

2. หมายเลขบัตรประชาชน 3960500052723

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์พนักงานมหาวิทยาลัย

4. หน่วยงานสังกัด

หลักสูตรจุลชีววิทยา สาขาวิชาชีววิทยา ภาควิชาวิทยาศาสตร์  
คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

อ. เมือง จ.ยะลา

เบอร์โทรศัพท์ 08-5078-8920 E.mail: zubaidah02@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา

| วุฒิ                 | สถาบัน                   | ปีที่สำเร็จการศึกษา |
|----------------------|--------------------------|---------------------|
| พยาบาลศาสตรบัณฑิต    | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | 2541                |
| วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต | มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ | 2545                |

6. ผลงานวิชาการ

- Rukachaisirikul, V., Kaewbumrung, C., Phongpaichit, S and Hajiwangoh, Z. (2005). **Eudesmane Sesquiterpenes from the Aquatic Fungus *Beltrania rhombica***. *Chem. Pharm. Bull.* **53**(2) 238—240
- Sommart, U., Rukachaisirikul, V., Sukpondma, Y., Phongpaichit, S., Towatana, N.H., Graidist, P., Hajiwangoh, Z and Sakayaroj. A. (2009). **Cyclohexenone Derivative from Diaporthaceous Fungus PSU-H2**. *Arch Pharm Res.* **32**(9). 1227-1231.
- ซูไบตะ หะยีวาเงาะ. (2549) . การตรวจหาเมแทบอไลต์ของเชื้อราชนิดเส้นใยที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์. ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. **10**(1) : 96-104
- วิวัฒน์ ถาวโรฤทธิ์, ดอเลาะ ดาลี, ซูไบตะ หะยีวาเงาะ และหัสลินดาบินมะแอ. (2550). รายงานการวิจัยเรื่อง ชนิดของ เชื้อราที่เจริญบนยางแผ่นฝั่แห้งและสารสกัดจากพืชสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์. ยะลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
- ซูไบตะ หะยีวาเงาะ. (2552). ***Helicobacter pylori*** : แบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคกระเพาะ. ว.วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. **13**(1) : 55-61

- รุสนี ยะผา, นูรฮูดา กาแบ และซูไบตะ หะยีวาเงาะ. (2553). การพัฒนาอาหารเลี้ยงเชื้อจากวัตถุดิบท้องถิ่น. ใน การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยและนวัตกรรมด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีครั้งที่ 2 วันที่ 18 สิงหาคม 2553 (หน้า 49). ยะลา: คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
- ซูไบตะ หะยีวาเงาะ และอัสมาน อาแด. (2554). รายงานการวิจัยเรื่อง ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียก่อโรคจากสารสกัดสมุนไพร. ยะลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา
- อิศริยาภรณ์ ดำรงรักษ์, ซูไบตะ หะยีวาเงาะ และอับดุลรอฮิม เปาะอีแด. (2554). ผลของการใช้ปุ๋ยต่อปริมาณจุลินทรีย์ในดินปลูกยางพารา. ใน ประชุมวิชาการดินและปุ๋ยแห่งชาติครั้งที่ 2 วันที่ 11-13 มิถุนายน 2554 (หน้า 790-800). เชียงใหม่: ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติแม่โจ้
- Jariya Sukjuntra, Kuenchan Na Nakorn and Zubaidah Hajiwangoh. (2012). **Storage life of mackerel (*Decapterus maruadsi*) in ice.** The International Congress on Food Engineering and Technology. Bangkok Thailand. March 28-30 : 240-243.
- Kuenchan Na Nakorn, Jariya Sukjuntra and Zubaidah Hajiwangoh. (2012). **Studying shelf-life of Kepala Keropok at chilling temperature.** The International Congress on Food Engineering and Technology. Bangkok Thailand. March 28- 237-239.
- Zubaidah Hajiwangoh, Jariya Sukjuntra and Kuenchan Na Nakorn. (2012). **Microbiological Quality of Kepala Keropokas as stored in ice.** The International Congress on Food Engineering and Technology. Bangkok Thailand. March 28-30 : 244-247.

## เอกสารอ้างอิง

- Alex, A. G. and Jose, L. D. R. (2009). Effect of phosphate treatment on quality of red shrimp (*Pleoticus muelleri*). **J. Food Science and Technology**. 42 : 1435-1438.
- AOAC. (2000). Official methods of analysis of association of official chemists (17<sup>th</sup>). Washinton DC: The Association of official Analytical Chemists Inc.
- Boast, M. F. G. ( 1985) . The technology of freezing, pp. 6-7. *In* R.K. Robinson, ed. **Microbiology of Frozen Food**. Elsevier Applied Science Publishers, New York.
- Belitz, H. D. and Grosch, W. (1999). Food Chemistry. Springer-Verlag. Heidelberg.
- Branen, A. L., Davidson, P.M. and Salminen, S. (1990) . **Food Additives**. Marcel Dekker Inc., New York. 739 pp.
- Cauvain, S.P. (1998). Improving the control of staling in frozen bakery products. **Trends in Food Sci. & Tech**. 9: 56-61.
- Che, R. A. and Mat Arup, J. (1992). Some effects of sodium lactate on the quality of boiled fish sausage. **Food Technology Research Station, MARDI**. Report no. 11.
- Coleen, L. Trevor, J. B. and Louwrens, C. H. (2012) Impact of freezing and thawing on the quality of meat : review. **J. Meat Science**. 91: 93-98.
- Corina, G., Daniela, B. and Petru, A. (2013). The effect of freezing and thawing on technological properties of meat : review. **J. Agroalimentary Processes and Technology**. 19 (1) : 88-93.
- Embong, M., Ishak, S., Rahim, M. A. A. and Shafie, N. ( 1990) . The effect of various treatments on the dehydration of fish sausage. **Proc. of the seminar on advances in food research III**, Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 61-73.
- Guillaumin, R. ( 1988 ). Kinetics of Fat Penetration in Food. **In Frying of food: Principle, Change, New Approach**. Edited by Varela, E. Bender, A. E. and Morton, I. D. Chichester, Ellis Horwood, pp. 83-89.
- Hsu, K.H., Hosenry, R.C. and Seib, P.A. (1979). Frozen dough. II. Effects of freezing and storing condition on the stability of yeasted doughs. **Cereal Chem**. 56: 424-426.
- He, H. and Hoseney, R.C. (1990). Changes in bread firmness and moisture during long-term storing condition on the stability of yeasted doughs. **Cereal Chem**. 67: 603-605.
- Henson, L. S. and Kowalewski K.M. (1992). **Use of phosphate in seafood**. INFOFISH Int 5: 52-54.

- Inoue, Y. and Bushuk, W. (1991). Studies on frozen doughs. I. Effects of frozen storage and freeze-thaw cycles on baking and rheological properties. **Cereal Chem.** 68: 627-631.
- Joslyn, M. A. and Heid, J. I. (1964). **Food Processing Operation**. Wesport. The AVI Publ. pp 124-125.
- Lee, J. C. and Timasheff, S. N. (1981). The stabilization of protein by sucrose. **J. Biol. Chem.** 256: 71-93.
- Loannis, S. B. (2014). **Seafood Processing : Technology, Quality and Safety**. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- Margit, M., Henrik, J. A., Soren, B. E. and Hanne, C. B. (2006) Effect of freezing temperature, thawing and cooking rate on water distribution in two pork quality. **J Meat Science.** 72: 34-42.
- Martin, M., Hoseney, R.C. and Zeleznak, K.J. (1989). A mechanism of bread firming. **Cereal Food World.** 68: 498-503.
- Mayyawadee, S. and Gerhard, S. (2011). Effect of frying parameters on crispiness and sound emission of cassava crackers. **Journal of Food Engineering.** 103 : 229-236.
- Mohamed, A., Jamilah, B., Abbas, K. A., Abdul Rahman, R. and Roselina, K. (2008). A review on physicochemical and thermorheological properties of sago starch. **American J. of Agricultural and Biological Sci.** 3(4): 639-646.
- Mua, J.P. and Jackson, D.S. (1998). Retrogradation and gel textural attributes of corn starch amylose and amylopectin fraction. **J. Cereal Sci.** 27: 157-166.
- Nor Khaizura, M. A. R., Loh, S. W., Zaiton, H., Jamilah, B. and Rusul, G. (2010). Quantification of Coliform and *Escherichia coli* in *Keropoklekor* (Malaysian fish product) during processing. **Journal of Applied Science Research.** 6(11): 1651-1655.
- Nor Khaizura, M. A. R., Zaiton, H., Jamilah, B. and GulamRusul, R. A. (2009). Microbiological quality of *keropoklekor* during processing. **International Food Research Journal.** 16: 215-223.
- Nurul, H., Boni, I. and Noryati, I. (2009). The effect of different ratios of dory fish to tapioca flour on the liner expansion, oil absorption, colour and hardness of fish crackers. **International Food Research Journal.** 16, 159-165.

- Nurul, H., Ang, L. L., Chung, X. Y. and Herpandi. (2010). Chemical composition, colour and linear expansion properties of Malaysian commercial fish cracker (keropok). 3 (5) : 473-482.
- Paine, F. A. and Paine, H.Y. (1992). Frozen Foods. *In* **A Handbook of Food Packaging**. P.248-264. Blackie Academic & Professional. New York.
- Piyachomkwan, K., Chotineeranat, S., Chollakup, R., Hicks, A., Oates, G. and Sriroth, K. (1999). Structural and functional properties of Thai sago (*Metroxylon spp.*) Starch extracted from different trunk portions. *In* Sustainable Small Scale Sago Starch Extraction and Utilization : Guideline for the Sago Industry. The first FAO regional round table. Thailand. 9-11 August 1999. p. 173-184.
- Rousseau, D.R. and Marangoni, A.G. (1998). Chemical Interesterification of Food Lipid: Theory and Practice. *In* **Food Lipids Chemistry, Nutrition, and Biotechnology**. Akoh, C.C. and Min, D.B., eds.) p. 251-282. Marcel Dekker. New York.
- Shahidi, F. and Botta, J.R. (1994). **Seafoods : Chemistry, Processing Technology and Quality**. Blackie Academic and Professional.
- Sutee, W. Sudaporn, T. Jirawan, M. and Wuttiplot, S. (2014). Effect of phosphate on frozen Nile tilapia fillets. **J. Food and Application Bioscience**. 2(3) : 203-215.
- Taewee, T. K. (2011). Craker "Keropok" : A review on factors influencing expansion. *International Food Research Journal*. 18 (3) : 855-866.
- Taewee, T., Mutita, M., and Janphen, C. (2008) . Effect of sago starch addition and steaming time on making cassava cracker (keropok). *starch/starke*, 60, 568-576.
- Teicher, H. 1990 .Application of phosphates in meats and seafood. **Food Australia**. 42(2) :88-90.
- Varela, G. (1988). Current Facts about The Frying of Food. *In* **Flying of food: Principle, Change, New Approach**. Edited by Varela, E. Bender, A. E. and Morton, I. D. Chichester, Ellis Horwood. pp. 9-23.
- Xiong, Y. L. (1997). Protein Denaturation and Functionality Losses. *In* **Quality in Frozen Food**. (Erickson, M.C. and Hung, Y., eds.) p.111-140. Chapman & Hall. New York.
- Zayas, J. F. (1997). Solubility of Protein. *In* **Functionality Proteins in Food**. P.6-75. Springer-Verlag. Heidelberg.
- Zhang, W. and Jackson, D.S. (1992). Retrogradation behavior of wheat starch gels with differing molecular profiles. **J. Food Sci**. 57: 1428-1432.

Yu, S. Y., Mitchell, J. R. and Abdullah, A. (1991). Production and acceptability testing of fish cracker (Keropok) prepared by the extrusion method. **International Journal of Food Science & Technology**. 16: 51-58.

กระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 (2527). ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84(2527) เรื่องวัตถุเจือปนอาหาร. กรุงเทพฯ: งานควบคุมอาหารกระทรวงสาธารณสุข.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. (2543). เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกศรินทร์ บาตรโพธิ์ รัชฎ์ลักษณ์ สร้อยทอง และสงวนศรี เจริญเหรียญ. (2554). ผลของอัตราการใช้เยือกแข็งและวิธีการละลายน้ำแข็งต่อคุณภาพของขนมชั้นแช่เยือกแข็ง. การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49. 1-4 กุมภาพันธ์ 2554: 275-281.

เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์ ชญาภัทร์ กี่อารีโย นพพร สกุลยืนยงสุข และดวงรัตน์ แซ่ตั้ง. (2554). การประยุกต์ใช้ข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน. คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. กรุงเทพฯ.

จันเพ็ญ บางสำราจ. (2553). กระเทียมกับต้านอนุมูลอิสระ. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, 14(27) 113-122.

จันท์เพ็ญ ไชยบุญ. (2550) ผลของคุณสมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งผสม (แป้งมันสำปะหลังและแป้งสาคุ) ต่อคุณภาพของข้าวเกรียบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จริยา สุขจันทร์ ชูใบดีะ หะยีวาเงาะ และคินจันทร์ ณ นคร. (2554). รายงานวิจัยเรื่องการจัดการคุณภาพและความปลอดภัยผลิตภัณฑ์หัวข้าวเกรียบสำหรับธุรกิจเฟรนไชส์. ภายใต้แผนงานวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านชายแดนใต้:หัวข้าวเกรียบ (पालอ-กรือไปะ). ยะลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

จริยา สุขจันทร์ วิภาดา มุรินทร์นพมาศ และอัปสร อีซอ. (2554). รายงานแผนงานวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านชายแดนใต้:หัวข้าวเกรียบ (पालอ-กรือไปะ). ยะลา: มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.

นาฏยา แหละหมัด และนุรีฮาน สาละ. (2551). งานวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบปลา (keropok) จากการใช้ปลาหอยเป็นวัตถุดิบ. สงขลา : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

นิธิยา รัตนพานนท์. (2545). เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์.

ปวีณา เพ็ญจันทร์. (2549). การพัฒนาเครื่องปรุงรสจากผัก. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

เพลินใจ ตั้งคณะกุล. (2546). สารพัดสารพันข้าวเกรียบ. วารสารอาหาร, 33(3), 162-167.

- วารวิชนี ลอปลกุลเกียรติ และวิไล รังสาทอง. (2553) ผลของปัจจัยในการทอดต่อคุณสมบัติบางประการของขนมขบเคี้ยวที่ได้จากการทอดเฟลเลต. ว. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 3 : 83-95.
- วิภาดา มุรินทร์นพมาศ และภารดี พละไชย. (2554). รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านชายแดนใต้ : หัวข้าวเกรียบ (ปาลอ-กรือโป๊ะ). ภายใต้แผนงานวิจัย การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพื้นบ้านชายแดนใต้:หัวข้าวเกรียบ (ปาลอ-กรือโป๊ะ). ยะลา. มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- วุฒิจันทร์ ศุภวิริยากร. (2554). งานวิจัยเรื่องผลการของกรดแล็กติกและฟอสเฟตต่อคุณภาพของเนื้อปลาบิกแฉ่เย็น-แช่แข็ง. เชียงใหม่. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ศศิวิมล บุญยั้ง สุนทรี สุวรรณสิขณห์ และวรางคณา สมพงษ์. (2550). สมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งสาคุและผลของการใช้แป้งสาคุทดแทนแป้งสาลีต่อคุณภาพของคุกกี้. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.
- สุทรวัดณ์ เบญจกุล. (2549). ชูริม:วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเนื้อปลาบด. กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์
- สุมาลีกา เปี่ยมมงคล. (2544). การพัฒนาข้าวเกรียบหนามยโดยการเสริมสาหร่ายผงและแป้งถั่ว ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและเทคโนโลยีโภชนาการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- สุดารัตน์ พริกบุญจันทร์. (2547). งานวิจัยเรื่องการพัฒนาคุณภาพข้าวเกรียบปลา. พิษณุโลก: คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม.
- สุญานีพร ตูลยพงศ์รักษ์. (2551). ดัชนีความสด สมบัติการเกิดเจลและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพหลังผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งซ้ำของปลาสวายโม่ง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ :กรุงเทพฯ.
- สายสนม ประดิษฐ์ดวง. (2546). กระบวนการแช่เยือกแข็งอาหาร, น. 154-186. คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, บรรณาธิการ. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อรนุช สีหามาลา. (2545). การเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการและการยืดอายุการเก็บรักษาข้าวเกรียบปลา. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อรรกร มุณีกันนธ์ และมาลัยวรรณ อารยะสกุล. (2547). บทบาทของฟอสเฟตและสตาร์ชตัดแปรในการผลิตไส้กรอกที่ทำจากเนื้อหมูที่ผ่านการแช่แข็ง.การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 42: สาขาประมง สาขาอุตสาหกรรมเกษตร. 3-6 กุมภาพันธ์. 656 น.

- อรพิน ชัยประสพ. (2548). การถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ ; มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- อัมพวัน ตันสกุล ศักรินทร์ ภูมิรัตน์ และชยานินทร์ พัวพันธุ์มา. (2545). สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเม็ดสาคุ. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 25(4). 347-358.
- อรรรรณ จุฬาวิทยานุกุล. (2548). ผลของสารประกอบฟอสเฟตต่อการเช็ดตัวและสมบัติการเกิดเจลของซูริมิจากปลาตาหวานและปลาทวายแดง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร.: สงขลา. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

