



## รายงานวิจัย

การทดแทนไขมันด้วยพรีไบโอติกที่มีผลต่อคุณภาพของมัฟฟิน  
ปลอดกลูเตนที่แช่เย็น

THE REPLACEMENT OF FAT WITH PREBIOTIC ON THE QUALITIES OF  
CHILLED GLUTEN-FREE MUFFIN

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐธัญญาณ์ ศรีสุวอ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิภาวัน จุลยา

ดร. ชลธิรา สารวงษ์

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

งบประมาณ ปี พ.ศ. 2561

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

การทดแทนไขมันด้วยพรีไบโอติกที่มีผลต่อคุณภาพของมัสฟฟินปลอดกลูเตนที่แช่เย็น

พ.ศ. 2561

การทดแทนไขมันด้วยพรีไบโอติกที่มีผลต่อคุณภาพของมัสฟฟินปลอดกลูเตนที่แช่เย็น

งบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2561

การทดแทนไขมันด้วยพรีไบโอติกที่มีผลต่อคุณภาพของมัสฟฟินปลอดกลูเตนที่แช่เย็น

งบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2561



## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนอุดหนุนงานวิจัย งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2561 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี และขอขอบคุณผู้จัดการฝ่ายขายบริษัท ดีพีโอ (ประเทศไทย) จำกัด และผู้จัดการฝ่ายขายบริษัท รามาโปรดักชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ Orafiti®GR และ Litesse® สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในงานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีกรุงเทพทุกท่านที่ช่วยให้รายงานผลการวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี



# การทดแทนไขมันด้วยพรีไบโอติกที่มีผลต่อคุณภาพของมัพฟินปลอดกลูเตนที่แช่เย็น

ณัฐธญาณ ศรีสุว วิชาวัน จุลยา และ ชลธิรา สารวงษ์

## บทคัดย่อไทย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ศึกษาชนิดและปริมาณของพรีไบโอติก และขั้นตอนการผลิต รวมทั้งการเก็บรักษามัพฟินปลอดกลูเตนสอดไส้รสชาติเชียวแบบแช่เย็นที่มีต่อสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส โดยเปรียบเทียบชนิดของพรีไบโอติก ได้แก่ อินูลิน (I) และพอลิเดกซ์โทรส (P) และขั้นตอนการผลิต ได้แก่ แช่เย็นส่วนผสมก่อนอบ (CB) และอบส่วนผสมก่อนเก็บแช่เย็นและอุ่นด้วยไมโครเวฟ (BCM) และศึกษาปริมาณการเติมพรีไบโอติกที่ร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนักในแต่ละขั้นตอนการผลิตเพื่อการทดแทนไขมันในมัพฟิน จากผลการทดลองพบว่า สูตร P-CB มีค่าความสว่างของสีสูงสุด และมีปริมาตรจำเพาะใกล้เคียงกับสูตรควบคุม สูตร P-BCM มีค่าความเข้มของสีแดง ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล และปริมาตรจำเพาะสูงที่สุด สูตร P-CB มีลักษณะผิวหน้าแตกเป็นร่องลึกและมีโพรงอากาศขนาดใหญ่และเล็กอยู่ทั่วผิวหน้า ขั้นตอน CB มีโพรงอากาศขนาดเล็กกว่าและมีความแข็งมากกว่า BCM สูตร P-BCM มีความยืดหยุ่นและความสามารถในการเกาะติดสูงที่สุด แต่มีความเหนียว ปริมาณไขมัน และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำที่สุด มัพฟิน P-CB มีความสามารถในการเกาะรวมตัวกันต่ำที่สุด แต่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงสุด การเติม I ทำให้มีปริมาณความชื้นต่ำกว่าการเติม P สูตร I-CB มีปริมาณฟรักแทนมากกว่าสูตร I-BCM เล็กน้อย สูตรควบคุมและสูตร I-BCM มีคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด สูตรควบคุมและสูตร I-CB มีคะแนนทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด และขั้นตอน CB มีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าขั้นตอน BCM

ผลของปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสที่มีต่อสมบัติทางด้านต่าง ๆ ของมัพฟิน พบว่าการแทนที่ไขมันที่ร้อยละ 0 10 และ 20 ของขั้นตอน CB มีค่าความสว่างสูงสุด และที่ร้อยละ 0 และ 10 โดยน้ำหนัก ในขั้นตอน CB มีค่าความเข้มของสีแดงน้อยที่สุด เมื่อเติม P ในตัวอย่างที่มีขั้นตอน BCM มากขึ้นทำให้ค่าความเข้มของสีแดง สีเหลือง และดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่ปริมาตรจำเพาะของมัพฟินเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ P เพิ่มขึ้น ที่ร้อยละ 10 และ 40 ของ CB มีความแข็งใกล้เคียงตัวอย่างควบคุม การแทนที่ที่ระดับ 0 10 20 30 และ 40% ของขั้นตอน CB และการแทนที่ที่ระดับร้อยละ 10 และ 40 ของขั้นตอน BCM มีความยืดหยุ่นมากที่สุด ที่ร้อยละ 0 20 30 และ 40 ของ CB มีความสามารถในการเกาะรวมตัวกันสูงสุด ที่ร้อยละ 40 ของ CB มีค่าความเหนียวและค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวใกล้เคียงสูตรควบคุม ที่ร้อยละ 40 ของ BCM มีปริมาณความชื้นและไขมันต่ำสุด แต่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดและปริมาณเส้นใยหยาบสูงที่สุด ที่ร้อยละ 30 ของ BCM มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด ส่วนใหญ่มัพฟินในขั้นตอน CB ได้รับคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด

ผลของการเก็บรักษาสวนผสมของมัพฟินแบบแช่เย็นที่มีต่อสมบัติทางด้านต่าง ๆ ของมัพฟินที่อบแล้วพบว่า การแช่เย็นนาน 7 วัน มีค่าความสว่าง ความเข้มของสีแดง และความเข้มของสีเหลืองน้อยกว่า 0 วัน เมื่อแช่เย็นนาน 14 วัน ค่าความเข้มของสีแดงน้อยที่สุด ถ้าเก็บส่วนผสมแช่เย็นนานขึ้นมีผลทำให้ปริมาตรจำเพาะและปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง แต่ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณเพอร์ออกไซด์ในมัพฟินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ส่วนผสมที่เก็บแช่เย็นก่อนอบมีความแข็ง ความสามารถในการรวมตัวกัน ความเหนียว และแรงที่ใช้ในการเคี้ยวสูงกว่าส่วนผสมที่ไม่แช่เย็น สูตร CB มีคะแนนทางด้านกลิ่นต่ำกว่า แต่คะแนนทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงกว่าการไม่เก็บแช่เย็น มัพฟินสามารถเก็บส่วนผสมแช่เย็นก่อนอบได้นานประมาณ 4-5 วัน โดยจำนวนยีสต์และราทั้งหมดไม่เกินค่ามาตรฐาน

# The Replacement of Fat with Prebiotic on the Qualities of Chilled Gluten-free Muffin

Nutthaya Srisuvor Wipavan Julaya and Chonthira Sarawong

## Abstract

The objectives of this study were to investigate the types and levels of the prebiotic, steps of the production, and the storage of the chilled gluten-free muffin with green tea stuff on the physical, chemical, and sensory properties. The types of prebiotic (inulin (I), and polydextrose (P)) and the steps of the production (chilled before baking (CB) and baked before chilling and warming in the microwave (BCM)) were compared. The levels of prebiotic at 0, 10, 20, 30, and 40 % (w/w) in each process step were studied for the fat replacement in the muffin. The results were found that the P-CB muffin had the highest  $L^*$ . The P-CB muffin had a specific volume (SV) that resembled the control sample. The P-BCM muffin had the highest  $a^*$ , browning index (BI), and SV. The P-CB muffin had a deep cracked surface and had some large and small air cells throughout the surface. The CB process had smaller air cells than the BCM process and CB had more hardness than the BCM. The P-BCM formula had the highest springiness and adhesiveness, but it had the lowest gumminess, fat, and total sugars. The P-CB muffin had the lowest cohesiveness, but it had the highest total dietary fiber. The addition of I affected lower moisture content than P adding. The I-CB muffin had slightly more fructan contents than I-BCM muffin. The control and the I-BCM samples had the highest appearance scores, and the control and I-CB samples had the highest texture scores. The CB process had more overall liking scores than BCM process.

The results of the polydextrose levels on the various properties of the muffin showed that the fat replacement at 0, 10, and 20 % of the CB process had the highest  $L^*$ , and the levels of 0, and 10 % (w/w) in CB process had the lowest  $a^*$ . When P was added in the BCM samples increased, the values of  $a^*$ ,  $b^*$ , and BI increased. Mostly, the SV of muffin increased when the levels of P increased. At 10, and 40 % of the CB process, the hardness resembled the control sample. Replacing 0, 10, 20, 30 and 40 % of CB and replacing 10, and 40 % of BCM had the highest springiness. At 0, 20, 30, and 40 % (w/w) of CB had the highest cohesiveness. At 40 % of CB had the gumminess and chewiness close to the control sample. At 40 % of BCM had the lowest moisture and fat contents, but had the highest total solids and crude fiber. At 30 % of BCM had the highest total dietary fiber. Mostly, the CB muffins received the highest scores in appearance, color, odor, flavor, taste, texture, and overall liking.

The results of the chilled muffin's batter on the various properties of baked muffin showed that muffin which had been chilled for the 7 days had the lower  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  than 0 days. When it was chilled for 14 days, it had the least  $a^*$  values. If the batter was chilled a longer time, the SV and total solids (TS) decreased. However, the moisture,  $a_w$ , and peroxide values increased. Moreover, the CB muffin had higher hardness, cohesiveness, gumminess, and chewiness than the muffin which was not chilled. The CB muffin had lower odor scores, but it had higher texture scores than the muffin which was not chilled. The muffin's batter could be chilled before baking approximately 4-5 days which the numbers of total yeasts and molds did not exceed the standard values.

## สารบัญ

| เรื่อง                             | หน้า |
|------------------------------------|------|
| กิตติกรรมประกาศ                    | ก    |
| บทคัดย่อภาษาไทย                    | ข    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (abstract)      | ค    |
| สารบัญ                             | ง    |
| สารบัญภาพ                          | ช    |
| สารบัญตาราง                        | ฅ    |
| บทที่ 1 บทนำ                       | 1    |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย        | 3    |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย              | 3    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ      | 3    |
| บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม           | 4    |
| 2.1 แป้งสาลี                       | 4    |
| 2.2 แป้งปลอดกลูเตน                 | 7    |
| 2.3 สารให้ความหวาน                 | 8    |
| 2.4 ไขมันและน้ำมัน                 | 10   |
| 2.5 สารที่ช่วยให้ขึ้นฟู            | 11   |
| 2.6 น้ำ                            | 14   |
| 2.7 เกลือ                          | 14   |

## สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง                             | หน้า |
|------------------------------------|------|
| 2.8 ไข่                            | 15   |
| 2.9 นม                             | 16   |
| 2.10 แขนแทนกัน                     | 17   |
| 2.11 ชาเขียว                       | 18   |
| 2.12 การอบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่        | 19   |
| 2.13 การทำมัพฟิน                   | 21   |
| 2.14 การทำขนมปังไส้ชาเขียว         | 23   |
| 2.15 การทำขนมปังหวานปลอดกลูเตน     | 26   |
| 2.16 ชูโครส                        | 27   |
| 2.17 สารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ขนมอบ | 28   |
| 2.18 อินูลิน                       | 31   |
| 2.19 พอลิเดกซ์โทรส                 | 32   |
| 2.20 ประโยชน์ของพรีไบโอติก         | 34   |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย         | 35   |
| 3.1 วัตถุประสงค์                   | 35   |
| 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ           | 35   |
| 3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย          | 37   |
| 3.4 สถานที่ในการทำวิจัย            | 42   |



## สารบัญ (ต่อ)

| เรื่อง                                                                  | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย                                          | 43   |
| 4.1 ศึกษาชนิดของพรีไบโอติกที่มีต่อสมบัติของมัพฟินที่เก็บแบบแช่เย็น      | 42   |
| 4.2 ศึกษาปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสที่มีต่อสมบัติของมัพฟินที่เก็บแบบแช่เย็น | 60   |
| 4.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของมัพฟินที่เก็บแบบแช่เย็น                     | 70   |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ                                               | 77   |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง                                                      | 77   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ                                                          | 81   |
| เอกสารอ้างอิง                                                           | 82   |
| ภาคผนวก                                                                 | 88   |
| ก. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ                                          | 89   |
| ข. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี                                            | 97   |
| ค. การวิเคราะห์สมบัติทางชีววิทยา                                        | 107  |
| ง. แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส                                      | 110  |
| จ. รูปภาพ                                                               | 112  |



## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                                                                                                             | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 โครงสร้างของเซนแทนกัม                                                                                                                                            | 17   |
| 2 โครงสร้างของซูโครส                                                                                                                                               | 27   |
| 3 โครงสร้างของอินูลิน                                                                                                                                              | 32   |
| 4 โครงสร้างของพอลิเดกซ์โตรส                                                                                                                                        | 33   |
| 5 การส่องกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ที่ผิวหน้าของมัมฟฟินที่มีการเก็บแบบแช่เย็นก่อนอบ<br>และมีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟด้วยกำลังขยาย 6.7 เท่า                   | 47   |
| 6 การส่องกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ของเนื้อตรงกลางภายในมัมฟฟินที่มีการเก็บแบบแช่เย็น<br>ก่อนอบและมีการอบก่อนแช่เย็นแล้วเข้าไมโครเวฟด้วยกำลังขยาย 10 เท่า            | 48   |
| 7 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเนื้อตรงกลางภายในมัมฟฟินที่มีการเก็บ<br>แบบแช่เย็นก่อนอบและมีการอบก่อนแช่เย็นแล้วเข้าไมโครเวฟด้วยกำลังขยาย 50 เท่า  | 50   |
| 8 การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเนื้อตรงกลางภายในมัมฟฟินที่มีการเก็บ<br>แบบแช่เย็นก่อนอบและมีการอบก่อนแช่เย็นแล้วเข้าไมโครเวฟด้วยกำลังขยาย 500 เท่า | 52   |
| 9 เครื่องวัดสี                                                                                                                                                     | 89   |
| 10 Micro-Computed Tomography                                                                                                                                       | 91   |
| 11 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร                                                                                                                             | 92   |
| 12 กราฟที่ได้จากการทำ texture profile analysis                                                                                                                     | 94   |
| 13 กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์                                                                                                                                       | 95   |
| 14 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี                                                                                                                                   | 98   |
| 15 วัตถุติดสำหรับทำมัมฟฟิน                                                                                                                                         | 112  |
| 16 วัตถุติดสำหรับทำไส้ชาเขียว                                                                                                                                      | 112  |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่                                                           | หน้า |
|------------------------------------------------------------------|------|
| 17 การบรรจุส่วนผสมของมัพฟินใส่พิมพ์                              | 113  |
| 18 การผลิตมัพฟิน ก) สูตรควบคุม ข) สูตรเติมอินูลิน                | 113  |
| 19 มัพฟินที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก | 114  |
| 20 การทำไส้ชาเขียว                                               | 115  |
| 21 การบรรจุไส้ชาเขียวลงในเนื้อมัพฟิน                             | 115  |
| 22 ส่วนผสมของเนื้อมัพฟินและมัพฟินใส่ไส้ชาเขียวสูตรเจ             | 116  |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่ |                                                                                                                                | หน้า |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1        | ส่วนผสมขนมปังหวานปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวหอมมะลิ                                                                                  | 26   |
| 2        | Summary of quality changes of complex carbohydrate fat replacers in baked food products                                        | 29   |
| 3        | ชนิดของพรีไบโอติกเพื่อเป็นสารทดแทนน้ำมันในส่วนผสมมัฟฟิน                                                                        | 37   |
| 4        | ปริมาณพรีไบโอติกในส่วนผสมของมัฟฟิน                                                                                             | 39   |
| 5        | ส่วนผสมของไส้ลาวยาสชาเขียว                                                                                                     | 40   |
| 6        | ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตในแต่ละสูตร                                                                                  | 43   |
| 7        | ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อค่าสีของมัฟฟิน                                                                       | 44   |
| 8        | ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาณจำเพาะของมัฟฟิน                                                                | 45   |
| 9        | ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกันของมัฟฟิน                                               | 45   |
| 10       | ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตมัฟฟินที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมัฟฟิน                                                     | 53   |
| 11       | ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตมัฟฟินที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็ง ทั้งหมด ปริมาณไขมัน และปริมาณเยื่อใยหยาบของมัฟฟิน | 55   |
| 12       | ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตมัฟฟินที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหาร ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณฟรักแทนของมัฟฟิน                | 57   |
| 13       | ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของมัฟฟิน                                                       | 58   |
| 14       | ปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตในแต่ละสูตร                                                                             | 61   |
| 15       | ปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อค่าสีของมัฟฟิน                                                                  | 61   |
| 16       | ปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาณจำเพาะของมัฟฟิน                                                           | 63   |

## สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ |                                                                                                                                    | หน้า |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 17       | ปริมาณของพอลิเดกซ์ไทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมัฟฟิน                                                          | 64   |
| 18       | ปริมาณของพอลิเดกซ์ไทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณไขมัน และปริมาณเยื่อใยหยาบของมัฟฟิน       | 66   |
| 19       | ปริมาณของพอลิเดกซ์ไทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณซูโครสของมัฟฟิน               | 67   |
| 20       | ปริมาณของพอลิเดกซ์ไทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของมัฟฟิน                                                      | 69   |
| 21       | ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อค่าสีของมัฟฟิน                                                                       | 71   |
| 22       | ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อปริมาตรจำเพาะของมัฟฟิน                                                               | 72   |
| 23       | ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมัฟฟินหลังอบ                                                     | 73   |
| 24       | ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าเพอร์ออกไซด์ของมัฟฟินหลังอบ | 73   |
| 25       | แสดงระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นที่มีต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราทั้งหมดของมัฟฟินหลังอบ                       | 75   |
| 26       | ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของมัฟฟินหลังอบ                                                       | 75   |
| 27       | Skyscan 1173 guidelines                                                                                                            | 92   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันผลิตภัณฑ์ขนมอบกำลังได้รับความนิยมในประเทศไทย เนื่องจากรสชาติที่หวานหอม อร่อย และเนื้อสัมผัสที่นุ่มนวล สามารถรับประทานได้ง่าย มีหลายรูปแบบและรสชาติ และสะดวกในการรับประทาน ข้อเสียคือ ทำให้เกิดโรคอ้วน โรคเบาหวาน และไขมันอุดตันในเส้นเลือดและอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายได้ง่าย เนื่องจากส่วนใหญ่ขนมอบมีส่วนประกอบของแป้งและไขมัน ได้แก่ เนย (butter) มาการีน (margarine) และนม นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมของไข่ไก่ ซึ่งมีคลอเลสเตอรอล และอาจใส่สีสังเคราะห์ วัตถุกันเสีย และสารกันเชื้อรา ได้แก่ โซเดียม-โปรพิโอเนต และโซเดียมเบนโซเอต เป็นต้น ซึ่งทำให้ผู้บริโภคบางกลุ่มไม่สามารถรับประทานได้ เช่น ผู้ที่รักสุขภาพและไม่ต้องการบริโภควัตถุกันเสีย หรืออาหารที่มีแป้งและไขมันสูง หรือกลุ่มผู้บริโภคที่แพ้น้ำตาลแลคโทส (lactose intolerant) ในนมวัว แพ้กลูเตน (gluten) ในแป้งสาลี หรือแพ้โปรตีนในไข่ขาว เป็นต้น นอกจากนี้กลุ่มผู้บริโภคที่รับประทานมังสวิรัตอย่างเคร่งครัด (strict vegetarian) ก็ไม่สามารถรับประทานผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีส่วนผสมของไข่ไก่ นม และเนย ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ได้

มัฟฟิน (muffin) เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบทำจากแป้งสาลี นม น้ำตาล ไข่ และเนย มีสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ แต่ยังมีใยอาหาร (dietary fiber) และมีอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องไม่เกิน 3 วัน การผลิตมัฟฟินที่สามารถเข้าถึงผู้บริโภคได้ทุกกลุ่ม ควรคำนึงถึงวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เช่น กลุ่มที่แพ้กลูเตน ควรใช้แป้งสาลีที่ปลอดกลูเตน (gluten-free) กลุ่มที่แพ้น้ำตาลแลคโทส ควรหลีกเลี่ยงการใช้นมวัว และกลุ่มที่แพ้โปรตีนจากไข่ หรือรับประทานอาหารมังสวิรัตแบบเคร่งครัด ควรหลีกเลี่ยงการใช้ไข่และผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ เช่น นม และเนย นอกจากนี้กลุ่มผู้บริโภคที่รับประทานอาหารฮาลาล ควรหลีกเลี่ยงวัตถุดิบที่ทำจากผลิตภัณฑ์จากเนื้อสัตว์ทุกชนิด และควรเลือกใช้วัตถุดิบที่มีเครื่องหมายรับรองฮาลาลมาเป็นวัตถุดิบในการผลิต เช่น กะทิ นมถั่วเหลืองสูตรเจ น้ำมันรำข้าวหรือน้ำมันมะพร้าว เม็ดมะม่วงหิมพานต์ หรืออัลมอนด์ (almond) ที่มีเครื่องหมายรับรองฮาลาล เพื่อใช้เป็นไขมันและโปรตีนจากพืชทดแทนไขมันและโปรตีนจากสัตว์ นอกจากนี้กลุ่มผู้บริโภคที่ไม่ต้องการบริโภคน้ำตาลทรายฟอกขาว สีสังเคราะห์ หรือวัตถุกันเสีย ควรลดการใช้สารดังกล่าว โดยเพิ่มการใช้น้ำตาลจากธรรมชาติ เช่น น้ำตาลอ้อย หรือ อินูลิน (inulin) ซึ่งเป็นสารให้ความหวานหรือสารทดแทนไขมันได้ ผลิตจากผักและธัญพืชตามธรรมชาติ เช่น แก่นตะวัน (Jerusalem artichoke) ชิคอร์รี (chicory) ต้นแซลซิฟิ (salsify) ต้นหอม (leek) กระเทียม และข้าวสาลี ซึ่งถือเป็นพรีไบโอติก (prebiotic) ที่ให้พลังงานต่ำกว่าน้ำตาล

ทรายขาว และช่วยส่งเสริมการทำงานของจุลินทรีย์ในลำไส้ และเป็นเส้นใยอาหารให้แก่ผลิตภัณฑ์ (Flamm *et al.*, 2001; Kolida *et al.*, 2002)

นอกจากการเลือกใช้วัตถุดิบเป็นปัญหาสำคัญสำหรับสุขภาพของผู้บริโภคแล้ว กระบวนการผลิตที่ถูกต้องเหมาะสม สุขลักษณะส่วนบุคคลที่ดี การให้ความร้อน และการเก็บรักษาที่ดียังส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของมัมพินโดยไม่จำเป็นต้องใช้วัตถุกันเสีย สำหรับการผลิตมัมพินในระดับอุตสาหกรรมที่มีการผลิตสินค้าจำนวนมาก หรือการแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการผลิต อาจจำเป็นต้องมีการนำมัมพินในรูปของส่วนผสม (batter) มาเก็บรักษาแบบแช่เย็นก่อนการอบ เพื่อช่วยเพิ่มความสะดวกในการผลิตสินค้าจำนวนมากให้ปลอดภัยหรือเก็บรักษาได้นานขึ้นในระหว่างรอบอบ หรืออาจเกิดเหตุการณ์ความล่าช้าระหว่างรอจำหน่ายสินค้า โดยสามารถเก็บผลิตภัณฑ์สุดท้าย (finish product) แช่เย็นไว้ได้เป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะกระจายสินค้าสู่มือผู้บริโภค หรือปรากฏการณ์ที่ผู้บริโภคสามารถซื้อมัมพินสำเร็จรูปไปเก็บแช่เย็นไว้ที่บ้านได้ก่อนนำไปอุ่นในไมโครเวฟเพื่อบริโภค ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสะดวกในการผลิต บริโภค และเก็บรักษามัมพินถึงสำเร็จรูปและสำเร็จรูปได้มากขึ้น แต่ปัญหาการเก็บขนมอบแช่เย็นส่วนใหญ่มีปัญหาขอบแบ่งแข็ง ซึ่งเกิดจากรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) จึงจำเป็นต้องศึกษาสมบัติของมัมพินที่เก็บแช่เย็นและให้ความร้อนหลังเก็บรักษาเพิ่มเติม ได้มีรายงานว่าอินูลิน (inulin) และพอลิเดกซ์โทรส (polydextrose) เป็นสารทดแทนไขมัน (fat replacer) ให้กับขนมหวานแช่เย็นหรือแช่เยือกแข็ง (frozen dessert) เช่น ไอศกรีม พุดดิ้ง ไล้ขนมหวาน หรือชีสเค้ก เป็นต้น (Franck and Coussement, 2001) การลดปริมาณไขมันในมัมพินอาจช่วยป้องกันการเกิดกลิ่นหืนและเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการอบและการเก็บรักษามัมพินให้นานขึ้นได้โดยปราศจากการเติมสารป้องกันการเกิดกลิ่นหืน นอกจากนี้มีรายงานว่า สารสกัดจากชาเขียว (green tea extract) เป็นสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ (antimicrobial) (Dubey and Mehta, 2016) ดังนั้นถ้าสามารถเก็บมัมพินแช่เย็นไว้ได้นานก็ไม่จำเป็นต้องใช้สารกันบูดซึ่งผลิตภัณฑ์ทางการค้าส่วนใหญ่จะมีการเติมสารกันบูดเพื่อต้องการให้สินค้าเก็บไว้ได้นานแต่ปริมาณที่เติมอยู่ในมาตรฐานกำหนด

งานวิจัยนี้ต้องการพัฒนามัมพินสอดไส้ชาเขียวปลอดกลูเตน ไข่ และเนย ที่ทำจากวัตถุดิบที่ได้รับรองเครื่องหมายฮาลาลและใช้ฟรีไบโอติก ได้แก่ อินูลิน หรือพอลิเดกซ์โทรสเป็นสารทดแทนไขมันในส่วนผสม (batter) โดยศึกษาชนิดและปริมาณของฟรีไบโอติกเป็นสารทดแทนไขมันในการเก็บรักษาแบบแช่เย็น และศึกษาคุณภาพของมัมพินในระหว่างเก็บส่วนผสมของมัมพินแช่เย็นแล้วอบและเก็บมัมพินสำเร็จรูปแช่เย็นและอุ่นด้วยไมโครเวฟ ชาเขียวอาจช่วยยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษามัมพินที่เก็บแช่เย็น รวมทั้งเป็นสารแต่งกลิ่นและรสชาติของผลิตภัณฑ์ให้รับประทาน อีกทั้งชาเขียวยังมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidant) ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (Shao, Liang, and Zheng, 2013) โดยคาดว่ามัมพินสอดไส้ชาเขียวโดยใช้ฟรีไบโอติกทดแทนไขมันและช่วยเพิ่มเส้นใยอาหารจะเป็นขนมอบที่ผู้บริโภคทุกกลุ่มสามารถบริโภคโดยมีรสชาติ



และลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี มีอายุการเก็บรักษายาวนาน และสะดวกในการผลิต เก็บรักษา และบริโภค โดยสามารถจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตเพื่อเป็นสารทดแทนไขมันของมัทพินในระหว่างการเก็บแบบแช่เย็น

1.2.2 ศึกษาปริมาณพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อสมบัติของมัทพินในระหว่างการเก็บแบบแช่เย็น

1.2.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาที่มีผลต่อสมบัติทางด้านต่าง ๆ ของมัทพินในระหว่างการเก็บแบบแช่เย็น

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ชนิดของพรีไบโอติกในการผลิตมัทพินสอดไส้ชาเขียวปลอดกลูเตน (สูตรเจ) โดยใช้ อินูลินและ/หรือพอลิเดกซ์โทรสเป็นสารทดแทนไขมันโดยการเก็บส่วนผสมแช่เย็นก่อนอบและเก็บผลิตภัณฑ์สุดท้ายโดยแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ รวมทั้งทดสอบคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของมัทพิน

1.3.2 ปริมาณพรีไบโอติกที่ใช้เป็นสารทดแทนน้ำมันรำข้าวที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 ของน้ำหนักทั้งหมด ในระหว่างการเก็บส่วนผสมแช่เย็นก่อนอบและเก็บผลิตภัณฑ์สุดท้ายโดยแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ และทดสอบคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของมัทพิน

1.3.3 หาดอายุการเก็บรักษาของส่วนผสมในมัทพินที่แช่เย็นก่อนอบและผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เก็บแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ โดยตรวจติดตามคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี ประสาทสัมผัส และจุลินทรีย์ของมัทพิน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตเพื่อเป็นสารทดแทนไขมันของมัทพินในระหว่างการเก็บแบบแช่เย็น

1.4.2 ทราบปริมาณของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของมัทพินในระหว่างการเก็บแบบแช่เย็น

1.4.3 ทราบข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของมัทพินในระหว่างการผลิตและการเก็บรักษา

1.4.4 ได้ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตมัทพินสอดไส้ชาเขียวปลอดกลูเตน (สูตรเจ) เสริมพรีไบโอติก



## บทที่ 2

### การทบทวนวรรณกรรม

การผลิตผลิตภัณฑ์เบเกอรี่จัดว่าเป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่ง ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ในสูตรจำเป็นจะต้องมีความสมดุล เช่น การเติมเกลือในปริมาณร้อยละ 1-2 ซึ่งนอกจากจะทำให้รสชาติดีแล้วยังช่วยทำให้กลูเตน (gluten) มีการยืดตัว และช่วยควบคุมการทำงานของยีสต์ ถ้าไม่ใส่เกลือจะทำให้ผลิตภัณฑ์เสียรูปร่าง การทำผลิตภัณฑ์ขนมอบส่วนใหญ่ทำจากแป้งสาลีซึ่งนำเข้าจากต่างประเทศ (ขนมปังแพนซี, 2530)

#### 2.1 แป้งสาลี

##### 2.1.1 องค์ประกอบของแป้งสาลี

แป้งสาลีได้จากการโม่ข้าวสาลีในส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์ม (หรือเมล็ดข้าว) ซึ่งเทียบทั้งเมล็ดแล้ว ในเอนโดสเปิร์มจะมีคาร์โบไฮเดรตเกือบร้อยละ 100 โปรตีนร้อยละ 70 และไขมันร้อยละ 50 นอกนั้นเป็นวิตามิน เกลือแร่ และกากใยอาหารอีกเล็กน้อย เนื่องจากส่วนของเกลือแร่ วิตามิน และกากใยอาหารประมาณร้อยละ 70-90 ที่มีในข้าวสาลีส่วนใหญ่จะอยู่ที่ชั้นรำข้าวและเปลือกด้านนอก เมื่อโม่แป้งจะทำให้รำจะหลุดออกไปเหลือเฉพาะเอนโดสเปิร์มหรือคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ด้านในสามารถวัดค่าองค์ประกอบทางด้านต่าง ๆ ของแป้งสาลีได้ ดังนี้

1) เถ้า (ash) คือ สิ่งที่ยกกว่าแป้งสาลีมีร่าปนมากน้อยแค่ไหน ถ้าการโม่เอารำออกได้มาก เถ้าจะต่ำไปด้วย สีของแป้งจะขาวขึ้น และเหมาะสำหรับนำไปทำขนมที่ต้องการสีขาว ถ้ามีร่ามาก กลูเตนจะเกิดได้ไม่ดีจะทำให้ขนมที่อบจะไม่ยืดหยุ่น เช่น ขนมปังที่ทำจากโฮลวีท (whole wheat) ซึ่งมีส่วนผสมของร่ามากกว่าแป้งขนมปังทั่วไป

2) ความชื้น (moisture) แป้งสาลีที่คุณภาพดี ควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14

3) สตาร์ช (starch) หรือคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในแป้ง ควรมีปริมาณร้อยละ 63-77

4) เพนโตซาน (pentosane) มีอยู่ประมาณร้อยละ 2-3 เป็นองค์ประกอบที่สำคัญมาก เพราะเพนโตซานเป็นส่วนประกอบของเส้นใยอาหารที่ช่วยในการดูดน้ำของแป้ง และช่วยเพิ่มความแข็งแรงในโครงสร้างของแป้ง

5) โปรตีน (protein) ที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด คือ ไกลอะดิน (gliadin) และกลูเตนิน (glutenin) ที่รวมกันแล้วได้เป็นกลูเตน เป็นโปรตีนชนิดไม่ละลายน้ำและทำให้เกิดความยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังมีโปรตีนชนิดที่ละลายน้ำ คือ อัลบูมิน (albumin) และโกลบูลิน (globulin) แต่โปรตีนชนิดนี้จะไม่ผลต่อแป้งสาลีมากนัก โดยปกติธัญพืชทั่วไปมักมีไกลอะดินและกลูเตนินอยู่ด้วย แต่สัดส่วนไม่เหมาะสมพอที่จะเกิดกลูเตน ในขณะที่ข้าวสาลีมีสัดส่วนพอเหมาะที่จะทำให้เกิดไกลอะดิน

และกลูเตนรวมตัวกันแล้วเกิดกลูเตน คือ มีความยืดหยุ่น (elastic) และยืดตัว (extensibility) จึงเหมาะสำหรับนำมาทำให้แห้งเพื่อใช้ในการทำขนมปังหรือขนมอบ

การตรวจสอบแป้งขนมปังระหว่างนวดสามารถทำได้จากการดึงแป้งโด ซึ่งแป้งโดที่ตั้นนั้นต้องดึงได้บ้าง ไม่ขาดจากกันง่าย และมีความยืดหยุ่นสูง นอกจากนี้ยังมีการนำแป้งข้าวเจ้ามาทำเป็นแป้งปลอดกลูเตน (gluten free) เนื่องจากแป้งข้าวเจ้ามีโปรตีนไกลอะดินและกลูเตนินเหมือนกับแป้งสาลี แต่ไม่อยู่ในสัดส่วนที่จะทำให้เกิดกลูเตนที่มีคุณภาพที่ดีได้ ด้วยเหตุนี้คนที่แพ้กลูเตนจึงสามารถรับประทานขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าได้ แต่เนื้อขนมจะไม่ฟู เบา หรือมีโพรงอากาศละเอียดเหมือนขนมที่ทำจากแป้งสาลี เพราะแป้งข้าวเจ้าไม่มีกลูเตนที่จะเก็บก๊าซที่เกิดจากการผลิตของยีสต์ได้

6) เอนไซม์ (enzyme) ในแป้งส่วนใหญ่ คือ อะไมเลส นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ไลเปส และเอนไซม์โปรติเอสซึ่งช่วยให้โดมีการยืดตัว เหมาะกับแป้งสาลีสำหรับทำขนมอบในระดับอุตสาหกรรม โดยโดจะผ่านเข้าเครื่องมีความชื้นไหล ยืดตัว และไม่ฉีกขาด

### 2.1.2 ประเภทของแป้งสาลี

แป้งสาลีมีสมบัติแตกต่างจากแป้งทั่วไป คือ มีโปรตีนอยู่ 2 ชนิด ที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ กลูเตนิน และไกลอะดิน ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะเกิดสารเรียกว่า กลูเตน ที่มีลักษณะเป็นยางเหนียว ยืดหยุ่นได้ สามารถเก็บก๊าซทำให้เกิดโครงสร้างแบบฟองน้ำ ดังนั้นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ได้จะมีความฟูและเบา แป้งสาลีที่ขายโดยทั่วไป สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

- 1) แป้งขนมปัง มีโปรตีนสูง ร้อยละ 12-14 เหมาะสำหรับทำขนมปัง มีลักษณะเป็นสีครีม และเนื้อหยาบ
- 2) แป้งอเนกประสงค์ ทำจากข้าวสาลีชนิดหนักและชนิดเบาผสมกัน มีโปรตีนปานกลาง ร้อยละ 10-11 เหมาะสำหรับทำเพสตี คุกกี้ บะหมี่ ปาท่องโก๋ ขนมดอกท้อ ขนมดอกจอก ครอบแครงกรอบ กรอบเค็ม และขนมเกลียว เป็นต้น
- 3) แป้งเค้ก ทำจากข้าวสาลีชนิดเบา มีโปรตีนต่ำร้อยละ 7-9 เนื้อแป้งละเอียด เหมาะสำหรับทำเค้ก ขนมหน้านวล ขนมทองพลุ และขนมปุยฝ้าย เป็นต้น

เนื่องจากแป้งสาลีเป็นส่วนผสมหลักที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทุกชนิด และแป้งสาลีมีหลายชนิดที่เหมาะสมสำหรับการทำผลิตภัณฑ์เฉพาะอย่าง จึงควรเลือกใช้แป้งสาลีที่มีสมบัติที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะทำ (ขนมปังแฟนซี, 2530; สำนักพิมพ์แสงแดด, 2553)

### 2.1.3 สมบัติของแป้งข้าวสาลี

การผลิตเบเกอรี่เพื่อให้ได้คุณลักษณะที่ดี มีโครงสร้างที่ฟูเบา เนื้อสัมผัสที่นุ่มนวล โดยทั่วไปจะนิยมใช้แป้งข้าวสาลี ซึ่งมีสมบัติดังนี้

- 1) ความนุ่มและชุ่มชื้น โปรตีนของแป้งจะทำหน้าที่ดูดซับน้ำ (water absorption and binding) ซึ่งทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำ ทำให้น้ำถูกจับไว้ในโมเลกุลของโปรตีน (นิริยา รัตนานนท์, 2549)

## 2) การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retro gradation) มีกระบวนการ ดังนี้

### 2.1) สตาร์ชที่ได้จากแป้งข้าวสาลี มีลักษณะเม็ดสตาร์ชรูปแบบกลมคล้ายเลนส์

และทรงสี่เหลี่ยมที่มีขนาดต่าง ๆ กัน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแปรผันอยู่ในช่วง 2-35 ไมโครเมตร ซึ่งความหนาแน่นนี้มีผลต่อการทำให้สุก และเม็ดสตาร์ชยังมีแร่ธาตุ ลิพิด และโปรตีนเป็นส่วนประกอบบ้างเล็กน้อย การที่สตาร์ชจากข้าวสาลียังคงมีลิพิดเป็นองค์ประกอบมากกว่ากลุ่มสตาร์ชชนิดอื่นนั้นเนื่องจากสตาร์ชจากข้าวสาลีนี้อาจมีกรดไขมันอิสระ และไลโซฟอสโฟลิพิดมีผลทำให้แยกเม็ดสตาร์ชออกได้ยาก เพราะส่วนที่เป็นสตาร์ชอยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ที่ถูกห่อหุ้มด้วยลิโปโปรตีน (lipoprotein coat) นอกจากนี้ภายในเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวสาลียังมีอะไมโลสและอะไมโลเพกทินที่เป็นองค์ประกอบในเม็ดสตาร์ช ซึ่งปริมาณและสัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกทินมีผลต่อสมบัติของสตาร์ชของแป้งข้าวสาลีแต่ละชนิด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้แป้งสาลีแต่ละประเภทมีความสามารถและหน้าที่ (functionality) แตกต่างกัน โดยเม็ดสตาร์ชส่วนใหญ่จะมีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบประมาณ ร้อยละ 20-30 และมีอะไมโลเพกทินประมาณ ร้อยละ 70-80 สมบัติของอะไมโลส คือ ไม่ละลายน้ำ และจะรวมตัวกันเป็นตะกอน เมื่อเติมน้ำจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำน้อย และสามารถตกตะกอน หรือรีโทรเกรเดชัน อะไมโลเพกทินมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าอะไมโลส (นิธิยา รัตนাপนนท์, 2549)

2.2) การเกิดเจลาติไนเซชัน เมื่อนำสตาร์ชละลายในน้ำอุ่น เม็ดสตาร์ชจะค่อย ๆ ดูดน้ำและพองตัว และเมื่อให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิสูงขึ้นจะพบว่าสตาร์ชนั้นพองตัวมากขึ้นจนมีขนาดใหญ่และจะแตกออกจึงมีลักษณะขุ่นหนืด เรียกกระบวนการนี้ว่า เจลาติไนเซชัน (gelatinization) ซึ่งการขุ่นหนืดนี้มีผลมาจากของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน และมีโครงสร้างที่เป็นผลึกและจะมีโมเลกุลของอะไมโลสหลุดออกมาอยู่นอกเม็ดสตาร์ชได้บางส่วน ช่วงอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลาติไนเซชันที่สมบูรณ์ของสตาร์ชจะแปรผันจากวิธีวัด ชนิด และอัตราส่วนของน้ำต่อสตาร์ช และความไม่สม่ำเสมอภายในเม็ดสตาร์ช สตาร์ชข้าวสาลีมีอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันที่ 53-65 องศาเซลเซียส และเมื่อปล่อยให้สารละลายของเม็ดสตาร์ชเย็นตัวลง โมเลกุลของสตาร์ชบางส่วนโดยเฉพาะโมเลกุลอะไมโลสมีการเกาะรวมตัวกันแล้วตกตะกอนหรือเกิดเป็นเจล เรียกกระบวนการนี้ว่า รีโทรเกรเดชัน (retro gradation) เจลที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเนื้อสัมผัสแข็งหรืออ่อนจะขึ้นอยู่กับเกิดการแปรผันของไขมัน โปรตีน น้ำตาล กรด และปริมาณน้ำในสารละลาย

การเกิดรีโทรเกรเดชันในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เริ่มขึ้นหลังจากนำขนมออกจากเตาอบและปล่อยให้เย็นลง ซึ่งอัตราของการแห้งหรือแข็งของผลิตภัณฑ์จะขึ้นอยู่กับสูตรที่ใช้ กระบวนการอบและการเก็บรักษา ปัจจัยเหล่านี้จะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสตาร์ชที่ไม่มีรูปเป็นสตาร์ชที่อยู่ในรูปผลึกบางส่วน ด้วยเหตุนี้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูงจะทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันของอะไมโลเพกทินได้อย่างสมบูรณ์เมื่อผลิตภัณฑ์นั้นเย็นลง (นิธิยา รัตนাপนนท์, 2549) ดังนั้นการเพิ่มลิพิดที่มีหมู่โพลาร์จะช่วยชะลอการแห้งแข็งได้ จึงพบว่าในการผลิตเบเกอรี่ในปัจจุบันได้มีการเติมสารเสริมคุณภาพ เช่น เอสพี (SP) โอวาเล็ค หรืออีซี 25 เค ซึ่งเป็นสารเสริมคุณภาพที่มีส่วนผสม

ของลิพิด เช่น ซอร์บิทอล และเอสเทอร์ของกรดไขมัน (sorbitol and ester of fatty acid) มอโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ซูโครส เอสเทอร์ของกรดไขมัน (sucrose ester of fatty acid) และกลีเซอริน (glycerine) โดยจะเติมลงในระหว่างการตีผสมเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น และผลิตภัณฑ์แห้งช้าลง (ฉนวนกั แดงสังวาลย์, 2559)

#### 2.1.4 บทบาทและหน้าที่ของแป้งสาลี

- 1) ทำให้เกิดโครงสร้าง (structural) ของเบเกอรี่ที่ดี และคงรูปเป็นแบบฟองน้ำเมื่ออบเสร็จ
- 2) เป็นตัวช่วยรวมส่วนผสม เนื่องจากโปรตีนของแป้งมีสมบัติการจับกับน้ำ (hydration) และทำหน้าที่รวมส่วนผสม (blend ability) แต่ละชนิดให้เข้ากันได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้แล้วยังมีบทบาทเป็นตัวช่วยดูดซับน้ำ (water absorption and binding) ของส่วนผสม
- 3) ทำหน้าที่เป็นตัวจับสารให้กลืน เนื่องจากผลิตภัณฑ์เบเกอรี่จำเป็นต้องมีการเติมกลืนเพื่อกลบกลิ่นคาวของไข่ในสูตร โปรตีนจะทำหน้าที่ดูดซับสารให้กลืน ทำให้กลิ่นรสของเบเกอรี่คงทน (นิธิยา รัตนปณนธ์, 2549)
- 4) แป้งสาลีเมื่อผสมรวมกับน้ำทำให้เกิดกลูเตน ซึ่งมีบทบาททำให้ผลิตภัณฑ์เกิดลักษณะของเบเกอรี่ที่ยืดหยุ่น และเป็นโครงสร้างที่ดีของผลิตภัณฑ์

## 2.2 แป้งปลอดกลูเตน (Gluten free)

ปัจจุบันมีแป้งที่ปราศจากกลูเตนหรือที่เรียกว่า “แป้งปลอดกลูเตน” สำหรับผู้ที่แพ้กลูเตน อาจจะเป็นแป้งที่ทำจากการผสมกันของแป้งข้าวโพด (corn flour) แป้งข้าวเจ้า (rice flour) แป้งมันฝรั่ง (potato flour) แป้งมันสำปะหลัง (tapioca flour) แป้งถั่วเหลือง (soy flour) หรือเป็นแป้งที่ทำมาจากแป้งเมล็ดคีนัว (quinoa flour) แป้งบัควีท (buckwheat flour) และแป้งอมาแรนธ์ (amaranth flour) เป็นต้น เนื่องจากธัญพืชที่นำมาทำผลิตภัณฑ์ไม่มีกลูเตน จึงต้องนำแป้งเหล่านี้มาผสมไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด เช่น กัม (gum) ชนิดต่าง ๆ อาจเป็นแซนแทนกัม (xanthan gum) กัวร์กัม (guar gum) เพื่อช่วยเสริมโครงสร้างให้อูมน้ำและน้ำตาลได้มากขึ้น ทำให้เบเกอรี่ที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับเบเกอรี่ที่ทำจากแป้งสาลี ส่วนธัญพืชที่ไม่สามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ปลอดกลูเตน ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวไรย์ (rye) ข้าวโอ๊ต (oat) ทรีทีกาลี (triticale) เป็นลูกผสมระหว่างข้าวสาลีกับข้าวไรส์ (rye) และสเปลท์ (spelt) เนื่องจากมีกลูเตนอยู่แล้วนั่นเอง (นภัสรพี เหลืองสกุล และสวามิณี นวลแขกุล, 2559)

สำนักพิมพ์แสงแดด (2553) ได้แบ่งชนิดของแป้งที่ไม่มีกลูเตนออกเป็นแป้งชนิดต่าง ๆ ดังนี้

**2.2.1 แป้งข้าวเจ้า** ทำจากข้าวเจ้า มีสีขาวนวล สากมือ นำไปทำขนมที่มีเนื้อนุ่ม เช่น ขนมครก ขนมบัวลอย ขนมเรไร ลอดช่องไทย เป็นต้น แป้งข้าวเจ้ามี 2 ชนิด คือ 1) แป้งข้าวเจ้าสด คือ นำข้าวสารข้าวเจ้า เลือกใช้ข้าวเจ้าเนื้อแข็งอย่างข้าวเสาไห้ เพราะจะได้เนื้อแป้งมาก นำมาแช่น้ำจนเมล็ด



ข้าวนุ่ม แล้วนำไปโมกับน้ำด้วยโมหินหรือโมไฟฟ้า จะได้น้ำแห้งเนื้อข้นละเอียดดี แล้วใส่ถุงผ้าทับด้วยโมหินจนน้ำแห้ง ก็จะได้แห้งข้าวเจ้าสด เนื้อนุ่มเนียน 2) แป้งข้าวเจ้าแห้ง มี 2 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้าใหม่ ทำจากข้าวสารเจ้าใหม่ แป้งจะมีสมบัติดูดซึมน้ำได้น้อย เพราะมีความชื้น ใช้ทำขนมได้หลายชนิด สำหรับแป้งข้าวเจ้าเก่า ทำจากข้าวสารเจ้าค้างปี แป้งจะดูดซึมน้ำได้ดี

**2.2.2 แป้งข้าวเหนียว** ทำจากข้าวเหนียว มีสีขาวนวล เป็นผงละเอียดกว่าแป้งข้าวเจ้า นิยมใช้ทำขนมที่มีเนื้อเหนียวนุ่ม เช่น ขนมต้ม ขนมถั่วแปบ ขนมบัวลอย เป็นต้น แต่แป้งข้าวเหนียวมี 2 ชนิด คือ 1) แป้งข้าวเหนียวขาว จากข้าวเหนียวขาวที่มีขายทั้งแป้งสดและแป้งแห้ง สำหรับแป้งข้าวเหนียวสด คือ แป้งที่ทำจากข้าวเหนียวไม่ทับน้ำ นิยมใช้ข้าวเหนียวพันธุ์เนื้อแข็งมาทำ เพราะได้เนื้อแป้งมากเหมาะที่จะทำขนม เช่น ขนมบัวลอย ขนมถั่วแปบ ขนมเทียน เป็นต้น 2) แป้งข้าวเหนียวดำ ทำจากข้าวเหนียวดำมีสีม่วง มีความเหนียวน้อยกว่าแป้งข้าวเหนียวขาว มีขายทั้งแป้งสดและแป้งแห้ง ถ้านำมาทำขนมควรผสมแป้งข้าวเหนียวขาวลงไปด้วย จึงจะเหนียวและมีสีสวยไม่ดำ นิยมนำมาทำขนมสอดไส้ ขนมเทียน ขนม ถั่วแปบ เป็นต้น

**2.2.3 แป้งมันสำปะหลัง** ทำจากหัวมันสำปะหลัง แป้งมีสีขาว เนื้อละเอียดเนียน และลื่น มีสมบัติเหนียวใส ใช้ทำลอดช่องสิงคโปร์ ขนมผิง มีสมบัติเหนียวใส ใช้ทำลอดช่องสิงคโปร์ ขนมผิง ทับทิมกรอบ และยังนิยมใช้ผสมกับแป้งชนิดอื่น ๆ ในการทำขนมเพื่อเพิ่มความเหนียวใสยิ่งขึ้น เช่น ครอบแครงแก้ว ขนมชั้น บางครั้งใส่เพื่อเพิ่มความชื้นใส เช่น เต้าส่วน เป็นต้น

**2.2.4 แป้งถั่วเขียว** ทำจากถั่วเขียว แป้งมีสีขาว ผงแป้งละเอียดเนียนลื่น เมื่อสุกจะใส เหนียว มีความคงตัว แป้งถั่วเขียวใช้ทำขนมชาหริ่ม จนเรียกว่า แป้งชาหริ่ม นอกจากนี้ยังใส่ในขนมต่าง ๆ เช่น ตะโก้ ขนมลิ่มกลั่น และขนมเทียนแก้ว เป็นต้น

**2.2.5 แป้งข้าวโพด** มีสีขาวออกเหลือง เนียน และลื่น คล้ายแป้งมัน ใส่ในขนมที่ต้องการความเงามัน เช่น หน้าตะโก้ ขนมสอดไส้ หน้ากะทิต่าง ๆ เป็นต้น

## 2.3 สารให้ความหวาน

สารให้ความหวานนอกจากจะให้ความหวานแล้ว ยังเป็นอาหารของยีสต์ ช่วยให้การหมักดีขึ้น จัดเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย สารให้ความหวานที่ใช้ในเบเกอรี่ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครสที่ได้จากอ้อย และมีอยู่หลายชนิด (ขนมปังแฟนซี, 2530)

**2.3.1 ชนิดของน้ำตาลที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่** (จันทร์เจตฉาย สังเกตกิจ ประทีป ตุ่มทอง ณิชภา สารธียากุล จักรินทร์ สนุกแสน และอัญญา อุดมทวี, 2559)

1) น้ำตาลทรายขาว (granulated sugar) เป็นน้ำตาลที่เป็นผลึก มี 2 ชนิด คือ แบบขาวบริสุทธิ์ (refined sugar) และแบบธรรมชาติ (natural sugar) มีความละเอียดหลายขนาด มีสีขาว ถ้าน้ำตาลมีโมเลกุลใหญ่และหยาบจะผสมเข้ากับเนยไม่ดี เพราะผลึกใหญ่จะละลายไม่หมด และมัก

จะอยู่ในรูปเกล็ดผลึกของน้ำตาล จะไม่ละลายด้วยความร้อนจากเตา ส่งผลให้ผลึกเกิดเป็นจุดขึ้น

2) น้ำตาลทองธรรมชาติ (natural golden sugar) เป็นน้ำตาลที่มีการเสริมคาราเมลและฟรักโทส มีรสชาติหอมและหวานกว่าน้ำตาลปกติเล็กน้อย สามารถใช้ในปริมาณที่ลดลงได้

3) น้ำตาลทรายแดง (brown sugar) เป็นน้ำตาลจากอ้อยยังไม่ได้ฟอกสีเทาน้ำตาลทราย จึงมีเกลือแร่และวิตามินเหลืออยู่บ้าง น้ำตาลชนิดนี้ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้กลิ่นรสและสีของน้ำตาลทรายแดง เช่น เค้กผลไม้ หรือคุกกี้เนย เป็นต้น ปัจจุบันมีทั้งแบบสีเข้มและสีอ่อน แม้จะไม่ระบุในสูตร แต่สามารถเลือกใช้ทั้งสองชนิดได้ แม้ว่าสีเข้มจะมีความชื้นมากกว่า (เศรษฐพงศ์ เฒ่าวัฒนา, 2546)

4) น้ำตาลไอซิ่ง (icing or confectionary sugar) เป็นน้ำตาลที่ได้จากการบดน้ำตาลทรายขาวขนาดธรรมดาให้ละเอียด ร้อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาดตามต้องการ แล้วเติมแป้งข้าวโพดลงไปด้วยประมาณร้อยละ 3 ทั้งนี้เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อนหรือป้องกันการเป็นผลึกของน้ำตาล ส่วนมากใช้ในการทำไอซิ่งและผสมทำแป้งเค้กสำเร็จรูป ความละเอียดของน้ำตาลชนิดนี้จะช่วยให้ผสมง่ายขึ้น

### 2.3.2 บทบาทและหน้าที่ของสารให้ความหวาน (ณนท แดงสังวาลย์, 2559)

1) ให้ความหวานและเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการแก่เบเกอรี่

2) ช่วยในการตีครีม (ตีเนยกับน้ำตาล) และตีฟอง (ตีไข่กับน้ำตาล) ในการทำเค้กทุกชนิดจำเป็นต้องตีให้ส่วนผสมขึ้นฟู เพื่อส่งผลให้เกิดโครงสร้างและปริมาตรที่ดี สาเหตุที่น้ำตาลมีผลต่อการขึ้นฟูนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 สาเหตุ คือ กรณีเค้กที่ตีฟองหรือตีไข่ให้ขึ้นฟู น้ำตาลที่ละลายอยู่ระหว่างการตีไข่ขาวหรือไข่ทั้งฟองจะช่วยเพิ่มความคงตัวให้แก่ฟองไข่ขาว แต่เมื่อเทียบกับสูตรที่มีน้ำตาลน้อย การตีฟองนั้นจะเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่า เนื่องจากน้ำตาลมีผลต่อการลดความเป็นของเหลวในไข่ให้ลดลง แต่การคงตัวของฟองจะไม่ดีเท่ากับตำรับที่มีน้ำตาลมาก ส่วนในเค้กที่ตีกับไขมัน น้ำตาลส่งผลช่วยทำให้ความคงตัวของไขมันดีขึ้นขณะถูกตี เพื่อให้อากาศแทรกตัว

3) ช่วยให้เนื้อสัมผัสของขนมดี นุ่ม และทำให้ผลิตภัณฑ์เก็บความชุ่มชื้นได้นาน เนื่องจากน้ำตาลมีผลทำให้โปรตีนของแป้งที่ใช้ในสูตรอ่อนตัว และทำให้เค้กมีคุณภาพในการเก็บดีขึ้น เนื่องจากน้ำตาลมีสมบัติในการเก็บความชื้นทำให้เนื้อเค้กที่มีปริมาณน้ำตาลมากและมีความชุ่มชื้นนาน

4) ช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีเหลือง การเกิดสีเหลืองหรือสีน้ำตาลของเค้กที่อบสุก มีสาเหตุจากสารที่ให้ความหวานชนิดต่าง ๆ ในส่วนผสมเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์หรือปฏิกิริยาเมลลาร์ดขณะเมื่ออบอยู่ภายในเตา

## 2.4 ไขมันและน้ำมัน

องค์ประกอบทางเคมีของไขมันและน้ำมันจะประกอบไปด้วยกรดไขมัน (fatty acids) 3 โมเลกุล กับกลีเซอรอล (glycerol) 1 โมเลกุล กรดไขมันหนึ่งชนิดหรือมากกว่าจะรวมตัวกับโมเลกุลของกลีเซอรอลเพื่อเกิดเป็นไตรกลีเซอไรด์ ส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ที่มีลักษณะแข็งในอุณหภูมิห้องจะเรียกว่า ไขมัน (fats) ส่วนประกอบที่มีลักษณะเหลวจะเรียกว่า น้ำมัน (oils) และไขมันที่ใช้ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่อบมีความอ่อนนุ่ม โดยเกิดจากการป้องกันการจับตัวของกลูเตนระหว่างการผสมและไขมันจะหล่อลื่นกลูเตน จะเรียกว่า ชอร์ตเทนนิ่ง (shortening) (ฉันทน์ แดงสังวาลย์, 2559) ไขมันและน้ำมันจะมีน้ำหนักเบากว่าน้ำ และจะรวมตัวกับน้ำได้ยาก ดังนั้นในกระบวนการผลิตไขมันสำหรับเบเกอรี่นั้น จึงมีการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ลงไปเพื่อช่วยให้เวลาผสมน้ำกับน้ำมันจะเข้ากันได้ดี เช่น เวลาการทำเค้กจะตีไขมันกับน้ำตาลจนขึ้นฟูแล้วค่อย ๆ เติมน้ำลงไป ซึ่งถ้าไขมันนั้น ๆ ไม่มีอิมัลซิไฟเออร์ผสมอยู่ เวลาเติมน้ำลงไปแล้วจะเห็นส่วนผสมแยกออกจากกันทำให้ขนมไม่ขึ้นฟู (ขนมปังแฟนซี, 2530)

น้ำมัน หมายถึง องค์ประกอบที่มีสภาพเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง และไขมัน หมายถึง องค์ประกอบที่มีสภาพเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ไขมันที่ใช้ในการทำเบเกอรี่ที่ได้มาจากสัตว์ เช่น ไขมันเนย (จากนม) ไขมันหมู และไขมันปลา ส่วนไขมันที่มาจากพืช เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์มจากเมล็ดพืชต่าง ๆ เช่น ฝ้าย งา และถั่วต่าง ๆ (ขนมปังแฟนซี, 2530)

### 2.4.1 เนยสด (Butter)

องค์ประกอบของเนยสดส่วนใหญ่ ได้แก่ ไขมันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 น้ำร้อยละ 16 แล็กโทสร้อยละ 0.5 และเถ้าร้อยละ 0.1-0.3 ซึ่งส่วนใหญ่นิยมเติมเกลือลงไปด้วย โดยมีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5-2.5 เนยสดจะมีสภาพยืดหยุ่นและตีเป็นครีมได้ไม่ดี และมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิต่ำทำให้มีปริมาตรต่ำ ไม่เหมาะในการทำเค้กเนยซึ่งเป็นเค้กเนื้อหนัก แต่เนื่องจากเนยสดมีกลิ่นรสที่ดีจึงมักผสมเนยขาวกับเนยสดอย่างละครึ่งเพื่อให้ได้เนื้อเค้กที่ดีจากเนยขาว และกลิ่นรสที่ดีจากเนยสด ซึ่งการใช้แทนกันในแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนยสดด้วย เนื่องจากเนยสดมีปริมาณน้ำมากกว่าเนยขาว (จันทร์เชิดฉาย สังเกตกิจ และคณะ, 2559) การเลือกเนยจัดในการทำขนมเพราะสูตรขนมใส่เกลือในขนมอยู่แล้ว สาเหตุที่ใช้เนยจัดเพราะจะให้รสชาติที่หวานมันกว่าและมีกลิ่นหอมกว่า (เศรษฐพงศ์ เผ่าวัฒนา, 2546)

### 2.4.2 เนยขาว (Shortening)

เนยขาวทำมาจากไขมันวัว น้ำมันพืชต่าง ๆ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันเมล็ดฝ้าย ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต vegetable shortening แล้วนำมาเข้ากระบวนการเติมไฮโดรเจน ลักษณะที่ได้จะไม่มีการกลั่น มีสีขาวขุ่น ส่วนใหญ่จะเป็นของแข็ง นอกจากนี้ยังมีเนยขาวในรูปแบบของเหลวและรูปแบบผงด้วย แต่รูปแบบผงจะมีประสิทธิภาพในการใช้งานต่ำกว่าแบบของเหลวและของแข็ง (จันทร์เชิดฉาย สังเกตกิจ และคณะ, 2559)



### 2.4.3 น้ำมันพืช (Vegetable oil)

แม้จะทำจากไขมันพืชเหมือนกัน แต่ไม่นิยมใช้ในการทำขนมมากเหมือนเนยขาว เพราะทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเหลวและเป็นมันเยิ้ม ส่วนมากจึงใช้ทำเฉพาะชิฟฟอนเค้ก มัฟฟิน หรือใช้ร่วมกับมาร์การีน เพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับขนมอบ และที่สำคัญไม่ควรใช้น้ำมันพืชหรือน้ำมันทุกชนิดทำบิสกิต คุกกี้ หรือแครกเกอร์ เพราะไม่สามารถทำให้ขึ้นฟูได้เหมือนเนย (นภสรพี เหลืองสกุล และสวามินี นวลแซกุล, 2559)

### 2.4.4 บทบาทและหน้าที่ของไขมัน

1) ช่วยในการเป็นครีมที่ดี การผลิตเค้กโดยเฉพาะเค้กที่มีไขมันเป็นส่วนผสมหลัก ค่าความเป็นครีมของไขมันที่ใช้ (creaming quality) เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งเกิดจากการนำไขมันไปตีกับน้ำตาลให้ขึ้นฟูเป็นครีมขาวที่จะเติมส่วนผสมอื่น การใช้ไขมันพืชและไขมันผสม เช่น เนยขาวหรือมาร์การีนมาตีครีมจะทำให้ได้ครีมที่มีลักษณะฟูเบาว่าการใช้ไขมันจากสัตว์ เช่น เนย เนื่องจากไขมันพืชมีความยืดหยุ่นดีกว่า และไม่แข็งในอุณหภูมิที่ต่ำ เมื่อนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์จะทำให้เค้กมีลักษณะเนื้อละเอียดเนียน

2) ไขมันเป็นที่เก็บพวกอิมัลซิไฟด์ทำให้ส่วนผสมเค้กที่มีน้ำและน้ำตาลสามารถเข้ากันได้ดี โดยไขมันที่ใช้เป็นอิมัลชัน พวกที่ตัวกลางเป็นน้ำมันและอนุภาคคอลลอยด์เป็นน้ำ หรือเรียกว่าอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำมัน มีผลทำให้ส่วนผสมเค้คงตัว ซึ่งจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการตีส่วนผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ถ้าหากเนื้ออิมัลชันแตกตัว ซึ่งมีลักษณะแยกกันระหว่างน้ำและไขมันในส่วนผสมจะทำให้เนื้อเค้กที่อบสุกมีลักษณะหยาบ

3) ช่วยเพิ่มกลิ่นรสให้กับเค้ก ไขมันที่ใช้ในการผลิตเค้ก โดยเฉพาะเนยมีบทบาททำให้ผลิตภัณฑ์เค้กที่อบสุกมีกลิ่นรสที่ดี เนื่องจากองค์ประกอบของเนยมาจากไขมันนมที่มีกรดไขมันสายสั้น (short-chain fatty acid) เช่น กรดบิวทีริก (butyric acid) เป็นกรดไขมันอิ่มตัว มีสมบัติระเหยได้ง่าย (volatile fatty acid) ซึ่งเมื่อกรดชนิดนี้ระเหยออกมาจะทำให้กลิ่นหอม ด้วยเหตุนี้การผลิตเค้กทั่วไปจึงนิยมใช้เนยเพื่อส่งผลทำให้เค้กมีกลิ่น รสชาติที่ดี และถูกปากผู้บริโภคมากกว่าการใช้เนยขาวหรือไขมันพืชที่เมื่ออบสุกแล้วพบว่าผลิตภัณฑ์ไม่มีกลิ่นหอม

## 2.5 สารที่ช่วยให้ขึ้นฟู (Leavening agent) (นภสรพี เหลืองสกุล และสวามินี นวลแซกุล, 2559)

สารที่ช่วยให้ขึ้นฟูเป็นสารที่ช่วยสร้างความนุ่มให้กับเค้ก ปริมาณการใช้สารที่ช่วยฟูจะขึ้นอยู่กับความชื้นของส่วนผสมในสูตร และอุณหภูมิภายในเตาอบ การขึ้นฟูของเค้ก โดยทั่วไปเกิดจากสาเหตุ ดังนี้ 1) การขึ้นฟูโดยอากาศ เกิดจากการร่อนแป้ง การคน การตีเนยกับน้ำตาล การตีโฟม และการบด ส่วนผสมจะมีลักษณะฟูเบา ปริมาตรเพิ่มขึ้นจากอากาศที่แทรกตัวในส่วนผสม 2) การขึ้นฟูโดยไอน้ำ เกิดจากน้ำที่มีอยู่ในส่วนผสมที่ได้รับความร้อนจากการอบ และขยายตัวกลายเป็นไอน้ำ ช่วยทำให้

ขนมขึ้นฟู และ 3) การขึ้นฟูโดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีโดยเบกิ้งโซดาหรือผงฟู

### 2.5.1 ประเภทของสารที่ช่วยให้ขึ้นฟู

1) เบกิ้งโซดาหรือโซเดียมคาร์บอเนต (baking soda or sodium bicarbonate) เป็นสารเคมีที่มีสมบัติเป็นด่าง เมื่อได้รับความร้อนจะสลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ออกสู่ผลิตภัณฑ์ทันที (Amendola and Rees, 2003) ในการผลิตเค้กหากใช้เบกิ้งโซดาปริมาณมากเกินไปจะมีผลเสีย คือ มีสารตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ทำให้มีรสเฝื่อน และถ้าในสูตรเค้กมีปริมาณไขมันอยู่มากจะทำให้เค้กมีลักษณะเป็นสบู่ เพื่อให้สารตกค้างหมดทำได้โดยการเติมกรดของอาหารลงไปเพื่อทำปฏิกิริยากับเบกิ้งโซดาให้ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับสารตกค้าง เช่น บัตเตอร์มิลค์ นมเปรี้ยว น้ำผึ้ง น้ำมะนาว และน้ำส้ม (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2544) เค้กที่ใช้เบกิ้งโซดาต้องอบด้วยอุณหภูมิสูง เนื่องจากเป็นสารเคมีที่ใช้ความร้อนสูงในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งส่วนใหญ่พบว่า การขึ้นฟูของเค้กด้วยเบกิ้งโซดาจะขึ้นเต็มที่ในช่วงท้ายของระยะเวลาในการอบ (ณนท แดงสังวาลย์, 2559)

วิธีการขึ้นฟูของเบกิ้งโซดา คือ ผสมเบกิ้งโซดารวมกับกรด โดยมีความชื้นเป็นตัวนำพา จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ทำให้ขนมขึ้นฟู ดังสมการข้างล่างนี้ (นภสรพี เหลืองสกุล และสวามินี นวลแซกุล, 2559)



2) ผงฟู (baking powder) หรือเบกิ้งพาวเดอร์ เป็นส่วนผสมของเกลืออนินทรีย์ที่สลายตัวให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อเติมน้ำลงไปและได้รับความร้อน เช่น นำไปปอบหรือนึ่ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่วนประกอบของผงฟูประกอบด้วยโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (sodium hydrogen carbonate) หรือเบกิ้งโซดา และสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นกรด เช่น โพแทสเซียมไฮโดรเจนตาร์เตรต หรือครีมออฟทาร์ทาร์ และใส่แป้งข้าวโพดเพื่อป้องกันไม่ให้สารทั้งสองสัมผัสกันโดยตรง และให้ผงฟูอยู่ในสภาพแห้ง เพื่อให้ได้ความคงตัวและสามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่จับตัวเป็นก้อน ผงฟูเมื่อผสมกับน้ำ กรดจะแตกตัวทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตได้เป็นเกลือ น้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (นิธิยา รัตนพานนท์, 2549) ชนิดของผงฟู แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

2.1) ผงฟูกำลังหนึ่งหรือผงฟูที่เกิดปฏิกิริยารวดเร็ว (single-action) ผงฟูชนิดนี้จะผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทันทีในเวลาที่กำลังผสมส่วนผสม และจะผลิตก๊าซออกมาอย่างรวดเร็ว (fast-acting) ในระหว่างที่รอการอบ ดังนั้นถ้าใช้ผงฟูประเภทนี้ต้องผสมอย่างรวดเร็ว และรีบนำเข้าอบทันทีหลังจากผสมเสร็จ เพื่อป้องกันเค้กขึ้นฟูสม่ำเสมอเนื่องจากการสูญเสียก๊าซ

2.2) ผงฟูกำลังสองหรือผงฟูที่เกิดปฏิกิริยาซ้ำ (double-action) ผงฟูชนิดนี้จะเกิดปฏิกิริยา 2 ครั้ง คือ ในขณะที่กำลังผสมส่วนผสม เช่น การตีและการคนผสม และครั้งที่ 2 คือ ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนจากเตาอบ การเกิดปฏิกิริยาซ้ำของผงฟูชนิดนี้เกิดจากการดของเกลือซัลเฟตที่มีอยู่ในส่วนผสมของผงฟูชนิดนี้จะทำปฏิกิริยาอีกส่วนหนึ่งเมื่อเค้กได้รับความร้อน ปัจจุบันการผลิตเค้กนิยมใช้ผงฟูชนิดกำลังสอง เนื่องจากหลังการผสมเสร็จแล้วยังสามารถรอการอบได้ระยะหนึ่งโดยไม่ผิดลักษณะที่ดีของเค้ก

ข้อควรระวังในการใช้ผงฟูชนิดที่เกิดก๊าซเร็ว คือ ไม่ควรตั้งส่วนผสมแบ่งที่ผสมผงฟูแล้วทิ้งไว้นาน ๆ เพราะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะสูญเสียไปเรื่อย ๆ ทำให้ขนมไม่ขึ้นฟูเท่าที่ควร นอกจากนี้การใช้ผงฟูทุกชนิดควรใช้ให้ถูกวิธี คือ นำไปร่อนรวมกับแป้งหรือส่วนผสมแห้งอื่น ๆ ไม่ควรผสมลงในของเหลวหรือน้ำ เพราะจะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทันที และเกิดการสูญเสียก๊าซไปอย่างเปล่าประโยชน์ โดยมากผงฟูที่เราใช้จะเป็นแบบที่สอง คือ ดับเบิ้ลแอ็คติ้งเบกกิ้งพาวเดอร์ เพราะหาซื้อได้ง่ายและมีขายทั่วไปตามซูเปอร์มาร์เก็ต แม้ผงฟูชนิดนี้จะขึ้นฟูได้สองครั้ง แต่ไม่ควรตั้งส่วนผสมทิ้งไว้นาน ๆ เพราะอาจทำให้เค้กยุบตัวได้ (ณนนธ์ แดงสังวาลย์, 2559)

3) ครีมออฟทาร์ทาร์ (cream of tar tar) หรือโพแทสเซียมไฮโดรเจนทาร์เทรต เป็นสารเคมีที่มีสมบัติเป็นกรดจากกรดทาร์ทริกที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตไวน์ ไม่เป็นสารที่ขึ้นฟูด้วยตัวของมันเอง แต่จะสามารถผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เมื่อมีการผสมกับด่าง เช่น เบกกิ้งโซดา และเมื่อผสมกันแล้วจะเรียกว่า ผงฟูกำลังหนึ่ง (ณนนธ์ แดงสังวาลย์, 2559; Amendola and Rees, 2003)

### 2.5.2 บทบาทและหน้าที่ของสารที่ช่วยให้ขึ้นฟู

1) เบกกิ้งโซดา เป็นสารที่ช่วยให้ขึ้นฟูที่เหมาะสมสำหรับเค้กที่มีส่วนผสมของกรดอยู่ในวัตถุดิบ เช่น ผงโกโก้ โดยเบกกิ้งโซดาจะทำปฏิกิริยากับกรดของผงโกโก้ทำให้สมบัติความเป็นกรดในส่วนผสมเจือจางลง และทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลที่ดี ในบางประเทศจะเติมเบกกิ้งโซดาลงในการผลิตเดวิลฟู้ดเค้ก (devil's food cake) เพื่อช่วยให้เกิดสีน้ำตาลแดง ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของเค้กชนิดนี้

2) ผงฟู ช่วยให้ผลิตภัณฑ์เค้กขึ้นฟู เนื้อเค้กเบา เมื่อบริโภคเนื้อเค้กจะละลายในปาก ผงฟูช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะน่าบริโภคในด้านลักษณะปรากฏ

3) ครีมออฟทาร์ทาร์ ในการผลิตโฟมสำหรับการผสมเป็นเนื้อเค้ก จะต้องเติมครีมออฟทาร์ทาร์ลงในส่วนผสมเพื่อช่วยทำให้ไข่ขาวที่ถูกตีมีลักษณะเป็นโฟมที่ดีและคงรูป ทำให้การตีไข่ขาวขึ้นฟูได้ง่าย และยังช่วยให้มีความคงตัวอยู่ได้นาน ลักษณะโฟมของไข่ขาวที่ได้จากครีมออฟทาร์ทาร์มีลักษณะละเอียดกว่าการตีแบบไม่เติมครีมออฟทาร์ทาร์ และเมื่อตั้งทิ้งไว้นาน 15 นาที การแยกตัวระหว่างน้ำจากโฟมในไข่ขาวที่ไม่มีการเติมครีมออฟทาร์ทาร์มีปริมาณที่มากกว่า ซึ่งหากนำไปผลิตเค้กและคุกกี้ไข่ ผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะการคิ่นตัวที่รวดเร็วและอาจจะทำให้ปริมาณเนื้อสัมผัสที่ได้ด้อยคุณภาพลง นอกจากนี้แล้วสมบัติความเป็นกรดของครีมออฟทาร์ทาร์ ยังนิยม

เติมลงในน้ำเชื่อมที่ใช้สำหรับนำไปตีครีมแต่งหน้าเค้ก เพื่อป้องกันการตกผลึก (crystallization) ของน้ำตาลทราย

## 2.6 น้ำ

น้ำจัดเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญ รวมหมายถึง น้ำในนม หรือน้ำผลไม้ จะเป็นตัวทำหน้าที่รวมตัวกับโปรตีนในแป้งเพื่อให้เกิดกลูเตน น้ำมีหลายชนิด เช่น น้ำอ่อน น้ำกระด้าง น้ำด่าง น้ำที่เป็นกรด และน้ำเกลือ น้ำที่ใช้ดื่มทั่ว ๆ ไปสามารถนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ได้ แต่สำหรับน้ำอ่อนได้แก่ น้ำกลั่น หรือน้ำฝนจะไม่เหมาะในการทำขนมเบเกอรี่ น้ำอ่อนจะทำให้ได้มีลักษณะเหนอะ และทำให้กลูเตนอ่อนตัว ขนมปังที่ได้จะแบนราบ (ขนมปังแฟนซี, 2530)

น้ำมีบทบาทและหน้าที่ในการผลิตขนมอบ ดังนี้

1) ทำให้เกิดโด (dough) น้ำจะทำให้เกิดการรวมตัวของโปรตีนในแป้งให้เกิดเป็นกลูเตน เมื่อผสมน้ำกับแป้งจะเกิดก้อนแป้งที่มีลักษณะ แฉะ เหนียว และยืดหยุ่นได้ เรียกว่า โด (dough) โครงสร้างของโด คือ กลูเตนซึ่งเป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ ถ้าในโดมีปริมาณน้ำมาก สตาร์ชซึ่งเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของแป้งก็จะยึดไว้มาก สตาร์ชจะดูดซับน้ำไว้บนผิวนอกในขั้นตอนแรกของการผสม เมื่อการผสมดำเนินต่อไป โดจะค่อย ๆ หายและ โปรตีนจะผสมกับน้ำอย่างเต็มที่ และเซลล์ของสตาร์ชจะดูดซึมน้ำเข้าไปประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักแป้งโด จะมีความเหนียวแน่นมากเมื่อได้รับน้ำน้อย ปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในโดจะมีผลอย่างยิ่งต่อโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ เพราะน้ำจะทำให้เนื้อในของผลิตภัณฑ์อ่อนนุ่ม รวมทั้งมีขนาดและรูปร่างของโด

2) มีผลต่อค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity,  $a_w$ ) ปริมาณน้ำที่ใช้ในสูตรมีผลต่อค่าอัตราส่วนของความดันไอของน้ำในอาหาร (p) ต่อความดันของไอน้ำบริสุทธิ์จุดอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน ( $p_0$ ) หรือเรียกทั่วไปว่า ค่า water activity ( $a_w$ ) นิธิยา รัตนาปนนท์ (2549) กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่าง  $a_w$  กับอัตราเร็วของปฏิกิริยาทางเคมีในอาหารว่า  $a_w$  มีผลกระทบต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีหลายชนิด รวมถึงอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ ดังนั้นหากต้องการเก็บรักษาเบเกอรี่ให้มีอายุที่นานขึ้น การลดปริมาณน้ำและ  $a_w$  ในผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งสำคัญซึ่งสามารถใช้วิธีการแช่เยือกแข็ง นอกจากนี้ผลของ  $a_w$  ต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ในกลุ่มเค้กที่ใช้ไขมัน เช่น น้ำมันพืชและมีการผลิตที่ไว้นานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงด้านสี กลิ่น และรสของน้ำมันได้แก่ การเกิดกลิ่นหืน และเค้กเปลี่ยนสี การออกซิเดชันของไขมันจะลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำเพิ่มมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากไขมันไม่สามารถละลายในน้ำ

## 2.7 เกลือ

เกลือเป็นส่วนผสมที่จำเป็นอย่างหนึ่งในการเบเกอรี่ เกลือที่ใช้ในการทำเบเกอรี่เป็นเกลือป่นละเอียดที่ใช้ในการประกอบอาหารทั่ว ๆ ไป หมายถึง โซเดียมคลอไรด์ (ขนมปังแฟนซี, 2530)



เกลื้อมีบทบาทและหน้าที่ ดังนี้

- 1) เกลื้อช่วยเน้นรสชาติของส่วนผสมในสูตรให้เด่นชัด
- 2) ช่วยทำให้เค้กมีโครงสร้างที่แข็งแรง เนื้อแน่น (tighten) เนื่องจากเกลื้อช่วยให้เกิดกลูเตนในแป้งข้าวสาลีระหว่างการผสม จึงทำให้เนื้อเค้กมีลักษณะแน่นแต่ไม่เหนียว เนื่องจากใช้ในปริมาณที่น้อย (Amendola and Rees, 2003) จึงเป็นผลดีต่อโครงสร้างของเบเกอรี่ทำให้มีลักษณะฟูอยู่ตัว ไม่แตกง่ายหลังอบสุกและการเอาออกจากพิมพ์
- 3) ช่วยในการป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการ

## 2.8 ไข่

ในการทำเบเกอรี่ส่วนมากจะใช้ไข่ไก่ในรูปของไข่สด ในต่างประเทศมีไข่ไข่ผง ไข่แช่แข็ง เพราะไข่สดนั้นขนส่งลำบากและสิ้นเปลือง อายุการเก็บสั้น ไข่เป็นแหล่งของโปรตีน ช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหาร การใช้ไข่ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่นั้นอาจใช้ไข่ทั้งฟอง ไข่แดง หรือไข่ขาว (ขนมปังแฟนซี, 2530) การเลือกไข่ให้ใช้ไข่ไก่สดและอย่าแช่ตู้เย็นทันทีที่ซื้อมา ถ้าซื้อมาแล้วใช้ไม่หมดค่อยเก็บในตู้เย็น เมื่อจะนำมาทำขนมให้พักไข่ไว้ในห้องจนหายเย็นเพราะความเย็นจากไข่จะทำให้ส่วนผสมเนยและน้ำตาลแยกตัวเป็นลิ่มเล็ก ๆ (เศรษฐพงศ์ เผ่าวัฒนา, 2546)

### 2.8.1 ประเภทของไข่ (สำนักพิมพ์แสงแดด, 2553)

- 1) ไข่เป็ด มีไข่แดงขนาดใหญ่ สีส้มแดง ไข่ขาวข้น และมีกลิ่นความมากกว่าไข่ไก่ นิยมใช้ไข่แดงมาทำขนมเครื่องทองต่าง ๆ เช่น ฝอยทอง ทองหยอด ทองหยิบ เม็ดขนุน เพราะไข่แดงข้นเหนียว สีแดงสวย ไข่เป็ดทองนางจะมีไข่แดงเหนียวและมีสีแดงสดกว่าไข่เป็ดจากฟาร์ม สังเกตเปลือกไข่เป็ดทองนางจะมีโคลนติดบ้าง ควรเลือกซื้อไข่เป็ดใหม่ที่มีอายุไม่เกิน 2-3 วัน โดยส่องไข่ดูกับแสงจะไม่มีโพรงอากาศ
- 2) ไข่ไก่ มีฟองเล็กกว่า ไข่แดงมีสีส้มเหลือง ไม่แดง และข้นเหนียวน้อยกว่าไข่เป็ด ไข่ไก่มีกลิ่นค่าน้อยกว่าไข่เป็ด ควรเลือกซื้อไข่ไก่ใหม่ที่มีอายุ 2-3 วัน เปลือกยังมันวาว ถ้าเป็นมันเงาแสดงว่าไข่เก่า ขนมไทยบางสูตรใช้ไข่ทั้งฟอง บางสูตรใช้เฉพาะไข่แดง บางสูตรใช้เฉพาะไข่ขาว

### 2.8.2 หน้าที่ของไข่ (ขนมปังแฟนซี, 2530)

- 1) ทำให้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ขึ้นฟู
- 2) ทำให้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มีสีเข้ม
- 3) เพิ่มคุณค่าทางอาหาร
- 4) ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีความอ่อนนุ่ม
- 5) เพิ่มกลิ่นรสและความเข้มข้น

### 2.8.3 การเก็บรักษาไข่ (สำนักพิมพ์แสงแดด, 2553)

การเก็บรักษาไข่ คือ ไม่ล้างก่อนเก็บ เพราะจะทำให้รสที่เคลือบเปลือกไข่หลุด น้ำจะซึมเข้าไปทางช่องเล็ก ๆ ของเปลือกไข่ ทำให้ไข่เสียเร็ว ไข่เปิดท้องน่าจะมีสิ่งสกปรกอยู่มาก ต้องล้างให้สะอาด เช็ดให้แห้ง ถ้าซื้อไข่มากให้ล้างเฉพาะที่จะใช้ทำขนม ไม่ควรล้างก่อนเก็บ ควรแช่ในตู้เย็นช่องธรรมดาโดยวางด้านแหลมลง

## 2.9 นม (จันทร์เณศฉาย สังเกตกิจ และคณะ, 2559; นภัสรพี เหลืองสกุล และสวามินี นวลชาญกุล, 2559)

นมช่วยให้เกิดโครงสร้าง ความมัน ความชุ่มชื้น กลิ่นรส สี และคุณค่าทางอาหาร ในอุตสาหกรรมนิยมใช้นมผงมากกว่านมสด เพราะสะดวกในการเก็บรักษา สำหรับส่วนประกอบของน้ำนมโดยเฉลี่ยพบว่า มีน้ำร้อยละ 87.6 ไขมันร้อยละ 3.6 โปรตีนร้อยละ 3.3 และแล็กโทสร้อยละ 4.7

### 2.9.1 ประเภทของนมที่ใช้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

1) นมสด (whole milk) เป็นนมที่ผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ มีเนื้อมนมประมาณร้อยละ 10 เป็นนมเหลวที่มีทั้งชนิดไขมันเต็มร้อยละ 3.6 พร่องมันเนยร้อยละ 0.5-2.0 และปราศจากไขมันร้อยละ < 0.5 ซึ่งนมสดที่ใช้ทำขนมควรเป็นชนิดไขมันเต็ม เพราะช่วยเรื่องเนื้อสัมผัสและความชุ่มชื้น

2) นมข้นจืดหรือนมสดระเหย (evaporated milk) เป็นนมสดที่นำมาระเหยน้ำออกบางส่วน มีเนื้อมนมอยู่ประมาณร้อยละ 26 ไม่มีการเติมน้ำตาลทราย รสชาติเข้มข้น สามารถใช้แทนนมสดได้

3) นมข้นหวาน (condensed milk) เป็นผลิตภัณฑ์นมที่ทำให้เข้มข้นด้วยการระเหยน้ำออกบางส่วน แล้วเติมน้ำตาลทรายลงไปประมาณร้อยละ 45-60 ทำให้มีความเข้มข้นและรสหวานจัดบางชนิดทำจากหางนมแล้วระเหยน้ำออก

4) นมผง (dried milk) ได้จากนมสดที่นำมาระเหยน้ำออกเกือบทั้งหมด มีความชื้นเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 5 นมผงจะทำให้เค้กแห้งและแข็งในเวลาเดียวกัน เนื่องจากนมผงมีการเชื่อมกับโปรตีนในแป้งจึงทำให้เกิดการแข็งตัวขึ้น นอกจากนั้นนมผงยังมีน้ำตาลแล็กโทสซึ่งช่วยให้เปลือกนอกของเค้กมีสีและกลิ่นรสที่ดีขึ้น และช่วยเก็บความชื้นได้ดีอีกด้วย

### 2.9.2 หน้าที่ของนม (ขนมปังแผ่นซี, 2530)

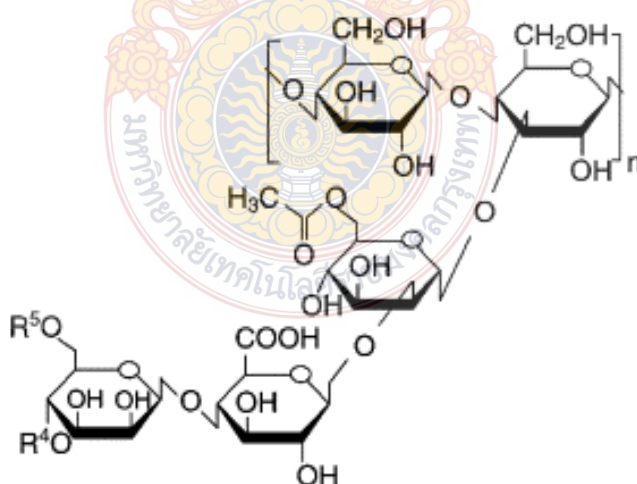
- 1) เพิ่มคุณค่าทางอาหาร และนำมารับประทาน
- 2) ช่วยให้สีเข้มข้น
- 3) เป็นตัวทำละลายให้ส่วนผสมเข้ากันและเกิดโครงสร้าง
- 4) เพิ่มความนุ่มให้กับผลิตภัณฑ์



## 2.10 แขนแทนกัม (Xanthan gum)

แขนแทนกัมเป็นเฮเทอโรโพลีแซ็กคาไรด์ (hetero-polysaccharide) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ตั้งแต่หนึ่งถึงหลายล้านดาลตัน โดยสายหลักเป็นโครงสร้างของน้ำตาลกลูโคส มีกิ่งก้านของโครงสร้าง (side chain) เป็นไตรแซ็กคาไรด์ (trisaccharide) ที่ประกอบด้วย  $\alpha$ -D-mannose (acetyl group),  $\beta$ -D-glucuronic acid และส่วนปลาย (terminal) เป็น  $\beta$ -D-mannose เชื่อมต่อกับ pyruvate group ซึ่งแขนแทนกัมที่ผลิตจากเชื้อต่างชนิดหรือสภาวะแตกต่างกันจะมีปริมาณหมู่ไพรูวาลแตกต่างกัน โดยโมโนแซ็กคาไรด์ (monosaccharides) ที่พบในแขนแทนกัมในหนึ่งหน่วย ประกอบด้วย  $\beta$ -D-glucose,  $\alpha$ -D-mannose และ  $\alpha$ -D-glucuronic acid ในอัตราส่วน 2: 2: 1 (กองอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาล และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง, ม.ป.ป.) ดังแสดงในภาพที่ 1

แขนแทนกัมได้จากจุลินทรีย์มีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงสีแทน ละลายได้ทั้งในน้ำเย็นและน้ำร้อน ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท แต่โดยทั่วไปนำมาใช้ในเครื่องปรุงรส เช่น น้ำสลัด ซอส แยม และผลไม้กระป๋อง ช่วยให้เกิดความหนืดและช่วยรักษาเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังมีการนำไปใช้ในการทำไอศกรีมเพื่อรักษาเนื้อสัมผัสที่นุ่มลื่นและป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็ง สามารถนำมาใช้แทนกลูเตนเพื่อช่วยเรื่องโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ อาจใช้ในไส้ขนมและผสมในน้ำตาลเคลือบต่าง ๆ เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเซลล์แอคได้ (จันทร์เจตฉาย สังเกตกิจ และคณะ, 2559; นภสรพี เหลืองสกุล และสวามินี นวลแขกกุล, 2559; กองอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาล และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 1 โครงสร้างของแขนแทนกัม

ที่มา: Krasaekoopt and Bhandari (2012)

### 2.10.1 สมบัติทางกายภาพของแซนแทนกัม (กองอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาล และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง, ม.ป.ป.)

1) ความสามารถในการละลาย แซนแทนกัมสามารถละลายได้ดีทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น ทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดสูงแม้ใช้ความเข้มข้นต่ำ มีรายงานว่าการใช้แซนแทนกัมเพียงร้อยละ 1 สามารถทำให้สารละลายที่มีความหนืดประมาณ 800-1,000 เซนติพอยซ์ อีกทั้งยังสามารถละลายได้ดีในสารละลายกรด ต่าง หรือเกลือหลายชนิด รวมทั้งมีความสามารถในการละลายร่วมกับตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น methanol, ethanol, isopropanol และ acetone ที่มีความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 50 โดยการเติมตัวทำละลายช้า ๆ และกวนอย่างสม่ำเสมอ แซนแทนกัมจะตกตะกอนทันทีถ้าตัวทำละลายมีความเข้มข้นสูง

2) สมบัติทางการไหล (rheological properties) สารละลายแซนแทนกัมมีสมบัติแตกต่างจากพอลิแซกคาไรด์ชนิดอื่น คือ เป็นของไหลประเภท non-Newtonian fluid ที่มีสมบัติเป็น pseudoplastic เมื่อมีแรงกระทำต่อสารละลายมาก (shear rate สูง) ความหนืดของสารละลายจะลดลง แต่เมื่อมีแรงกระทำต่อสารละลายน้อย (shear rate ต่ำ) สารละลายจะมีแรงต้านสูงและมีความหนืดเพิ่มขึ้น

3) ความคงตัวต่อความหนืด ความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สารละลายแซนแทนกัมจะสามารถคงความหนืดให้คงที่ได้แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงกว้าง ซึ่งสมบัติความคงตัวดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารในการเก็บรักษาหรือแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหาร โดยเมื่อนำสารละลายแซนแทนกัมมาให้ความร้อนโดยการนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส นาน 15-30 นาที ในระบบปิด พบว่าความหนืดของสารละลายเปลี่ยนแปลงน้อยมาก สำหรับความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช พบว่าสารละลายแซนแทนกัมจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยมากเมื่อค่าพีเอชเปลี่ยนแปลง สำหรับค่าความคงตัวต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของเกลือในสารละลายแซนแทนกัมที่มีความเข้มข้นต่ำ พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเกลือเพียงเล็กน้อยจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดโดยระดับความเข้มข้นเกลือที่ 0.005-0.01 โมลาร์เกลือจะไม่ส่งผลต่อโครงสร้างทุติยภูมิของแซนแทนกัม แต่หากมีความเข้มข้นของเกลือที่สูงกว่านี้จะทำให้โมเลกุลของแซนแทนกัมบางส่วนเกิดการจับตัวเป็นก้อน

## 2.11 ชาเขียว (Green tea) (นภัสรพี เหลืองสกุล และสวามิณี นวลเชกุล, 2559)

ชาเขียวมีหลายแบบ แต่ที่นิยมนำมาใช้ในการทำเบเกอรี่จะมี 3 แบบ ได้แก่

### 2.11.1 ใบชาเขียวสำหรับชงน้ำ

ใบชาเขียวสำหรับชงน้ำมีลักษณะเป็นใบชาที่มีการผสมสีและกลิ่นสังเคราะห์มาแล้วส่วนที่นิยมมาก คือ ชาเขียวตรามือสำหรับใช้ทำขนม ถ้าต้องการใส่แบบแห้งให้นำไปปั่นเป็นผงละเอียดก่อนนำไปใส่ในเบเกอรี่ แต่ไม่ควรใส่มากเกินไปเพราะจะเกิดเป็นตะกอนเล็ก ๆ และสากลิ้น

เวลารับประทาน แต่ถ้าต้องการใช้แบบน้ำให้นำใบชาเขียวมาชงกับน้ำให้เป็นแบบเข้มข้นเหมาะสำหรับทำเป็นคัสตาร์ดชาเขียวหรือใส่ในส่วนผสมต่าง ๆ ตามต้องการ แม้ว่าโดยรวมแล้วกลิ่นและรสจะไม่เหมือนชาเขียวแท้จากญี่ปุ่น แต่สำหรับการทำขนมถือว่าใช้ได้ดีเพราะมีราคาไม่แพงมาก

### 2.11.2 ผงสกัดเข้มข้น (Matcha green tea)

ผงสกัดเข้มข้นเป็นผงสีเขียวอ่อนที่สกัดมาแล้ว ราคาค่อนข้างสูงและมีหลายเกรด หากซื้อได้ทั่วไปตามร้านขายอุปกรณ์เบเกอรี่ ผงชาเขียวจะละลายน้ำได้ดี ให้กลิ่นรสดี และไม่มีตะกอนตกค้าง ความเข้มข้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใส่ ถ้าใช้ในปริมาณน้อยสีและกลิ่นจะค่อนข้างอ่อน แต่หากต้องการประหยัดต้นทุนก็อาจต้องใช้ส่วนผสมอาหารและกลิ่นสังเคราะห์ร่วมด้วย

### 2.11.3 กลิ่นชาเขียวสังเคราะห์ (Artificial green tea flavoring)

กลิ่นชาเขียวสังเคราะห์มีขายทั่วไปในรูปแบบน้ำ ใช้งานง่าย สะดวก เวลาใช้จะใส่ในปริมาณน้อยเพื่อเสริมในขนมที่ต้องการกลิ่นรสชาเขียว แต่กลิ่นจะไม่เหมือนชาเขียวแท้มากนัก

## 2.12 การอบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

### 2.12.1 เตาอบ (นภัสรพี เหลืองสกุล และสวามินี นวลแซกุล, 2559)

เตาอบเป็นเครื่องมือสำคัญของการทำขนมอบทุกชนิดและเป็นอุปกรณ์ที่มีหลายประเภท หลายคนยังไม่ทราบถึงหลักการทำงานของเตาอบ การให้ความร้อน การใช้งาน การดูแล และการเก็บรักษา เตาอบสามารถแบ่งได้ ดังนี้

1) เตาแก๊ส เป็นที่นิยมมากที่สุด มีทั้งแบบที่ใช้ตามบ้านและแบบอุตสาหกรรมขนาดเล็กราคาถูกและสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ดี เนื่องจากเตาแก๊สประหยัดกว่าเตาไฟฟ้า และทำให้สีขนมสวย น่ารับประทาน แต่อาจใช้งานยาก เพราะต้องจุดแก๊สแล้วปรับอุณหภูมิให้คงที่ตามต้องการ ควรมีเทอร์โมมิเตอร์ที่ใช้สำหรับเตาอบวางไว้ภายในเพื่อคอยตรวจสอบอุณหภูมิที่แน่นอนก่อนจะนำขนมเข้าอบ เตาที่ให้ความร้อนจากด้านล่างส่วนใหญ่ขนมจะไหม้หรือสุกเกินไปถ้าปล่อยขนมไว้ในเตานานเกินไป จึงควรระวังดูขนมเมื่อใกล้ถึงเวลาที่กำหนด เพราะขนมอาจสุกก่อนหรือหลังเวลาที่กำหนดเล็กน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของพิมพ์และการใส่เครื่องปรุงที่อาจเหลวหรือใส่แป้นมากเกินไป ดังนั้นจึงต้องคอยสังเกตให้ดี (เศรษฐพงศ์ เผ่าวัฒนา, 2546) ปัจจุบันมีเตาแก๊สแบบใช้ไฟฟ้าควบคุมเพื่อให้ปรับอุณหภูมิได้ง่ายขึ้นเพราะมีระบบไฟฟ้าคอยควบคุม

2) เตาไฟฟ้า เป็นแบบที่นิยมมากในปัจจุบัน ทำงานโดยอาศัยหลักการแผ่ความร้อนจากขดลวดที่อยู่ด้านบนและด้านล่าง มีหลายขนาด เตาไฟฟ้าส่วนใหญ่จะมีราคาค่อนข้างสูง แต่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้แน่นอน ตั้งแต่เวลาและใช้งานสะดวก รวมถึงมีหลายระบบการทำงาน เช่น ไฟบน-ล่าง หรือการย่าง ซึ่งเตาไฟฟ้าบางรุ่นจะมีพัดลมอยู่ภายในเพื่อกระจายความร้อนได้ดียิ่งขึ้น โดยพัดลมจะใช้ได้ดีกับขนมบางประเภท เช่น คุกกี้ พัพเพ้ เพสตรี มาการอง เพราะจะช่วยให้ความร้อนเข้าถึงขนมทั่วกันทุกชิ้น แต่จะไม่เหมาะกับเค้กไข่ ชูเฟล ชีสเค้ก หรือขนมที่ต้องใช้การขึ้นฟูมาก ๆ

นอกจากนี้เตาอบบางรุ่นจะมีระบบไอน้ำร่วมด้วย เหมาะสำหรับรับการทำความชื้นที่ต้องการให้เปลือกแข็ง เช่น ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังอาร์ดิซาน เป็นต้น

3) เตาอบไมโครเวฟ เป็นเตาอบที่คนส่วนใหญ่จะมีติดบ้านมากที่สุด ซึ่งสามารถนำมาทำความชื้นได้เช่นเดียวกัน และสุกได้รวดเร็ว แต่จะมีกลิ่น รส สี และเนื้อสัมผัสบางอย่างแตกต่างจากเตาอบทั่วไป และมีข้อจำกัดในขนมอบบางประเภท ปัจจุบันผู้ผลิตได้พัฒนาชนิดของเตาอบไมโครเวฟให้เป็นเตาอบไมโครเวฟแบบย่าง (grill microwave oven) ที่มีแท่งหรือขดลวดความร้อนคล้ายกับเตาอบไฟฟ้า จึงใช้เตาชนิดนี้อบขนมได้ หรือแบบที่มีพัดลมเพิ่มเข้ามาหมุนเวียนภายใน เรียกว่า เตาอบไมโครเวฟแบบลมร้อน (convection microwave oven) และล่าสุดมีเพิ่มระบบไอน้ำเข้ามาด้วยเป็นเตาอบไมโครเวฟแบบอบไอน้ำ (steam microwave oven)

### 2.12.2 การตั้งอุณหภูมิเตาอบ (เศรษฐพงศ์ เผ่าวัฒนา, 2546)

ขนมบางอย่างต้องเปิดเตาอบก่อนลงมือทำขนม แต่ขนมปังหรือขนมที่มีชั้นตอนอื่น ๆ ให้เปิดเตาล่วงหน้าก่อนถึงเวลาจะอบขนมจริงประมาณ 30 นาที แต่ไม่เปิดเตาอบพร้อมกับที่จะอบขนมเนื่องจากจะต้องใช้เวลาอุ่นและเร่งอุณหภูมิภายในเตาอบให้ถึงอุณหภูมิที่ต้องการอบเสียก่อน ซึ่งมาตรวัดความร้อนหน้าเตาอบส่วนใหญ่จะเป็นองศาเซลเซียส ให้ใช้หลักเทียบ ดังนี้

- 160 องศาเซลเซียส เท่ากับ 325 องศาฟาเรนไฮต์
- 180 องศาเซลเซียส เท่ากับ 350 องศาฟาเรนไฮต์
- 190 องศาเซลเซียส เท่ากับ 375 องศาฟาเรนไฮต์
- 200 องศาเซลเซียส เท่ากับ 400 องศาฟาเรนไฮต์
- 210 องศาเซลเซียส เท่ากับ 425 องศาฟาเรนไฮต์

### 2.12.3 ขั้นตอนการอบ (ณนัท แดงสังวาล, 2559)

ภายหลังจากการเตรียมเตาอบและตีผสมเนื้อมะพร้าวเสร็จแล้วนั้น ขั้นตอนการอบผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีไขมันมีดังนี้

- 1) นำพิมพ์เบเกอรี่ที่บรรจุเนื้อมะพร้าววางลงถาดอบ และนำเข้าอบโดยวางที่กึ่งกลางของเตาอบ
- 2) ระหว่างการอบไม่ควรเปิดฝาดูเตาอบ เนื่องจากจะทำให้อุณหภูมิภายในเตาลดลงทันที ซึ่งมีผลทำให้โครงสร้างของเบเกอรี่นั้นยุบตัวลง
- 3) ใช้เตาอบตามกำลังความสามารถของเตา ไม่ควรบรรจุพิมพ์ที่อบมากเกินไป
- 4) เมื่อเวลาในการอบผ่านไป  $\frac{3}{4}$  ของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในสูตร เช่น ในสูตรระบุเวลาที่ใช้อบทั้งหมด 60 นาที จะสามารถเปิดเตาอบเพื่อกลับหมุนถาดให้เค้กมีสีสม่ำเสมอ หรือตรวจสอบการสุกของเค้กได้ เมื่อเวลาผ่านไปแล้ว 45 นาที
- 5) การตรวจสอบระดับความสุกของเบเกอรี่ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบหลัก สามารถ

ทำได้โดยใช้ไม้ปลายแหลมและบางจิ้มลงบริเวณกึ่งกลางของเนื้อผลิตภัณฑ์ และดึงออกมาหากไม่มีเนื้อผลิตภัณฑ์หรือของเหลวติดมาด้วย แสดงว่าผลิตภัณฑ์เบเกอรี่อบสุกดีแล้ว

6) เบเกอรี่ที่มีไขมันเป็นส่วนผสมหลักที่อบด้วยพิมพ์ และบรรจุพิมพ์แบบโลฟ หลังการอบสุกจะมีลักษณะของหน้าเนื้อขนมที่นูนซึ่งเป็นปกติ เนื่องจากพิมพ์ชนิดนี้มีความแคบและสูง จึงทำให้ส่วนผสมนั้นนูนขึ้นด้านบนของเนื้อผลิตภัณฑ์ แต่หากนูนมากเกินไปเป็นผลจากระดับความร้อนภายในเตาสูงเกินไป

7) ภายหลังจากการนำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ออกจากเตาอบ ควรตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที จึงนำเนื้อผลิตภัณฑ์ออกจากพิมพ์ และไม่ควรคว่ำทันทีเพราะจะทำให้เนื้อแตกได้ หลังจากนั้นควรวางไว้บนตะแกรงให้เย็นก่อนจะนำไปแต่งหน้าหรือบรรจุ

## 2.13 การทำมัพฟิน

มัพฟิน คือ ขนมปังชนิดหนึ่ง แต่มีวิธีการปรุงที่แตกต่างออกไป ส่วนประกอบในการทำมัพฟินที่สำคัญ คือ ผงฟู (baking powder หรือ baking soda) ซึ่งต้องไม่ใช้เวลามากในการคอยให้ขนมขึ้นฟู การขึ้นฟูขยายตัวของขนมใช้เวลาเดียวกับเวลาที่อบขนม อาจเรียกมัพฟินว่าเป็นขนมปังแบบเร่งรัดได้ ข้อสังเกตในการทำมัพฟิน จะต้องนำส่วนผสมที่เป็นของแห้งผสมกันก่อน และผสมเครื่องปรุงที่เป็นของเหลวต่างหาก และจะต้องนำส่วนผสมแห้งใส่ลงในส่วนผสมเหลวเสมอ และผสมแบ่งให้เข้ากัน ถ้ากวนแบ่งนานเกินไปจะทำให้เนื้อขนมเป็นโพรง และหน้าขนมจะขึ้นฟูไม่ได้รูปสวยงาม ไม่จำเป็นต้องให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเนียนในการทำมัพฟิน และขนมปังทำเร็วชนิดอื่น ๆ เช่น แพนเค้ก วอฟเฟิล เป็นต้น (เวนิสา โชติอรุณ, 2546)

สำหรับพิมพ์มัพฟินหรือคัพเค้กที่ต้องใส่กระทงกระดาษนั้นไม่จำเป็นต้องทาเนยในกระทงกระดาษ แต่ให้ทาเนยในพิมพ์บาง ๆ และทาที่ปากพิมพ์ด้วยเนื่องจากถ้าเนื้อขนมฟูล้นออกมา สำหรับการรองกระดาษไขที่อยู่กันพิมพ์ ต้องทาเนยขาวบนกระดาษที่รองในกันพิมพ์ด้วย เมื่อขนมสุกแล้วนำออกมาพักไว้ประมาณ 5 นาที และให้นำขนมออกจากพิมพ์ทันที อย่าปล่อยให้ขนมเย็นในพิมพ์ เพราะไอน้ำจากขนมเกาะที่กระดาษจะทำให้กันขนมแฉะ อาจมีการวางกระดาษเป็นแถบยาวขึ้นมาเกินขอบพิมพ์ โดยพับลงแนบข้างนอกพิมพ์ด้วยเพื่อใช้เป็นหูจับสำหรับยกขนมออกจากพิมพ์ได้ง่าย (เศรษฐพงศ์ เผ่าวัฒนา, 2546)

**2.13.1 อุปกรณ์และเครื่องมือพื้นฐานในการทำมัพฟิน** (นภัสรพี เหลืองสกุล และสวามินี นวลเชกุล, 2559)

- 1) เตาอบ หรือไมโครเวฟ
- 2) อ่างผสม (bowl)
- 3) ตระกร้อมือ (whisk)
- 4) พายยาง



- 5) ตะแกรงสำหรับพักขนม
- 6) ที่ร่อนแป้ง
- 7) ถาดสำหรับอบ
- 8) พิมพ์ซิลิโคน
- 9) พิมพ์ไส้มัฟฟิน
- 10) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 11) เทอร์โมมิเตอร์

### 2.13.2 มัฟฟินช็อกโกแลตชิพ (chocolate chip muffin) (นักรัฟี่ เหลืองสกุล และสวามิณี

นวลแขกุล, 2559)

#### ส่วนผสม

|                          |     |          |
|--------------------------|-----|----------|
| แป้งอเนกประสงค์          | 220 | กรัม     |
| ผงฟู                     | 1   | ช้อนโต๊ะ |
| เบกกิ้งโซดา              | 1/4 | ช้อนชา   |
| น้ำตาลทรายขาว            | 150 | กรัม     |
| เกลือป่น                 | 1/2 | ช้อนชา   |
| ไข่ไก่                   | 100 | กรัม     |
| เนยสดชนิดจืดละลาย        | 70  | กรัม     |
| ซาวร์ครีม (sour cream)   | 225 | กรัม     |
| วานิลลาชนิดน้ำ           | 1/2 | ช้อนชา   |
| ช็อกโกแลตชิพปริมาณตามชอบ |     |          |

#### วิธีทำ

- 1) ตั้งเตาอบที่อุณหภูมิไฟบน 200 องศาเซลเซียส ไฟล่าง 180 องศาเซลเซียส เตรียมไว้
- 2) ร่อนแป้งกับผงฟูและเบกกิ้งโซดาเข้าด้วยกันแล้วเทลงในอ่างผสม ใส่น้ำตาลและเกลือคนให้เข้ากัน และพักไว้
- 3) ตอกไข่ใส่ชาม ใส่น้ำมันละลายและซาวร์ครีม ใช้ตะกร้อมือคนให้เข้ากัน และใส่วานิลลาคนให้เข้ากันอีกครั้ง
- 4) เทส่วนผสมไข่ (ข้อ 3) ลงในส่วนผสมแป้ง (ข้อ 2) แล้วคนเบา ๆ ให้เข้ากัน จากนั้นจึงใส่ช็อกโกแลตชิพ (เหลือไว้บางส่วนสำหรับตกแต่ง) ผสมให้เข้ากันดี
- 5) ตักส่วนผสมที่ได้ใส่ถ้วยกระดาษในถาดมัฟฟินตกแต่งด้วยช็อกโกแลตชิพที่เหลือให้สวยงาม
- 6) นำไปอบนาน 20-25 นาที หรือจนสุกดี ยกออกจากเตา พักไว้บนตะแกรงให้อุ่นก่อนเสิร์ฟ

#### ข้อควรระวัง

- 1) ควรผสมแป้งกับส่วนผสมไข่แค่พอเข้ากัน และไม่คนมากเกินไป เพราะจะทำให้มัฟฟินมีเนื้อเหนียวและแข็ง

2) มัฟฟินที่ดีจะต้องนุ่มและมีรอยแตกตรงกลาง ดังนั้นถ้าใช้อุณหภูมิที่ต่ำเกินไปจะทำให้ มัฟฟินแบน ไม่นุ่มสวย หรืออาจใช้วิธีเปิดไฟบนให้แรง 200 องศาเซลเซียสในช่วงแรกก่อนประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นจึงลดเหลือ 80 องศาเซลเซียส เพื่อให้เท่ากับไฟล่าง แล้วอบต่อจนขนมสุก

3) ถ้าวอบบนถาดธรรมดา ไม่ใช่ถาดมัฟฟิน ให้วางเรียงห่างกันประมาณ 1 นิ้ว เพื่อให้ความร้อนกระจายเข้าสู่ขนมได้ทั่วถึง

4) การอบมัฟฟินควรอบแค่พอสุก สังเกตได้โดยใช้ไม้ปลายแหลมจิ้มลงกลางขนม ถ้าไม่มี เนื้อมัฟฟินติดขึ้นมาแสดงว่าสุกแล้ว หรืออาจใช้นิ้วสัมผัสบริเวณด้านหน้า ถ้าวอยนิ้วถูกดันกลับขึ้นมา แสดงว่าสุกแล้ว

5) มัฟฟินที่เนื้อแห้งหยาบหรือมีผิวหน้าแข็ง แสดงว่าอบนานเกินไป ควรลดเวลาลง

6) ไม่ควรเปิดเตาอบบ่อย ๆ ระหว่างที่อบ เพราะจะทำให้มัฟฟินขึ้นฟูได้ไม่ดีเท่าที่ควร แต่สามารถเปิดดูผิวขนมได้หลังจากอบแล้ว 15 นาที หรือประมาณ 2 ใน 3 ของเวลาทั้งหมด

## 2.14 การทำขนมปังไส้ชาเขียว

สำนักพิมพ์ Amarin cuisine (2561) ได้รายงานการทำไส้ชาเขียวและขนมปังนมสด ดังนี้

### ส่วนผสมของไส้ชาเขียว

|                     |      |          |
|---------------------|------|----------|
| นมข้นจืด            | 2    | ถ้วย     |
| น้ำเปล่า            | 2.5  | ถ้วย     |
| ผงชาเขียว           | 2    | ช้อนโต๊ะ |
| น้ำตาลทราย          | 0.5  | ถ้วย     |
| แป้งสาลีอเนกประสงค์ | 0.25 | ถ้วย     |

### วิธีทำไส้ชาเขียว

- 1) ผสมนมข้นจืดและน้ำเข้าด้วยกัน พักไว้
- 2) ผสมผงชาเขียว น้ำตาลทราย และแป้งสาลีเข้าด้วยกัน
- 3) ค่อย ๆ เทลงในส่วนผสมนมข้นจืด ยกขึ้นตั้งไฟกลาง คนจนแป้งเริ่มสุก

### ส่วนผสมขนมปังนมสด

|                                   |       |        |
|-----------------------------------|-------|--------|
| แป้งสาลีสำหรับทำขนมปัง            | 260   | กรัม   |
| แป้งสาลีชนิดพิเศษ (แป้งตราบัวแดง) | 110   | กรัม   |
| นมผง                              | 15    | กรัม   |
| ยีสต์                             | 1 3/4 | ช้อนชา |
| น้ำเปล่า                          | 75    | กรัม   |
| นมสดรสจืด                         | 110   | กรัม   |
| น้ำตาลทราย                        | 165   | กรัม   |

|                                     |       |        |
|-------------------------------------|-------|--------|
| เกลือป่น                            | 3/4   | ช้อนชา |
| ไข่ไก่เบอร์ 2                       | 1     | ฟอง    |
| เนยสดชนิดเค็มหั่นสี่เหลี่ยมเต๋าเล็ก | 60    | กรัม   |
| เอสพี                               | 1 1/4 | กรัม   |
| เนยขาวสำหรับทาพิมพ์                 |       |        |
| นมสดรสจืดสำหรับทาขนมปังก่อนอบ       |       |        |
| เนยสดชนิดเค็มสำหรับทาขนมปังหลังอบ   |       |        |

#### วิธีนวดแป้ง

- 1) ร่อนแป้งทั้งสองชนิดกับนมผงเข้าด้วยกัน
- 2) ใส่ยีสต์ น้ำตาลทราย และเกลือลงในโถผสม คลุกเคล้าพอเข้ากันด้วยความเร็วต่ำสุด
- 3) ใส่ น้ำ นมสด และไข่ไก่ลงไป นวดผสมสักครู่จนส่วนผสมเข้ากันดี
- 4) ใส่เอสพี และเนยสดลงนวดต่อจนแป้งเนียน ตัดแป้งซึ่งน้ำหนักให้ได้ก้อนละ 30 กรัม

คลึงให้เป็นก้อนกลม เตรียมไว้

#### ส่วนผสมขนมปังไส้ชาเขียว

|                                   |    |      |
|-----------------------------------|----|------|
| ขนมปังนมสด                        | 40 | กรัม |
| ไส้ชาเขียว                        |    |      |
| เนยขาวสำหรับทาพิมพ์               |    |      |
| นมสดรสจืดสำหรับทาขนมปังก่อนอบ     |    |      |
| เนยสดชนิดเค็มสำหรับทาขนมปังหลังอบ |    |      |

เตรียมเปิดเตาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ไฟบน-ล่าง และทาเนยขาวในพิมพ์สำหรับอบบาง ๆ เตรียมไว้ จากนั้นขึ้นรูปขนมปัง โดยใช้ไม้คลึงแป้งให้เป็นแผ่นกลม ตักส่วนผสมไส้ชาเขียว ใส่ลงไปประมาณ 1 ช้อนโต๊ะ รวบขอบแป้งทั้งหมดเข้าด้วยกัน และบีบเก็บตะเข็บแป้งให้แน่น วางลงในพิมพ์ที่ทาเนยขาวไว้

นอกจากนี้มียางงานสูตรและวิธีการทำขนมปังและ ขนมปังไส้ชาเขียว ดังนี้

#### ส่วนผสมขนมปัง (บริษัท สำนักพิมพ์แม่บ้าน จำกัด, 2560)

|                              |       |          |
|------------------------------|-------|----------|
| แป้งขนมปัง                   | 500   | กรัม     |
| แป้งเค้ก                     | 80    | กรัม     |
| สารเสริมคุณภาพสำหรับทำขนมปัง | 1 1/2 | ช้อนชา   |
| ผงวานิลลา                    | 1     | ช้อนโต๊ะ |
| ยีสต์ผง                      | 2     | ช้อนชา   |
| ไข่ไก่                       | 1     | ฟอง      |
| ไข่แดง                       | 2     | ฟอง      |

|                 |     |        |
|-----------------|-----|--------|
| น้ำตาลทราย      | 140 | กรัม   |
| เกลือป่นละเอียด | 2   | ช้อนชา |
| นมข้นจืด        | 50  | กรัม   |
| น้ำเย็นจัด      | 150 | กรัม   |
| นมสดชนิดเค็ม    | 100 | กรัม   |

#### วิธีทำขนมปัง

1) ร่อนแป้งขนมปัง แป้งเค้ก สารเสริมคุณภาพ และผงวานิลลา เข้าด้วยกันลงในอ่างผสม ใส่ยีสต์ผง คนให้เข้ากัน เทใส่ลงในเครื่องผสม

2) ผสมไข่ไก่ ไข่แดง น้ำตาลทราย เกลือป่น นมข้นจืด และน้ำเย็นจัด คนให้ละลายเข้ากันดี เทใส่ลงในอ่างผสมแป้ง ใช้หัวตีตะขอนวดด้วยความเร็วปานกลาง จนกระทั่งแป้งรวมตัวเป็นก้อน

3) ใส่แป้งที่หมักไว้ นวดพอเข้ากันดี เติมนมสด นวดต่อจนแป้งที่มีลักษณะเนียน นำออกมาคลึงเป็นก้อนกลม ใช้ภาชนะคลุมแป้ง พักไว้ประมาณ 5-10 นาที แล้วจึงนำไปตัดแบ่งเป็นก้อน ใส่ใส่ขึ้นรูปทรงต่อไป

#### สูตรขนมปังไส้ชาเขียว

|                                                     |     |          |
|-----------------------------------------------------|-----|----------|
| ขนมปังสูตรข้างบน                                    | 1   | สูตร     |
| ผงคัสตาร์ดสำเร็จรูป                                 | 300 | กรัม     |
| ผงชาเขียว                                           | 3   | ช้อนโต๊ะ |
| นมสดแช่เย็นจัด                                      | 750 | กรัม     |
| น้ำตาลไอซิ่ง                                        | 10  | ช้อนโต๊ะ |
| เนยสดชนิดเค็มละลาย                                  | 100 | กรัม     |
| นมข้นจืดผสมน้ำเปล่าเล็กน้อย สำหรับทาผิวขนมปังก่อนอบ |     |          |
| เนยสดชนิดเค็ม สำหรับทาผิวขนมปังหลังอบ               |     |          |
| เนยขาวสำหรับทาถาด                                   |     |          |

#### วิธีทำขนมปังไส้ชาเขียว

1) ใส่ผงคัสตาร์ด ผงชาเขียว และน้ำตาลไอซิ่งลงในเครื่องผสม เติมนมสด ใช้หัวตะกร้อตีด้วยความเร็วสูงสุดของเครื่องจนส่วนผสมเริ่มข้น เติมนมสด ตีต่อจนขึ้น ตักใส่ภาชนะ ชั่งก้อนละ 40 กรัม

2) ตัดแบ่งแป้งขนมปังออกเป็นก้อน หนักก้อนละ 50 กรัม คลึงเป็นก้อนกลม คลุมด้วยถุงพลาสติก พักไว้ประมาณ 5 นาที

3) แผ่แป้งออก ใส่ไส้ ม้วนเข้ามาให้มิดไส้ แบ่งส่วนที่เหลือตัดเป็นเส้น จับแป้งแต่ละเส้นทับแป้งที่ม้วนไว้ วางบนถาดอบที่ทาด้วยเนยขาว แล้วใช้ถุงพลาสติกคลุมพักไว้จนขึ้นฟูเป็น 2 เท่า

4) ทานมข้นจืดบนผิวขนมปังพอทั่ว นำเข้าอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ประมาณ 20-

25 นาที หรือจนสุกเหลือง นำออกจากเตาอบ แซะออกจากถาด วางพักบนตะแกรง ทาเนยสดบาง ๆ พอทั่ว

## 2.15 การทำขนมปังหวานปลอดกลูเตน

จันทร์เจิดฉาย สังเกตกิจ และคณะ (2559) ได้รายงานวิจัยการศึกษาการทำขนมปังหวานปลอดกลูเตน โดยนำแป้งข้าวหอมมะลิที่ผ่านการคัดเลือกและใช้แทนแทนกันเป็นสารยึดเกาะ ดังแสดงในสูตรในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ส่วนผสมขนมปังหวานปลอดกลูเตนจากแป้งข้าวหอมมะลิ

| ส่วนผสม (ร้อยละ)                 | น้ำหนัก (กรัม) |
|----------------------------------|----------------|
| แป้งหอมมะลิ                      | 70-80          |
| แป้งมันสำปะหลัง                  | 20-30          |
| แซนแทนกัม                        | 2              |
| น้ำตาลทราย                       | 15             |
| เกลือ                            | 1              |
| ยีสต์                            | 2              |
| นมผง                             | 5              |
| ไข่ไก่                           | 10             |
| น้ำ                              | 75             |
| น้ำมันปาล์มที่ปราศจากไขมันทรานส์ | 15             |

### วิธีการทำขนมปังหวาน

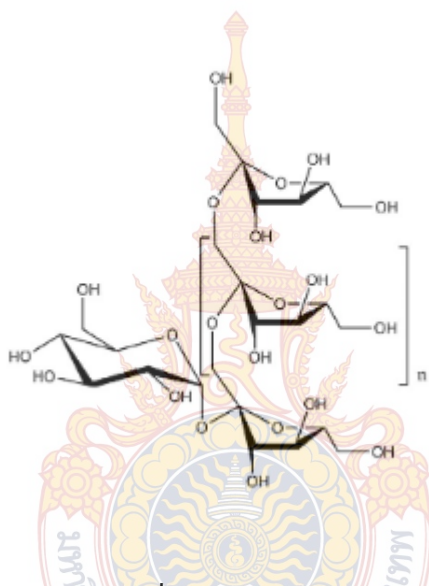
- 1) ใส่แซนแทนกัมลงในอ่างผสมพร้อมน้ำส่วนหนึ่ง ตีด้วยใบพายให้ละลาย
- 2) ใส่ไข่ลงในอ่างผสมตีให้เข้ากัน แล้วใส่เกลือ น้ำตาล และน้ำมันลงไปลงในอ่างผสม ตีให้เป็นเนื้อเดียวกัน
- 3) นำแป้งข้าวหอมมะลิที่มียีสต์ นมผง ผสมให้เข้ากัน ใส่ลงไปในอ่างผสม ค่อย ๆ เติมน้ำที่เหลือลงไปสลับกับแป้ง
- 4) ตีให้เนื้อแป้งขนมปังมีลักษณะเนียนเป็นของเหลวข้น (better)
- 5) ตักใส่ลงในพิมพ์ขนมปังที่ทาเนยขาวบาง ๆ 400 กรัมต่อพิมพ์
- 6) หมักโดประมาณ 45 นาที จนโดเกือบโตเต็มพิมพ์
- 7) นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ประมาณ 30-40 นาที จนขนมปังสุกเหลือง นำออกจากเตา
- 8) นำขนมปังออกจากพิมพ์ พักให้เย็นบนตะแกรง



## 9) นำขนมปังใส่บรรจุภัณฑ์ ปิดให้สนิท

### 2.16 ซูโครส (sucrose)

ซูโครส หรือน้ำตาลทราย เป็นสารเคมีที่มีในธรรมชาติ มีสูตรโมเลกุล  $C_{12}H_{22}O_{11}$  มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 342 เป็นส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (คาร์บอน 6 อะตอม) 2 โมเลกุล คือ น้ำตาลกลูโคส ( $C_6H_{12}O_6$ ) และน้ำตาลฟรักโทส ( $C_6H_{12}O_6$ ) ไม่มีสี และมีลักษณะโปร่งแสง แหล่งของน้ำตาลซูโครสในธรรมชาติที่รู้จักกันดีและมีจำนวนมาก พบมากในพืช เช่น อ้อย และหัวผักกาดหวาน (beet root) (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2549) มีทั้งน้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลทรายไม่ฟอกสี เช่น น้ำตาลทรายแดง น้ำตาลทรายสีรำ และน้ำตาลอ้อย ธรรมชาติ เป็นต้น สำหรับน้ำตาลทรายขาวมีเม็ดเล็กละเอียด ละลายน้ำง่าย และใช้ทำขนมมีสีสวย นิยมใช้ในการทำเบเกอรี่ ขนมไทยทุกชนิด และขนมในน้ำเชื่อมต่าง ๆ โดยมีสูตรโครงสร้างของซูโครส ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของซูโครส

ที่มา : Mensink, Frijlink, van der Voort Maarschalk, and Hinrichs (2015)

ซูโครสจัดว่าเป็นวัตถุดิบที่สำคัญมากในอุตสาหกรรมอาหาร นอกจากจะเป็นสารให้ความหวานแล้ว ยังมีหน้าที่อื่น ๆ ที่สารอื่นทดแทนไม่ได้ เพราะซูโครสมีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น ความหนืด ความแวววับ เป็นต้น ในอุตสาหกรรมใช้ซูโครสเพื่อเป็นสารให้ความหวาน (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2549)

สมบัติทางฟิสิกส์ของซูโครส (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2552)

1) สารให้ความหวาน ซูโครสเป็นสารที่ทำให้เกิดรสหวานกับประสาทสัมผัส น้ำตาลซูโครสมีความหวาน 100 หน่วย

- 2) ความหนาแน่นของสารละลายซูโครส ความหนาแน่นของสารละลายที่เติมน้ำตาลลงไปมีความสำคัญในการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต การคำนวณการถ่ายเทความร้อน น้ำหนักที่ไหลผ่าน ฯลฯ ต้องอาศัยค่าความหนาแน่นเป็นปัจจัยทั้งสิ้น
- 3) การเกิดสี เมื่อเคี้ยวสารละลายซูโครสจนมีความเข้มข้นสูงด้วยความร้อน จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีที่เรียกว่า น้ำตาลไหม้ (caramelization) ซึ่งใช้ในการปรุงแต่งสีของอาหารบางชนิด
- 4) จุดเดือดที่เพิ่มขึ้นของสารละลายในอาหารที่มีส่วนผสมของซูโครสจะมีจุดเดือดเพิ่มขึ้น จุดเดือดที่เพิ่มขึ้นมีความสำคัญต่อการออกแบบกระบวนการผลิตโดยเฉพาะกระบวนการให้ความร้อน
- 5) การละลายตัวของซูโครส การละลายของซูโครสจะเป็นงานหลักของการปฏิบัติในอุตสาหกรรม เนื่องจากการรับซื้อซูโครสในรูปผลึก ก่อนใช้ต้องนำมาละลาย มีการเติมน้ำและให้ความร้อน
- 6) แรงตึงผิว แรงตึงผิวในอาหารเป็นการทำให้เกิดฟองและเป็นสมบัติที่สำคัญในการออกแบบระบบกวน และระบบขนถ่ายต่าง ๆ
- 7) ความหนืด การที่สารละลายซูโครสมีความหนืดสูง จึงทำให้การแพร่กระจายตัวของอากาศ หรือออกซิเจนเป็นไปได้ช้า จึงเป็นการป้องกันการเกิดออกไซด์ หรือสนิมของภาชนะที่สัมผัส
- 8) ความสามารถในการหยุดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การเติมน้ำตาลทรายมาก ๆ ในอาหาร เช่น อาหารเชื่อมต่าง ๆ หน้าที่ของน้ำตาลทรายนอกจากจะให้ความหวานแล้ว ยังทำหน้าที่ลดความอริสระของน้ำ เพิ่มแรงดันออสโมติก และลดค่าความอริสระของน้ำ (water activity,  $a_w$ ) ปกติค่า  $a_w$  จะมีค่าเท่ากับ 1.0 และจะเริ่มลดลงเมื่อตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์จะเจริญได้จำกัดในช่วง  $a_w$  ต่ำ

## 2.17 สารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ขนมอบ (Colla, Costanzo, and Gamlath, 2018)

สมาคมนักกำหนดอาหารแห่งสหรัฐอเมริกา (American Dietetic Association) กำหนดไว้ว่า ส่วนประกอบที่สามารถนำมาใช้เพื่อให้งานของไขมันบางส่วนหรือทั้งหมด ให้พลังงานน้อยกว่าไขมัน ผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้สารทดแทนไขมัน เช่น ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์ขนมอบ นักพัฒนาผลิตภัณฑ์และนักเทคโนโลยีทางอาหารเข้าใจว่า สารทดแทนไขมันที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสและทางกายภาพของขนมขบเคี้ยว อย่างไรก็ตาม เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางเลือกที่ดีต่อคุณภาพ ยกตัวอย่างเช่น เค้กที่มีไขมันสามารถมีส่วนช่วยในการทำให้เพิ่มความนุ่มโดยการมีโพรงอากาศในระหว่างกระบวนการเกิดครีมและการอบ เนื่องจากสารให้ความคงตัว แป้ง และการแข็งตัวของโปรตีนไข่ โดยทั่วไปจะใช้ไขมันเพื่อให้เกิดการหล่อลื่นและเคลือบเม็ดแป้งเพื่อป้องกันการดูดซึมน้ำและการพัฒนาแป้งและกลูเตนเพื่อให้ได้เนื้อร่วนและนุ่ม ไขมันยังมีความสำคัญในการทำให้เค้ก ขนมปังกรอบ และแครกเกอร์ มีรสชาติและอายุการเก็บนาน โดยการชะลอการดูดซึมน้ำด้วยเม็ดแป้ง สารทดแทนไขมันอาจเป็น

ส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน หรือแหล่งไขมัน โดยมีสารทดแทนไขมันหลายชนิดที่มีโครงสร้างและหน้าที่ต่างกันอย่างในในแต่ละกลุ่ม โดยจัดหมวดหมู่สารทดแทนไขมัน ดังนี้

1) คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน เป็นสารทดแทนไขมันที่มีความสามารถในการจับน้ำในรูปแบบของการวาง ซึ่งสามารถเลียนแบบเนื้อสัมผัสของความหนืดของไขมันในผลิตภัณฑ์อาหาร และให้สมบัติการหล่อลื่นหรือการไหลคล้ายกับไขมันในระบบอาหารบางชนิด ตัวอย่างสารทดแทนไขมันจากคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ อินูลิน มอลโทเดกซ์ทริน และเส้นใยพืช เป็นต้น สรุปการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของสารทดแทนไขมันกลุ่มคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนในผลิตภัณฑ์ขนมอบ ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** Summary of quality changes of complex carbohydrate fat replacers in baked food products

| Fat Replacer   | Food(s)                                                                                                                    | FR Tested | Quality Changes                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Inulin         | Legume Cracker<br>(Colla and Gamlath, 2015)                                                                                | 25–100%   | Physical: ↓ cell density, $a_w$ , volume; ↑ breaking strength, dough consistency, moisture, crumb density, firmness, springiness; NSC cohesiveness                                                                                                 |
|                | Cake<br>(Rodríguez-García <i>et al.</i> , 2012)                                                                            | 9.3–50%   | Sensory: ↓ buttery flavor, crumbliness, acceptance (100% FR), embrowning                                                                                                                                                                           |
|                | Biscuit<br>(Błońska, Marzec, and Błaszczuk, 2014; Rodríguez-García, <i>et al.</i> , 2013; Krystyjan, <i>et al.</i> , 2015) | 35–100%   | (muffin: 50%), open surface, arched shape, typical smell, sweetness, typical taste; ↑ toasted flavor, chewiness, adhesiveness, springiness (100% FR), crispiness, crunchiness, dryness, toughness hardness, glossiness; NSC acceptance (50–75% FR) |
|                | Muffin<br>(Zahn, Pepke, and Rohm, 2010)                                                                                    | 50–100%   |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Lupine Extract | Biscuit<br>(Forker, Zahn, and Rohm, 2012)                                                                                  | 30–40%    | Physical: ↓ volume, lightness; ↑ breaking strength, dough consistency, $a_w$ , moisture<br>Sensory: ↓ sweetness; ↑ firmness, dryness, chewing time, roasted flavor                                                                                 |

| Fat Replacer     | Food(s)                                                              | FR Tested | Quality Changes                                                                                                                                |
|------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Maltodextrin     | Biscuit<br>(Forker <i>et al.</i> , 2012; Sudha <i>et al.</i> , 2007) | 30–40%    | Physical: ↓ volume, spread ratio; ↑ breaking strength, dough consistency, $a_w$ , moisture, cohesiveness, chewiness; NSC hardness, springiness |
|                  | Legume Cracker (Colla, and Gamlath, 2015)                            | 25–100%   | Sensory: ↓ sweetness, overall flavor, aroma, color, appearance, texture, taste, flavor, overall acceptance                                     |
|                  | Muffin<br>(Khouryieh, Aramouni, and Herald, 2005)                    | 66%       | (muffin); ↑ firmness, dryness, chewing time; NSC acceptance (legumes cracker: 50–75% FR), mouthfeel                                            |
|                  | Croissant<br>(Shouk, and El-Faham, 2005)                             | 25–100%   |                                                                                                                                                |
|                  |                                                                      |           |                                                                                                                                                |
|                  |                                                                      |           |                                                                                                                                                |
| Corn Fibre       | Biscuit<br>(Forker <i>et al.</i> , 2012)                             | 30–40%    | Physical: ↓ volume; ↑ breaking strength, dough consistency, $a_w$ , moisture<br>Sensory: ↓ sweetness; ↑ firmness, dryness, chewing time        |
| Rice Starch      | Biscuit<br>(Lee, and Puligundla, 2016)                               | 20%       | Physical: ↓ volume, height (muffins); ↑ thickness (biscuit)                                                                                    |
|                  | Muffin<br>(Lee, and Puligundla, 2016)                                | 20%       | Sensory: NSC all sensory qualities                                                                                                             |
| Resistant Starch | Biscuit<br>(Rodríguez-García <i>et al.</i> , 2012)                   | 40%       | Physical: ↓ hardness; ↑ spread ratio                                                                                                           |
| Polydextrose     | Biscuit<br>(Sudha <i>et al.</i> , 2007; Zoulías,                     | 11.5–50%  | Physical: ↑ hardness, brittleness, $a_w$ , breaking strength; ↓ penetration distance, spread ratio                                             |

| Fat Replacer | Food(s)                     | FR Tested | Quality Changes                                                                          |
|--------------|-----------------------------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|              | Oreopoulou, and Tzia, 2002) |           | Sensory: ↑ hardness, ↓ overall flavor, appearance, texture, taste, acceptance, NSC color |

$a_w$ : Water activity

FR: Fat replacement

NSC: No significant change

↓: decrease

↑: increase.

From: Colla, Costanzo, and Gamlath (2018)

2) กัม (gum) หรือเจล (gel) คล้ายกับคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน โดยจะจับกับน้ำเพื่อสร้างเจลเลียนแบบเนื้อสัมผัสและความหนืดของไขมัน กัมและเจลบางตัวประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนแต่ไม่เฉพาะเจาะจง เนื่องจากมีโปรตีนและไขมันเป็นส่วนประกอบของกัมและเจลบางส่วน ตัวอย่างกัมและเจลที่เป็นสารทดแทนไขมัน ได้แก่ เพกทิน (pectin) โอลีโอเจล (oleogels) และเวย์โปรตีน

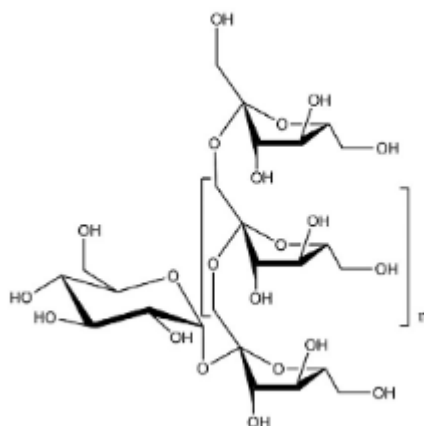
3) อาหารทั้งหมดเป็นเมทริกซ์อาหารที่สมบูรณ์หรือบางส่วนที่รวมอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นตัวแทนไขมัน มีการใช้ประโยชน์จากอาหารทั้งหมด เช่น ผลไม้ ผัก พืชตระกูลถั่ว หรือส่วนผสมของธัญชาติเป็นสารทดแทนไขมัน เนื่องจากเนื้อสัมผัสมีเนื้อครีมสูงเมื่อนำไปทอดหรือแปรรูป เช่น อะโวคาโด เนื่องจากมีองค์ประกอบของไขมัน กล้วยมีปริมาณแป้งสูง และพืชตระกูลถั่วที่มีแป้งและโปรตีนสูง

4) การรวมตัวกันของสารทดแทนไขมันข้างต้น ซึ่งมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสหลายประการของไขมันในอาหาร นอกจากนี้ในรูปแบบการรวมตัวกันเชิงซ้อนทำให้เกิดลักษณะบางอย่าง เช่น การเกิดอิมัลชัน และเอสอเทอร์ ซึ่งอาจมีผลแทนที่ไขมันมากกว่าผลรวมของส่วนของสารทดแทนไขมัน

## 2.18 อินูลิน

อินูลิน (Inulin) หรือฟรักแทน (fructan) เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ที่สามารถละลายน้ำได้ และมีความคงตัวที่อุณหภูมิสูง โดยทำหน้าที่เป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตให้กับพืช พบในพืชมากกว่า 36,000 ชนิด เช่น chicory root เห็ด หัวหอม หัวกระเทียม กล้วย เป็นต้น โครงสร้างของอินูลินประกอบด้วยฟรักโทสร้อยละ 80 และกลูโคสร้อยละ 20 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -(2-1) ที่มีความยาวตั้งแต่ 2-60 หน่วย (ภาพที่ 3) โดยทั่วไปอินูลินมีขนาดโครงสร้างพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) ประมาณ 10 (ส่วนค่า DP ของ fructo-oligosaccharide โดยทั่วไปเท่ากับ 4)





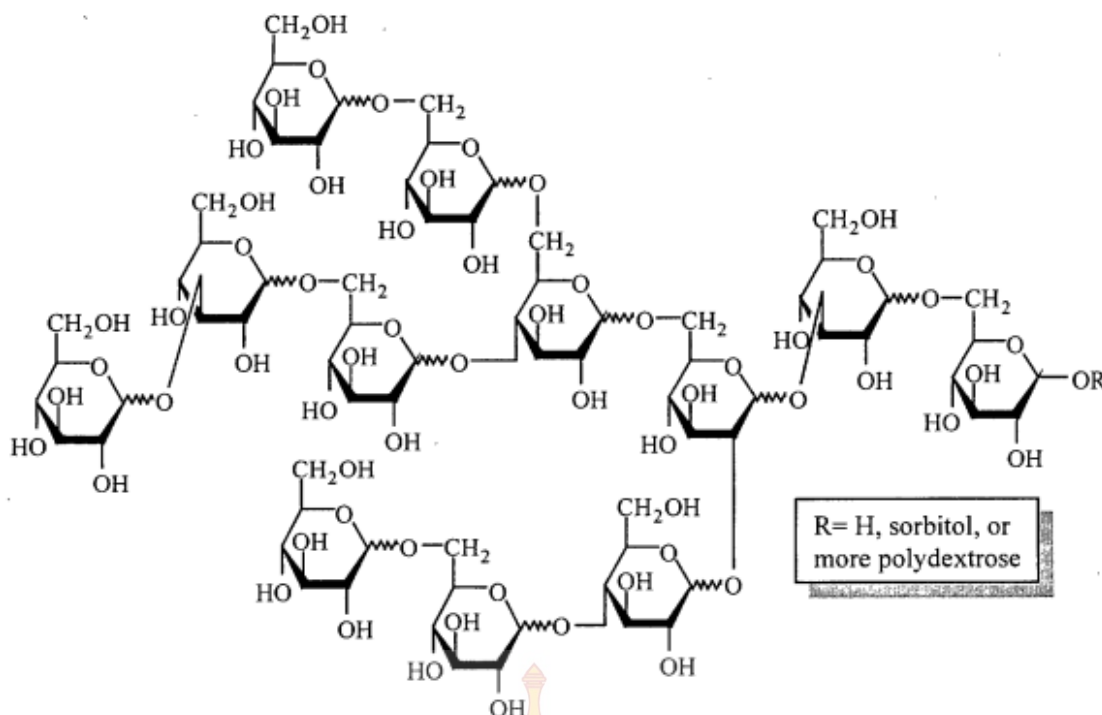
ภาพที่ 3 โครงสร้างของอินูลิน

ที่มา : Mensink, Frijlink, van der Voort Maarschalk, and Hinrichs (2015)

และโครงสร้างจะมีโอลิโกฟรุกโทส (oligofructose) ประกอบอยู่เป็นโครงสร้างกลุ่มย่อย (สุพจน์ นวลละออง, 2552) ดังนี้  $[1\text{--d-Fruf-(2}\rightarrow\text{)]}_n\text{(Main)-d-Glcp-(1}\leftrightarrow\text{2)-d-Fruf}$  อินูลินจะไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็กแต่จะถูกหมักโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ ได้เป็นกรดไขมัน สายสั้น และกระตุ้นการเจริญเติบโตเฉพาะแบคทีเรียที่มีประโยชน์ เช่น bifidobacteria, lactobacilli และ eubacteria โดยจะไม่ให้ประโยชน์แก่แบคทีเรียก่อโรค bifidobacteria นั้นมีความสามารถในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในมนุษย์ได้และสามารถลดอันตรายจากจุลินทรีย์ก่อโรคและโรคในลำไส้ได้ทั้งในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการและในระดับสัตว์ทดลอง (ดวงใจ แก้วจัน, 2558)

## 2.19 พอลิเดกซ์โทรส

Litesse® เป็นพอลิเดกซ์โทรส (polydextrose) ทางการค้าชนิดหนึ่ง มีโครงสร้างของกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก โดยส่วนใหญ่จะเป็นชนิด  $\alpha$ -1,6 สามารถผลิตโดยใช้กรดซิตริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันที่อุณหภูมิสูงโดยใช้สบูญากาศบางส่วนร่วมด้วย และใช้ซอร์บิทอลเป็น plasticizer โดยมีอัตราส่วนกลูโคส: ซอร์บิทอล: กรดซิตริกเป็น 89: 10: 1 ดังแสดงในภาพที่ 4 มี DP ประมาณ 12 มีน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย 2,000 (Figdor และ Bianchine, 1983; Craig และคณะ, 1998) เป็นพรีไบโอติกที่ไม่ถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในร่างกายมนุษย์ มีค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 2.5-3.5 สามารถละลายน้ำได้ร้อยละ 70-80 โดยน้ำหนัก ด้วยค่าพีเอช 5.0-6.0 ให้พลังงานต่ำ 1 กิโลแคลอรีต่อกรัม หรือปริมาณร้อยละ 25 ของน้ำตาลกลูโคส พอลิเดกซ์โทรสไม่มีกลิ่น ไม่มีรสหวาน และสามารถละลายน้ำได้สูง และมีความหนืดสูงเมื่อละลายน้ำ ทำให้เกิดลักษณะเป็นครีมและมีความรู้สึกในปากคล้ายไขมัน (Chung and Min, 2000)



ภาพที่ 4 โครงสร้างของพอลิเดกซ์โทรส

ที่มา: Veena, Surendra, and Arora (2016)

พอลิเดกซ์โทรสสามารถใช้เป็นสารทดแทนน้ำตาล เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นสารทดแทนไขมัน เพื่อลดปริมาณพลังงานที่ได้รับ (Figdor และ Bianchine, 1983; Chung and Min, 2000) และมีสมบัติเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) และขับออกจากร่างกายร่วมกับอุจจาระ แต่บางส่วนจะเกิดการหมักในลำไส้ใหญ่ พร้อมกับผลิตกรดไขมันที่ระเหยได้และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Craig *et al.*, 1998) เมื่อรับประทานพอลิเดกซ์โทรส 12-15 กรัมต่อวัน จะช่วยเพิ่มมวลและลดระยะเวลาการเคลื่อนตัวของอุจจาระ ช่วยให้อุจจาระนิ่มและมีพีเอชต่ำ ยับยั้งการผลิตสารก่อมะเร็ง เช่น indole และ p-cresol ช่วยกระตุ้นการเจริญของแบคทีเรียในลำไส้ และมีผลเป็นยาระบาย เมื่อรับประทานเกินมากกว่า 90 กรัมต่อวัน ผลิตภัณฑ์ที่บรรจุพอลิเดกซ์โทรสมากกว่า 15 กรัมต่อ 1 หน่วยบริโภค (g/ 1 serving) จะต้องระบุไว้ในฉลาก เช่น *Lactobacillus* และ *Bifidobacterium* spp. ในขณะที่จำนวนจุลินทรีย์ *Bacteroides* spp. ลดลง (Endo *et al.*, 1991; Jie *et al.*, 2000) ในหลายประเทศมีการใช้พอลิเดกซ์โทรสเป็น bulking agent ในผลิตภัณฑ์อาหาร เพื่อช่วยเก็บรักษาความชื้น ให้ลักษณะเนื้อสัมผัส ซึ่งใช้ได้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์นม น้ำสลัด ซอส น้ำเชื่อม frozen dessert, spread พุดดิ้ง ผลิตภัณฑ์ขนมอบ ลูกกวาด ผลิตภัณฑ์เนื้อ หมากฝรั่ง ใช้เป็นส่วนผสมของเค้ก คุกกี้ ครีม หรือน้ำตาลที่ใช้แต่งหน้าเค้ก เป็นต้น (The American Dietetic Association, 1998; Chung and Min, 2000)

## 2.20 ประโยชน์ของพรีไบโอติก

สารประกอบที่เป็นพรีไบโอติก ได้แก่ โอลิโกฟรักโทส พอลิเดกซ์โทรส แต่สารประกอบเหล่านี้มีปริมาณน้อยในอาหารที่มนุษย์บริโภค การบริโภคสารประกอบเหล่านี้จะมีผลต่อระบบทางเดินอาหารโดยช่วยเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ ป้องกันโรคท้องร่วง ลดการติดเชื้อ ป้องกันโรคมะเร็งในลำไส้ ป้องกันโรคท้องผูกโดยช่วยเพิ่มมวลอุจจาระ ลดปริมาณก๊าซที่เกิดจากการหมักของจุลินทรีย์ในลำไส้ ช่วยเพิ่มการดูดซึมแคลเซียมจึงช่วยป้องกันโรคกระดูกพรุน มีสมบัติเป็นเส้นใยอาหาร ให้พลังงานต่ำเหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ช่วยกระตุ้นการเผาผลาญไขมันให้เป็นกรดไขมันสายสั้น ช่วยป้องกันโรคอ้วนและโรคหัวใจ (Endo *et al.*, 1991; Jie *et al.*, 2000; Franck and Coussement, 2001; Mussatto and Mancilha, 2007)

ในอุตสาหกรรมอาหารสามารถนำพรีไบโอติกไปใช้ประโยชน์ได้มากในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์นม เครื่องดื่ม เบเกอรี่ อาหารเด็ก ธัญพืช ลูกกวาด ซุป ซอส salad dressings, biscuits, table spreads และ snack bars (Manning และ Gibson, 2004) ในขณะที่จุลินทรีย์พรีไบโอติกส่วนใหญ่มักนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์นม นอกจากนั้นยังมีการใช้จุลินทรีย์พรีไบโอติกร่วมกับพรีไบโอติกในผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น โยเกิร์ต ซึ่งช่วยทำให้มีประโยชน์มากขึ้น คือ พรีไบโอติกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์พรีไบโอติก (Sveje, 2008) การใช้จุลินทรีย์พรีไบโอติกและพรีไบโอติกร่วมกัน เรียกว่า “synbiotic” ซึ่งโยเกิร์ตส่วนใหญ่ในตลาดของญี่ปุ่น ออสเตรเลีย ยุโรป และสหรัฐอเมริกา มีการเติมจุลินทรีย์พรีไบโอติกร่วมกับพรีไบโอติก (Shah, 2007)



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 อินูลินสายกลาง (Orafti®GR, Tienen, Belgium) มี DP อยู่ระหว่าง 2-60 (DP เฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 10) ประกอบด้วยอินูลินมากกว่าร้อยละ 90 กลูโคสและฟรักโทสน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 4 และซูโครสน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 8 ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ดีพีโอ (ประเทศไทย) จำกัด

3.1.2 พอลิเดกซ์โทรส (polydextrose) (Litesse®, Danisco, Singapre Pte Ltd.) ประกอบด้วยพอลิเมอร์มากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 90 มี 1,6 anhydro-D-glucose น้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 4 กลูโคสน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 4 ซอร์บิทอลน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 2 และความชื้นน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 4 น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 22,000 ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ราม่า โปรดักชั่น จำกัด

3.1.3 โปรตีนถั่วเหลืองและแซนแทนกัม ซื้อมาจากตัวแทนจำหน่ายบริษัท เคมีภัณฑ์ จำกัด

3.1.4 วัตถุดิบต่าง ๆ สำหรับทำมัพฟินปลอดกลูเตนซื้อมาจากซูเปอร์มาร์เก็ตในกรุงเทพมหานคร

- |                                     |                                                     |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 1) แป้งสาลีอเนกประสงค์ (ปลอดกลูเตน) | ตราไวท์ วิงส์ บริษัท แมนฟิลล์ จำกัด                 |
| 2) ผงฟู สูตรดับเบิลแอ็คติ้ง         | ตราเบสท์ฟู้ดส์ บริษัท ยูนิลีเวอร์ จำกัด             |
| 3) เกลือป่น                         | ตราปรุ้งทิพย์ บริษัท อุตสาหกรรมเกลือบริสุทธิ์ จำกัด |
| 4) น้ำตาลอ้อยธรรมชาติ               | ตรามิตรผล บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด                 |
| 5) อัลมอลด์ (almond)                | ตรามายซ้อยส์ บริษัท เซ็นทรัล ฟู้ด รีเทล จำกัด       |
| 6) กะทิ                             | ตราอรอยดี บริษัท ไทย อกริ ฟู้ดส์ จำกัด              |
| 7) น้ำมันรำข้าว                     | ตราเนเชอรัล บริษัท ลำสูง (ประเทศไทย) จำกัดมหาชน     |
| 8) แป้งข้าวโพด                      | ตราแม็กกาแรต บริษัท เจอาร์ เอฟ แอนด์ บี จำกัด       |
| 9) น้ำมันถั่วเหลือง (สูตรเจ)        | ตราไวตามิลค์ บริษัท กรีนสปอต จำกัด                  |
| 10) ชาเขียวญี่ปุ่นชนิดผง            | ตราโอโต เอ็น บริษัท โอโต เอ็น จำกัด ประเทศญี่ปุ่น   |
| 11) แป้งมันสำปะหลัง                 | ตราใบหยก บริษัท บางกอกอินเตอร์ฟู้ด จำกัด            |
| 12) น้ำตาลทรายแดง                   | ตราวังขนาย บริษัท อุตสาหกรรมน้ำตาล ที.เอ็น. จำกัด   |

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

##### 3.2.1 อุปกรณ์

- 1) ตะแกรงร่อนแป้ง

- 2) อ่างผสมสแตนเลส ตราหัวม้าลาย บริษัท เสถียรสแตนเลสสตีล จำกัด
- 3) ทัพพี ตราโอฮาอุส บริษัท OHAUS Instruments (เชียงใหม่) จำกัด
- 4) ถ้วยสแตนเลส ตราหัวม้าลาย บริษัท เสถียรสแตนเลสสตีล จำกัด
- 5) พายไม้และพายพลาสติก
- 6) หม้อสแตนเลส
- 7) พิมพ์สำหรับใส่แม่พิมพ์และใส่ขนม
- 8) ถังมือกัณร่อน

### 3.2.2 เครื่องมือ

- 1) เครื่องชั่งดิจิตอล 3 (3 digital scales, Ohaus, Valor 1000)
- 2) เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง (4 digital scales, Sartorius ED 224S, Germany)
- 3) หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave, HICLAVE HVE- 50, Japan)
- 4) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH meter, Schott Lab 850, Germany)
- 5) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA.XT plus)
- 6) รีแฟรกโตมิเตอร์แบบถือ (hand refractometer, Atago, 2373 WO5, Japan)
- 7) ตู้อบลมร้อน (hot air oven, Memmert, UN 450, Germany)
- 8) เตาเผา (muffle furnace, Carbolite, CWF 1200, England)
- 9) ตู้เย็น (refrigerator, WRN-57HGG3, Korea)
- 10) เตาอบ (oven, Sveba Dahin) บริษัท สากลภัณฑ์ แมชินเนอรี่ จำกัด
- 11) เครื่องปั่น (blender)
- 12) แช่เยือกแข็ง (freezer)
- 13) เครื่องผสมแป้ง (flour mixer)
- 14) เตาไมโครเวฟ (microwave, Samsung, GME711K)
- 15) เครื่องวัดสี (colorimeter, Hunter lab, ColorQuest XE)
- 16) เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี (Novasina, Labmaster.  $a_w$ )
- 17) ชุดสกัดไขมัน (soxhlet apparatus)
- 18) หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (autoclave)
- 19) เครื่องตีปั่นอาหาร (stomacher)
- 20) กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (polarized light microscopy, Olympus, SZ61)
- 21) Scanning Electron Microscopy (SEM, ยี่ห้อ JEOL, รุ่น JSM IT 300, Japan)
- 22) High Performance Liquid Chromatography (HPLC, Agilent 100)
- 23) Gas chromatography (GC 7890, Agilent<sup>®</sup>, USA; GC 6850, Agilent<sup>®</sup>, USA)
- 24) X-ray micro-computed Tomography (Skyscan 1173, B-2550 Kontich,

Belgium)



### 3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 ศึกษาชนิดของพรีไบโอติกที่มีต่อสมบัติของมัฟฟินที่เก็บแบบแช่เย็น

ร่อนแป้งสาลีเอนกประสงค์ (ไม่มีกลูเตน) และชั่งส่วนผสมตามสูตร ได้แก่ ผงฟู เกลือ กะทิ น้ำมันรำข้าว น้ำตาลอ้อย และสารทดแทนไข่ ดังตารางที่ 3 โดยศึกษาชนิดของพรีไบโอติก ได้แก่ อินูลินและพอลิเดกซ์โทรสเพื่อใช้เป็นสารทดแทนน้ำมันรำข้าวที่ระดับร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก โดยผสมส่วนผสมให้เข้ากันดีแล้วเทใส่พิมพ์ที่มีกระดาษซับมันรองกัน แบ่งสิ่งทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ตารางที่ 3 ชนิดของพรีไบโอติกเพื่อเป็นสารทดแทนน้ำมันในส่วนผสมมัฟฟิน

| ลำดับ | ส่วนผสม                             | น้ำหนัก (กรัม) |         |               |
|-------|-------------------------------------|----------------|---------|---------------|
|       |                                     | ตัวอย่างควบคุม | อินูลิน | พอลิเดกซ์โทรส |
| 1     | กะทิ                                | 350            | 350     | 350           |
| 2     | น้ำมันรำข้าว                        | 80             | 60      | 60            |
| 3     | น้ำตาลอ้อย                          | 150            | 150     | 150           |
| 4     | อินูลิน                             | -              | 20      | -             |
| 5     | พอลิเดกซ์โทรส                       | -              | -       | 20            |
| 6     | แป้งสาลีเอนกประสงค์<br>(ปลอดกลูเตน) | 355            | 355     | 355           |
| 7     | สารทดแทนไข่ *                       | 30             | 30      | 45            |
| 8     | ผงฟู (baking powder)                | 15             | 15      | 15            |
| 9     | เกลือ                               | 1.25           | 1.25    | 1.25          |
| 10    | อัลมอนด์ (almond)                   | 18.75          | 18.75   | 18.75         |
|       | รวม                                 | 1,000          | 1,000   | 1,000         |

\* ส่วนผสมของโปรตีนถั่วเหลือง: แป้งข้าวโพด: แชนแทนกัม เท่ากับ 70: 29.5: 0.5

ที่มา: Julianti, Rusmarilin, Ridwansyah, and Yusraini (2016) และดัดแปลงจาก Peaceful Cuisine (2016)

สิ่งทดลองที่ 1 นำส่วนผสม (batter) ทั้งหมดแช่เย็นที่อุณหภูมิ  $4\pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน และนำส่วนผสมออกมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 35 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น และนำไปตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส

สิ่งทดลองที่ 2 นำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 35 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้หายร้อนก่อนเก็บแช่เย็นที่อุณหภูมิ  $4\pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน และนำออกมา

ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อนำเข้าอุ่นด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ นาน 30 วินาที และนำไปตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ดังนี้

- ค่าสีของเนื้อมัฟฟิน โดยใช้เครื่องวัดสี (colorimeter) โดยวัดค่าในรูปค่าความสว่าง ( $L^*$ ), ความเข้มของสีแดง ( $a^*$ ) และความเข้มของสีเหลือง ( $b^*$ ) (Arifin, Siti Nur Izyan, and Huda-Faujan, 2019)

- ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (browning index, BI) (Julianti, Rusmarilin, Ridwansyah, and Yusraini, 2016)

- ปริมาตรจำเพาะ (specific volume) (AACC, 2000)

- ความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกัน (connectivity density) โดยเครื่อง X-ray micro-computed Tomography (Skyscan 1173, B-2550 Kontich, Belgium) (Lim, and Barigou, 2004)

- การตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (polarized light microscopy, Olympus, SZ61) (ดัดแปลงจาก Koike-Tani, Tani, Mehta, Verma, and Oldenbourg, 2015)

- การตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM, ยี่ห้อ JEOL, รุ่น JSM IT 300, Japan) (Manaf, Othman, Harith, and Ishak, 2017)

- ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA.XT plus) โดยวัดค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) ความสามารถในการเกาะติด (adhesiveness) ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) ความเหนียว (gumminess) ค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) ของเนื้อมัฟฟิน (Kiran, and Neetu, 2017)

- ปริมาณความชื้น และปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) (AOAC, 2016)

- ปริมาณไขมัน (AOAC, 2016)

- ปริมาณเส้นใยหยาบ (crude fiber) (AOAC, 2016)

- ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) (AOAC, 2016)

- ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 2016) โดยใช้โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography, HPLC, Agilent 100)

- ปริมาณฟรักแทน (Jove, and Hoebregs, 2000; AOAC, 2005) โดยใช้หลักการแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas-Chromatography, GC)

- ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์ โดยวิธีทดสอบความชอบ (preference test) ด้วย 7-point hedonic scales ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 100 คน

### 3.3.2 ศึกษาปริมาณของพรีไบโอติกที่มีต่อสมบัติของมัฟฟินที่เก็บแบบแช่เย็น

ร่อนแป้งสาลีเอกประสงค์ (ปลอดกลูเตน) ใส่ผงฟู เกลือ กะทิ น้ำมันรำข้าว น้ำตาลอ้อย สารทดแทนไข่ และพรีไบโอติกที่ได้จากการเลือกในข้อ 3.3.1 โดยศึกษาปริมาณพรีไบโอติกสำหรับเป็น สารทดแทนไขมัน (น้ำมันรำข้าว) ในสูตรที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 4 ผสมส่วนผสมให้เข้ากันดี เทใส่พิมพ์ที่มีกระดาษซับมันรองกัน แบ่งสิ่งทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ตารางที่ 4 ปริมาณพรีไบโอติกในส่วนผสมของมัฟฟิน

| ลำดับ | ส่วนผสม                                  | น้ำหนัก (กรัม) |           |           |           |           |
|-------|------------------------------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|       |                                          | ร้อยละ 0       | ร้อยละ 10 | ร้อยละ 20 | ร้อยละ 30 | ร้อยละ 40 |
| 1.    | กะทิ                                     | 350            | 350       | 350       | 350       | 350       |
| 2.    | น้ำมันรำข้าว                             | 80             | 72        | 64        | 56        | 48        |
| 3.    | น้ำตาลอ้อย                               | 150            | 150       | 150       | 150       | 150       |
| 4.    | อินูลินและ/หรือ<br>พอลิเดกซ์โทรส         | -              | 8         | 16        | 24        | 32        |
| 5.    | แป้งสาลี<br>เอนกประสงค์<br>(ไม่มีกลูเตน) | 355            | 355       | 355       | 355       | 355       |
| 6.    | สารทดแทนไข่*                             | 30             | 30        | 30        | 30        | 30        |
| 7.    | ผงฟู                                     | 15             | 15        | 15        | 15        | 15        |
| 8.    | เกลือ                                    | 1.25           | 1.25      | 1.25      | 1.25      | 1.25      |
| 9.    | อัลมอลต์                                 | 18.75          | 18.75     | 18.75     | 18.75     | 18.75     |
|       | รวม                                      | 1,000          | 1,000     | 1,000     | 1,000     | 1,000     |

\* ส่วนผสมของโปรตีนถั่วเหลือง: แป้งข้าวโพด: แชนแทนกัม = 70: 29.5: 0.5

ที่มา: Julianti, Rusmarilin, Ridwansyah, and Yusraini (2016) และดัดแปลงจาก Peaceful Cuisine (2016)

สิ่งทดลองที่ 1 นำส่วนผสมใส่ถุงพลาสติกที่ปิดสนิทโดยเก็บเข้าแช่เย็นที่อุณหภูมิ  $4 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 7 วัน นำออกไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้วนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 35 นาที จากนั้นนำออกจากตู้อบและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เพื่อตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส

สิ่งทดลองที่ 2 นำส่วนผสมของมัฟฟินเข้าตู้อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 35 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้หายร้อนแล้วนำมัฟฟินสำเร็จรูปใส่ถุงพลาสติกเก็บแช่เย็นที่อุณหภูมิ  $4 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 7 วัน จากนั้นนำออกมาตั้งที่อุณหภูมิห้องเพื่อนำเข้าอุ่นด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ นาน 30 วินาที และตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ดังนี้

- ค่าสีของนมผง โดยใช้เครื่องวัดสี (colorimeter) ในรูปค่าความสว่าง ( $L^*$ ) ความเข้มของสีแดง ( $a^*$ ) และความเข้มของสีเหลือง ( $b^*$ ) (Arifin, Siti Nur Izyan, and Huda-Faujan, 2019)

- ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Julianti, Rusmarilin, Ridwansyah, and Yusraini, 2016)
- ปริมาตรจำเพาะ (AACC, 2000)
- ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) วัดค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะติด ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน ความเหนียว และค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวของนมผง (Kiran, and Neetu, 2017)
- ปริมาณความชื้น และปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2016)
- ปริมาณไขมัน (AOAC, 2016)
- ปริมาณเส้นใยหยาบ (crude fiber) (AOAC, 2016)
- ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) (AOAC, 2016)
- ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์ โดยวิธีทดสอบความชอบด้วย 7-point hedonic scales ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 100 คน

### 3.3.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาที่มีต่อสมบัติของนมผงที่เก็บแบบแช่เย็น

#### 3.3.3.1 การเตรียมไส้รสชาเขียว

ซึ่งแบ่งมันสำปะหลัง ผงชาเขียว นมถั่วเหลือง และน้ำตาลอ้อย ดังตารางที่ 5 นำไปให้ความร้อนจนกระทั่งส่วนผสมขึ้นเหนียวแล้วทิ้งไว้ให้อุ่นจึงเทลงในพิมพ์ซิลิโคน รอให้เย็น ใส่ถุงพลาสติกปิดสนิท และเก็บแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อนำออกไปสอดไส้ผงต่อไป

ตารางที่ 5 ส่วนผสมของไส้ลาวารสชาเขียว

| ลำดับ | ส่วนผสม                   | น้ำหนัก (กรัม) |
|-------|---------------------------|----------------|
| 1.    | แป้งมันสำปะหลัง           | 30             |
| 2.    | ผงชาเขียว (matcha powder) | 45             |
| 3.    | นํ้านมถั่วเหลือง (สูตรเจ) | 600            |
| 4.    | น้ำตาลอ้อย                | 120            |

ที่มา: ดัดแปลงจาก Peaceful Cuisine (2016)

#### 3.3.3.2 การผลิตนมผงสอดไส้ชาเขียว

ร่อนแป้งสาลีเอกประสงค์ ใส่ผงฟู เกลือ กะทิ นํ้ามันรำข้าว น้ำตาลอ้อย สารทดแทนไข่ ชนิดและปริมาณของฟรีโบติกที่ได้จากการเลือกในข้อ 3.3.1 และ 3.3.2 ผสมให้เข้ากัน

แล้วเทส่วนผสมใส่พิมพ์ที่มีกระดาษซับมันรองกัน ใส่ไส้ชาเขียวแช่แข็งวางตรงกลางส่วนผสมในพิมพ์ โดยแบ่งสิ่งทดลองออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

สิ่งทดลองที่ 1 นำส่วนผสมใส่ถุงพลาสติกที่ปิดสนิทแล้วเก็บเข้าแช่เย็นที่อุณหภูมิ  $4\pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 0 7 14 และ 21 วัน และนำมาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อนำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 35 นาที จากนั้นนำออกจากตู้อบและตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เพื่อตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส

สิ่งทดลองที่ 2 นำส่วนผสมของมัทพินอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 35 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้หายร้อน จากนั้นนำมัทพินสำเร็จรูปใส่ถุงพลาสติก และเก็บแช่เย็นที่อุณหภูมิ  $4\pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 0 7 14 และ 21 วัน จากนั้นนำออกมาตั้งที่อุณหภูมิห้องเพื่อนำเข้าไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 700 วัตต์ นาน 30 วินาที และตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัส ดังนี้

- ค่าสีของเนื้อมัทพิน โดยใช้เครื่องวัดสี (colorimeter) โดยวัดค่าในรูปค่าความสว่าง ( $L^*$ ), ความเข้มของสีแดง ( $a^*$ ) และความเข้มของสีเหลือง ( $b^*$ ) (Arifin, Siti Nur Izyan, and Huda-Faujan, 2019)

- ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Julianti, Rusmarilin, Ridwansyah, and Yusraini, 2016)  
 - ปริมาตรจำเพาะ (AACC, 2000)  
 - ลักษณะเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Kiran, and Neetu, 2017)  
 - ปริมาณน้ำอิสระ (Water activity ( $a_w$ ), Novasina, Labmaster.  $a_w$ ) (Sharma, Kaur, and Kaur, 2016)

- ปริมาณความชื้น (AOAC, 2016)  
 - ปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2016)  
 - ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, P.V.) (AOAC, 2016)  
 - ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ด้วยวิธี total plate count (U.S.FDA-BAM, 1998)  
 - ปริมาณยีสต์และราทั้งหมด (U.S.FDA-BAM, 1998)  
 - ประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสโดยการประเมินความชอบของผลิตภัณฑ์ โดยวิธีทดสอบความชอบด้วย 5-point hedonic scales ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 50 คน

### 3.3.4 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี กายภาพ จุลินทรีย์ วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) และประเมินผลทางประสาทสัมผัส โดยวางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างทรีทเมนต์ โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ( $p \leq 0.05$ )



### 3.4 สถานที่ในการทำงานวิจัย

ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

#### 4.1 ศึกษาชนิดของพรีไบโอติกที่มีต่อสมบัติของมัฟฟินที่เก็บแบบแช่เย็น

การวิเคราะห์หาชนิดของพรีไบโอติกเพื่อเป็นสารทดแทนไขมันของมัฟฟินในระหว่างการเก็บรักษาแบบแช่เย็น โดยใช้แป้งสาลีเอกประสงค์ปลอดกลูเตนเป็นส่วนผสมหลักในการทำมัฟฟิน และหาชนิดของพรีไบโอติก ได้แก่ อินูลิน และพอลิเดกซ์โทรสที่ใช้ทดแทนน้ำมันรำข้าวที่ระดับร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของส่วนผสม (batter) มัฟฟินที่แช่เย็นที่อุณหภูมิ  $4 \pm 1$  องศาเซลเซียส นาน 7 วัน และนำมาอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 35 นาที เปรียบเทียบกับส่วนผสมของมัฟฟินที่เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 35 นาที ก่อนแล้วค่อยเก็บแช่เย็น เป็นเวลานาน 7 วัน แล้วนำมาอุ่นด้วยไมโครเวฟ ก่อนนำไปตรวจสอบคุณภาพทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของมัฟฟิน โดยกำหนดให้แต่ละสูตรในการศึกษาชนิดของพรีไบโอติกที่มีต่อสมบัติทางด้านต่าง ๆ ของมัฟฟินที่เก็บแช่เย็น เป็นไปตามชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิต ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตในแต่ละสูตร

| สูตร | ชนิดของพรีไบโอติก | ขั้นตอนการผลิต               |
|------|-------------------|------------------------------|
| 1    | -                 | แช่เย็นก่อนอบ                |
| 2    | -                 | อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ |
| 3    | อินูลิน           | แช่เย็นก่อนอบ                |
| 4    | อินูลิน           | อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ |
| 5    | พอลิเดกซ์โทรส     | แช่เย็นก่อนอบ                |
| 6    | พอลิเดกซ์โทรส     | อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ |

ผลชนิดของพรีไบโอติกที่มีต่อค่าสีของเนื้อมัฟฟินที่เก็บรักษาแบบแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 7 จากการทดลองผลของชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อค่าสีของมัฟฟินพบว่า สูตรที่ 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสและแช่เย็นก่อนอบทำให้นี้อัฟฟินมีค่าความสว่างสูงสุดและไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมที่ 1 (แช่เย็นก่อนอบ) และสูตร 4 ที่เติมอินูลิน และอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ ก็มีค่าความสว่างไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมที่ 2 (อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ) สำหรับสูตรที่ทำให้เนื้อมัฟฟินมีค่าความเข้มของสีแดงมากที่สุดคือ สูตร 6 อาจเนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสที่เป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก เมื่อนำไป

ตารางที่ 7 ชนิดของฟรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อค่าสีของมัพฟิน

| สูตร | $L^*$                 | $a^*$             | $b^*$                 | Browning Index       |
|------|-----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| 1    | $68.20 \pm 1.02^{ab}$ | $2.05 \pm 0.20^b$ | $21.15 \pm 0.82^a$    | $6.55 \pm 0.39^a$    |
| 2    | $63.56 \pm 1.04^{cd}$ | $1.18 \pm 0.17^d$ | $17.82 \pm 0.93^d$    | $5.70 \pm 0.36^b$    |
| 3    | $65.76 \pm 2.68^{bc}$ | $1.38 \pm 0.13^d$ | $19.83 \pm 1.30^b$    | $6.23 \pm 0.47^{ab}$ |
| 4    | $63.24 \pm 1.42^{cd}$ | $1.38 \pm 0.15^d$ | $18.22 \pm 0.91^{cd}$ | $5.92 \pm 0.36^b$    |
| 5    | $69.82 \pm 2.76^a$    | $1.77 \pm 0.23^c$ | $19.49 \pm 0.44^b$    | $5.77 \pm 0.40^b$    |
| 6    | $62.03 \pm 1.61^d$    | $2.47 \pm 0.19^a$ | $19.07 \pm 0.38^{bc}$ | $6.62 \pm 0.37^a$    |

a,b,... ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแถวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

อบแห้งเย็นและเข้าไมโครเวฟ ซึ่งเป็นการให้ความร้อน 2 ครั้ง ทำให้ค่าความเข้มของสีแดงมากที่สุด ส่วนสูตรควบคุม 1 มีค่าความเข้มของสีเหลืองมากที่สุด อาจเนื่องจากการเติมอินูลินและพอลิเดกซ์โทรสซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตและมีกลูโคสเป็นส่วนประกอบหลัก เมื่อให้ความร้อนจะทำให้เนื้อมัพฟินมีสีเหลืองเข้มมากกว่าสูตรควบคุมที่ไม่เติมฟรีไบโอติก นอกจากนี้การเก็บรักษาส่วนผสม (batter) แบบแช่เย็นแล้วอบให้ความร้อนในสูตร 1 เป็นการให้ความร้อนเพียงรอบเดียว จึงทำให้ตัวอย่างมีสีซีดกว่าขั้นตอนการผลิตแบบอบก่อนแช่เย็นแล้วเข้าไมโครเวฟ สำหรับสูตรที่มีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลสูงที่สุด คือ สูตร 1 3 และ 6 ส่วนสูตรที่มีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำกว่า คือ สูตร 2 4 และ 5 ซึ่งดัชนีการเกิดสีน้ำตาลมีความสอดคล้องกับค่าความสว่างของมัพฟิน (ตารางที่ 7) กล่าวคือ สูตร 6 มีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลสูงจะมีค่าความสว่างต่ำ และสูตร 5 ที่มีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำจะมีค่าความสว่างสูง

ผลของชนิดของฟรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาณจำเพาะของมัพฟิน ดังแสดงในตารางที่ 8 จากการทดลองพบว่า สูตร 3 และ 6 มีปริมาณจำเพาะมากที่สุด อาจเนื่องจากมีน้ำหนักต่อชิ้นต่ำ จึงทำให้มีปริมาณจำเพาะสูง เพราะปริมาณจำเพาะขึ้นอยู่กับปริมาณของมัพฟิน (มิลลิลิตร) ต่อน้ำหนักของมัพฟิน (กรัม) ถ้ามัพฟินสูตรใดมีน้ำหนักต่อชิ้นมาก จะทำให้สูตรนั้นมีปริมาณจำเพาะน้อย และถ้าสูตรใดมีปริมาณต่อชิ้นน้อยจะทำให้สูตรนั้นมีปริมาณจำเพาะมาก และพบว่าสูตร 5 มีปริมาณจำเพาะไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม 1 ( $p > 0.05$ ) อาจเนื่องจากส่วนผสมในการผลิตมัพฟินและขั้นตอนการผลิตโดยการแช่เย็นก่อนอบเหมือนกัน จึงทำให้มีปริมาณต่อน้ำหนักไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 9 ผลของชนิดของฟรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกันของมัพฟิน โดยเปรียบเทียบสูตรควบคุม 1 กับสูตร 3 และ 5 ที่มีการแช่เย็นก่อนอบพบว่า สูตร 5 มีความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกันของมัพฟินใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 1 มากกว่าสูตร 3 เนื่องจากสูตร 3 ที่เติมอินูลินและแช่เย็นก่อนอบมีโพรงอากาศขนาดใหญ่และเล็กภายในเนื้อของ

ตารางที่ 8 ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาณจำเพาะของมัพฟิน

| สูตร | ปริมาณจำเพาะ (มิลลิลิตรต่อกรัม) |
|------|---------------------------------|
| 1    | $1.44 \pm 0.10^d$               |
| 2    | $1.86 \pm 0.12^c$               |
| 3    | $2.15 \pm 0.06^a$               |
| 4    | $2.00 \pm 0.10^{bc}$            |
| 5    | $1.41 \pm 0.00^d$               |
| 6    | $2.05 \pm 0.03^{ab}$            |

a,b,... ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแถวแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 9 ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกันของมัพฟิน

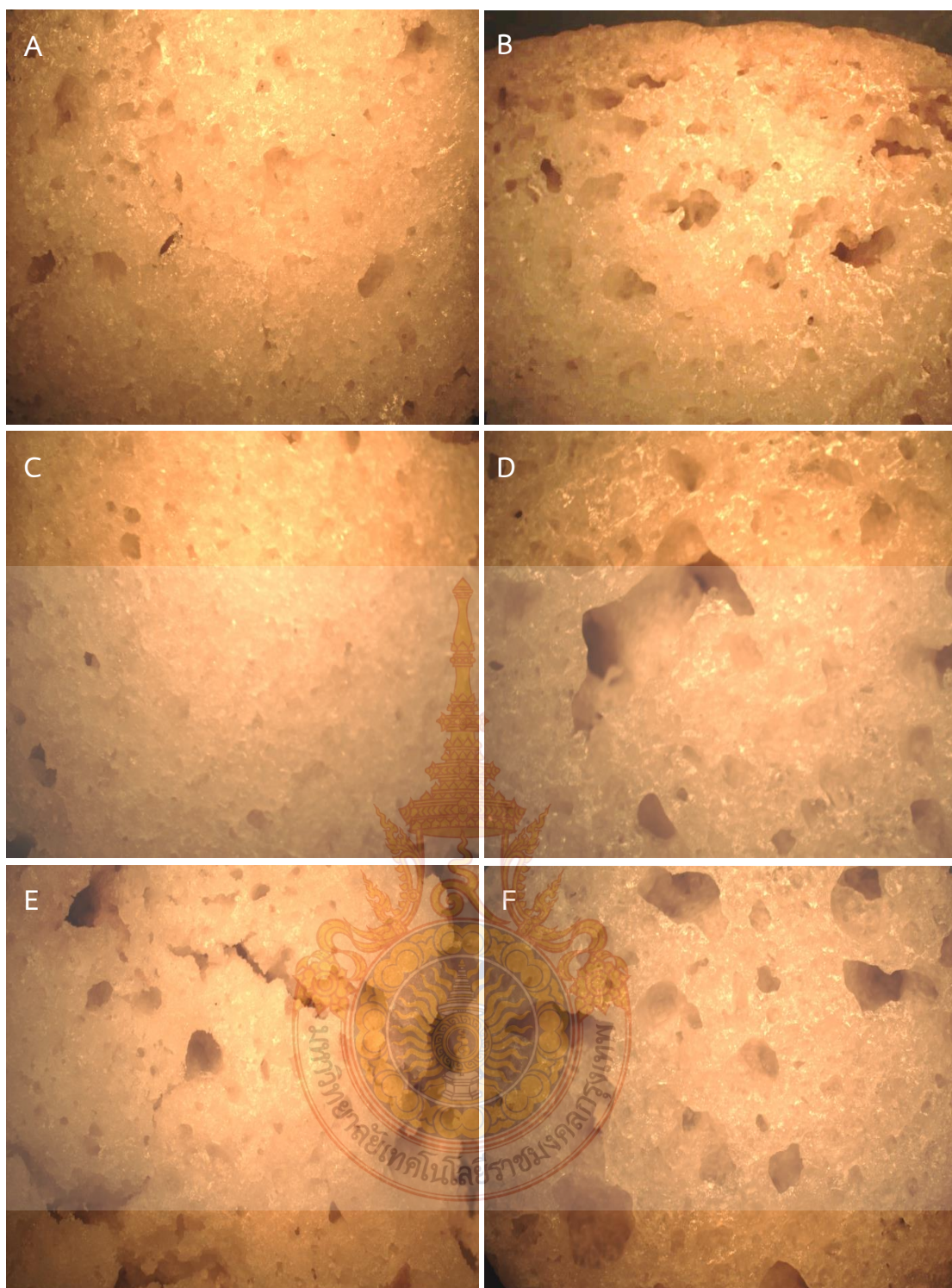
| Formulas | Connectivity density (1/mm <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------------------------------------|
| 1        | 4.76                                      |
| 2        | 1.59                                      |
| 3        | 2.31                                      |
| 4        | 1.50                                      |
| 5        | 1.61                                      |
| 6        | 2.21                                      |

มัพฟิน และโพรงอากาศมีการกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอ จึงทำให้ความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกันของมัพฟินมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 1 มากกว่าสูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์ไทรสที่มีโพรงอากาศขนาดเล็กและมีรอยแตกเป็นร่องลึกซึ่งอาจเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีของพอลิเดกซ์ไทรสที่ประกอบด้วยกลูโคส ซอร์บิทอล (ร้อยละ 10) และกรดซิตริก (ร้อยละ 1) ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของมัพฟินในระหว่างการเก็บแช่เย็นและมีผลทำให้เมื่ออบแล้วจะได้มัพฟินที่มีความหนาแน่นของการเชื่อมต่อหลังการอบไม่เหมือนกับสูตรควบคุมที่ไม่ได้เติมพรีไบโอติก และเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรควบคุม 2 กับสูตร 4 และ 6 ที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ พบว่าสูตร 4 ที่เติมอินูลินมีความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกันของมัพฟินใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 2 มากกว่าสูตร 6 ที่เติมพอลิเดกซ์ไทรส เนื่องจากอินูลินมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยฟรักโทส และกลูโคสเชื่อมต่อกัน ซึ่งมีโครงสร้างภายในที่ใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 2

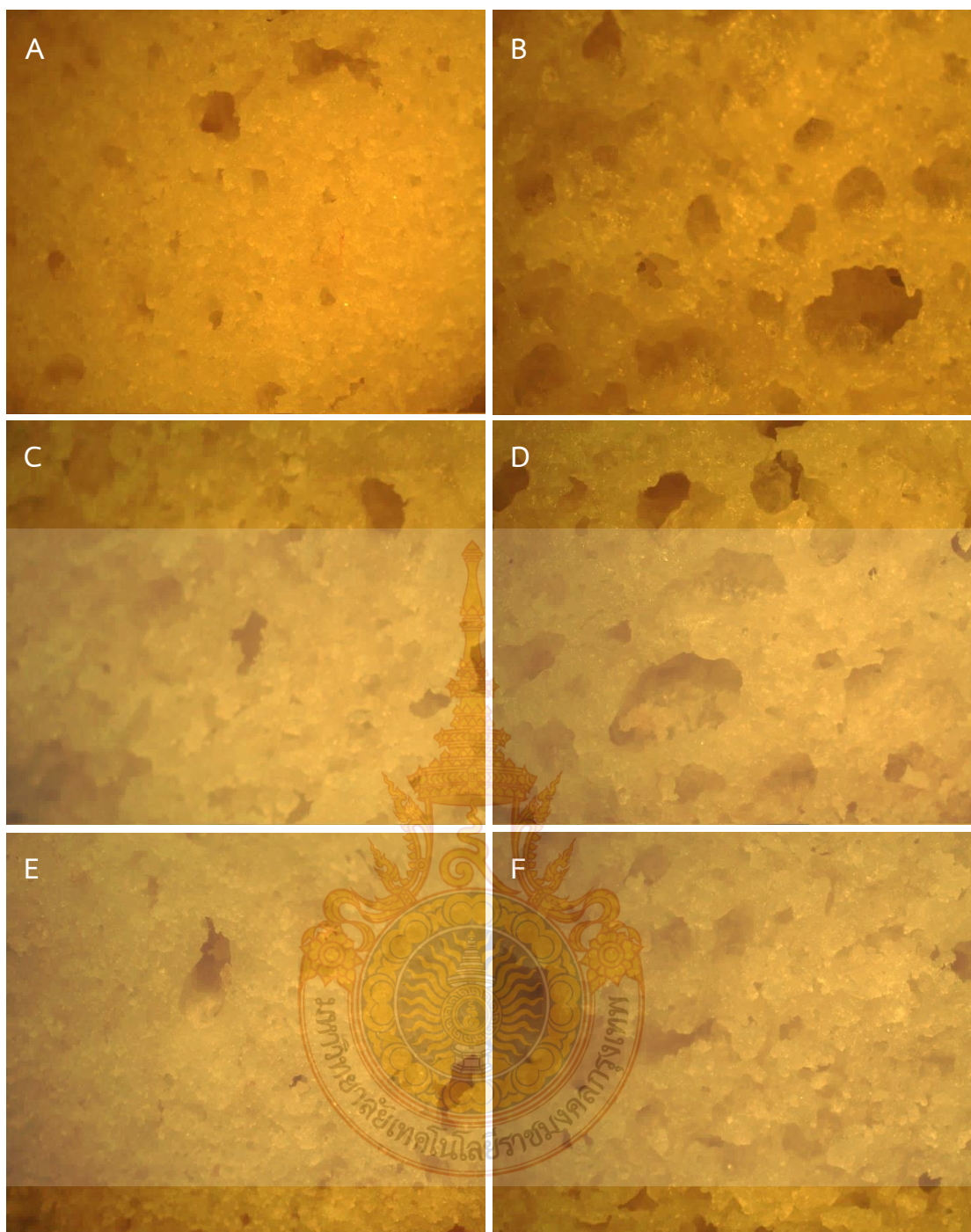
ที่ไม่เติมฟรีไบโอติก ทำให้ความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกันของเนื้อมัดพินมีค่าใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 2 มากกว่าการเติมพอลิเดกซ์โทรส และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการผลิตโดยการแช่เย็นส่วนผสมมัดพินก่อนอบกับการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟในสูตรควบคุมและสูตรที่เติมอินูลิน พบว่ามัดพินที่แช่เย็นก่อนอบมีความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกันของมัดพินมากกว่าสูตรที่อบก่อน แช่เย็น และเข้าไมโครเวฟ เนื่องจากการเก็บแบบแช่เย็นก่อนอบ ความเย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ลักษณะของเนื้อมัดพินมีความแน่นและมีโพรงอากาศน้อยกว่าเพราะผงฟูที่เติมลงไปมีประสิทธิภาพในการทำให้มัดพินเกิดโพรงอากาศและขึ้นฟูน้อยกว่าการนำมัดพินเข้าอบก่อนซึ่งผงฟูที่เติมลงไปจะมีส่วนช่วยให้มัดพินที่อบมีขนาดโพรงอากาศใหญ่และมีความหนาแน่นของการเชื่อมต่อน้อยกว่า

ผลของการตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ด้วยกำลังขยาย 6.7 เท่า ที่ผิวหน้าของมัดพินที่มีการเก็บแบบแช่เย็นก่อนอบ ดังแสดงในภาพที่ 5 A (สูตร 1) C (สูตร 3) และ E (สูตร 5) และมีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ ดังแสดงในภาพ B (สูตร 2) D (สูตร 4) และ F (สูตร 6) พบว่าผิวหน้าของมัดพินในสูตรควบคุม 1 ที่มีการแช่เย็นก่อนอบ (ภาพ 5 A) มีขนาดของโพรงอากาศเล็กกว่าสูตรควบคุม 2 ที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ (ภาพ 5 B) ซึ่งภาพ 5 A มีลักษณะผิวหน้าของมัดพินใกล้เคียงกับภาพ 5 C ที่เติมอินูลินแล้วแช่เย็นก่อนอบที่มีโพรงอากาศขนาดเล็กเช่นกัน แต่มีโพรงอากาศขนาดเล็กกว่าสูตรควบคุมที่ 1 ส่วนสูตรที่เติมอินูลินที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ (ภาพที่ 5 D) จะเห็นได้ว่ามีโพรงอากาศขนาดใหญ่มากแทรกอยู่กับโพรงอากาศขนาดกลางและเล็ก สาเหตุที่การแช่เย็นก่อนอบมีขนาดโพรงอากาศเล็กกว่าการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ เนื่องจากการใส่ผงฟูที่ช่วยให้เกิดการสร้างก๊าซและโพรงอากาศที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในมัดพินนั้น จะเกิดขึ้นได้ดีก็ต่อเมื่อนำมัดพินเข้าเตาอบทันทีหลังจากผสมส่วนผสมเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นการนำมัดพินเข้าแช่เย็นก่อนอบจะทำให้เนื้อของมัดพินขึ้นฟูยากกว่าการอบก่อนตั้งแต่แรก จากภาพที่ 5 E จะสังเกตเห็นได้ว่าสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสและแช่เย็นก่อนอบมีลักษณะผิวหน้าแตกเป็นร่องลึกและยาว รวมทั้งมีโพรงอากาศขนาดใหญ่และเล็กกระจายอยู่ที่ผิวหน้า อาจเนื่องจากส่วนประกอบของพอลิเดกซ์โทรสมีกรดซิตริกเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างโมเลกุลบ้างเล็กน้อย (ร้อยละ 1) ซึ่งอาจมีผลทำให้เนื้อมัดพินเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีในระหว่างการเก็บแบบแช่เย็นก่อนการอบ และเมื่อนำมาอบจึงส่งผลทำให้ผิวหน้าของมัดพินมีรอยแตกลึกเป็นทางยาวและมีโพรงอากาศขนาดใหญ่ ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมพอลิเดกซ์โทรสและมีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ (ภาพที่ 5 F) พบว่าผิวหน้าของมัดพินไม่มีลักษณะการแตกเป็นร่องลึกเช่นเดียวกับภาพที่ 5 E แต่มีโพรงอากาศขนาดใหญ่และเล็กที่ผิวหน้าของมัดพินเท่านั้น อาจเนื่องจากเมื่อผ่านการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ กรดซิตริกที่เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างของพอลิเดกซ์โทรสมีฤทธิ์น้อยลงเนื่องจากความร้อนที่ใช้ในการอบก่อน จึงทำให้ผิวหน้าของมัดพินมีโพรงอากาศขนาดใหญ่มากกว่าการนำส่วนผสมของมัดพินเก็บแช่เย็นก่อนและอบทีหลัง





ภาพที่ 5 การส่องกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ที่ผิวหน้าของมัพินที่มีการเก็บแบบแช่เย็นก่อนอบ  
 A (สูตร 1) C (สูตร 3) และ E (สูตร 5) และมีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ  
 B (สูตร 2) D (สูตร 4) และ F (สูตร 6) ด้วยกำลังขยาย 6.7 เท่า

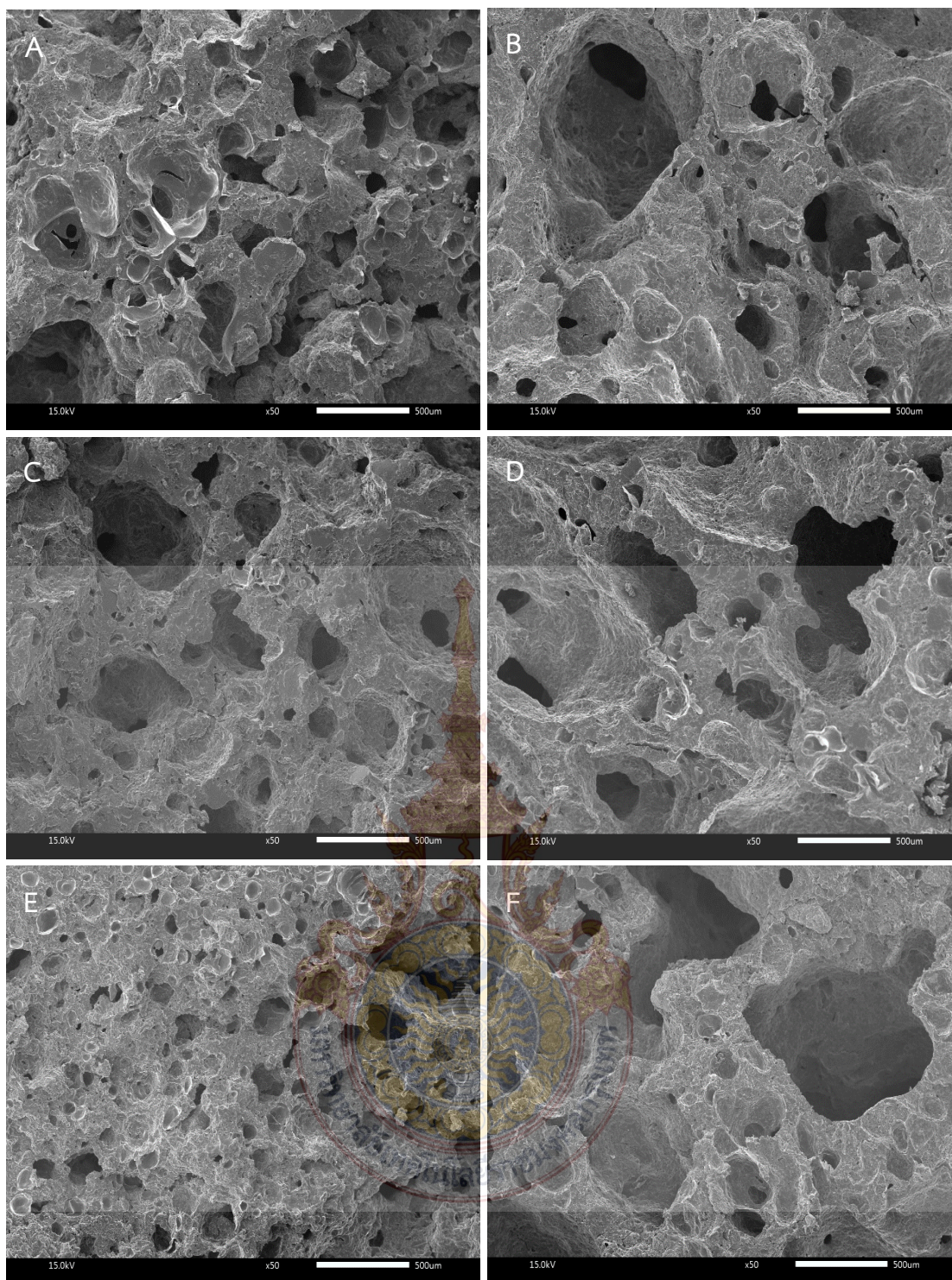


**ภาพที่ 6** การส่องกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ของเนื้อตรงกลางภายในมัดพินที่มีการเก็บแบบ  
แช่เย็นก่อนอบ A (สูตร 1) C (สูตร 3) และ E (สูตร 5) และมีการอบก่อนแช่เย็นแล้ว  
เข้าไมโครเวฟ B (สูตร 2) D (สูตร 4) และ F (สูตร 6) ด้วยกำลังขยาย 10 เท่า



จากการเปรียบเทียบการนำส่วนผสมภายในเนื้อมัพฟินที่มีการเก็บแบบแช่เย็นแล้วนำมาอบด้วยความร้อนจากเตาอบกับขั้นตอนการอบมัพฟินก่อนแล้วจึงนำมาเก็บแบบแช่เย็นแล้วนำไปอุ่นด้วยความร้อนจากไมโครเวฟ โดยนำเนื้อมัพฟินที่ได้ไปตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (polarized light microscopy) กำลังขยาย 10 เท่า (ภาพที่ 6) จากภาพที่ 6 A พบว่าสูตรควบคุม 1 มีโพรงอากาศขนาดเล็กและใหญ่กระจายอยู่ทั่วไปภายในเนื้อของมัพฟินและเนื้อมัพฟินมีความละเอียดมากที่สุด และจะเห็นได้ว่าสูตร 5 ที่เติมพอลิเดคซิทโรสที่แช่เย็นก่อนอบ (ภาพ 6 E) เนื้อมัพฟินมีความละเอียดรองลงมาจากสูตรควบคุม 1 ถึงแม้ว่าสูตร 5 จะมีโพรงอากาศขนาดใหญ่บ้าง แต่เนื้อมัพฟินมีความเนียนละเอียดใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 1 มากที่สุด และถ้าเปรียบเทียบขั้นตอนการผลิตระหว่างการแช่เย็นก่อนอบกับการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ จะพบว่าการนำส่วนผสมของมัพฟินเข้าแช่เย็นก่อนอบเป็นเวลานาน 7 วัน แล้วค่อยนำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส จะทำให้โพรงอากาศภายในเนื้อมัพฟินมีขนาดเล็กและละเอียดกว่าการนำส่วนผสมของมัพฟินอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ เนื่องจากวิธีที่ 2 นี้ เป็นการอบหลังจากเติมผงฟูลงไปแล้ว (ผงฟูทำหน้าที่ทำให้ส่วนผสมหรือเนื้อของมัพฟินขึ้นฟูเนื่องจากเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการบ่มและการอบให้ความร้อน) และนำเข้าแช่เย็นแล้วเข้าไมโครเวฟ ซึ่งทำให้เนื้อมัพฟินมีโพรงอากาศขนาดใหญ่กว่าการเก็บแช่เย็นไว้ก่อน 7 วัน แล้วค่อยอบทีหลัง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของผงฟูลดน้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบขนาดและจำนวนของโพรงอากาศระหว่างการเติมอินูลินและพอลิเดคซิทโรสพบว่า การเติมอินูลิน (ภาพ 6 C และ D) มีโพรงอากาศขนาดใหญ่และจำนวนมากกว่าสูตรที่เติมพอลิเดคซิทโรส (ภาพ 6 E และ F)

ภาพที่ 7 แสดงภาพการตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า ที่บริเวณตรงกลางภายในเนื้อของมัพฟินที่มีขั้นตอนการแช่เย็นก่อนการอบและการอบก่อนแช่เย็นแล้วเข้าไมโครเวฟ จากภาพที่ 7 (A, C และ E) จะเห็นได้ว่า ลักษณะของเนื้อมัพฟินที่มีการเก็บแบบแช่เย็นก่อนอบมีโพรงอากาศขนาดเล็กและมีจำนวนโพรงอากาศมากกว่ามัพฟินที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ ดังภาพที่ 7 (B, D และ F) ซึ่งอาจเป็นเพราะการนำส่วนผสมเข้าแช่เย็นก่อนอบจะทำให้ส่วนผสมของเนื้อมัพฟินมีลักษณะที่อัดแน่นมากกว่าการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ แม้ว่าขั้นตอนที่ 1 จะมีการแช่เย็นและอบภายหลัง แต่ลักษณะของเนื้อมัพฟินหลังอบมีโพรงอากาศขนาดเล็กและมีจำนวนโพรงอากาศมากกว่าเนื้อของมัพฟินที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ ซึ่งแบบที่ 2 นี้ จะมีโพรงอากาศที่มีขนาดใหญ่กว่าเนื่องจากผงฟูทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเติมสารอินูลินและพอลิเดคซิทโรสลงในส่วนผสมจะพบว่า การเติมอินูลิน (ภาพที่ 7 C และ D) มีผลทำให้เนื้อของมัพฟินมีโพรงอากาศขนาดใหญ่และมีจำนวนโพรงอากาศน้อยกว่าการเติมพอลิเดคซิทโรส (ภาพที่ 7 E และ F) ซึ่งภาพที่ได้สอดคล้องกับภาพจากการส่องด้วยกล้องแสงโพลาไรซ์ (ภาพที่ 6 C-F)



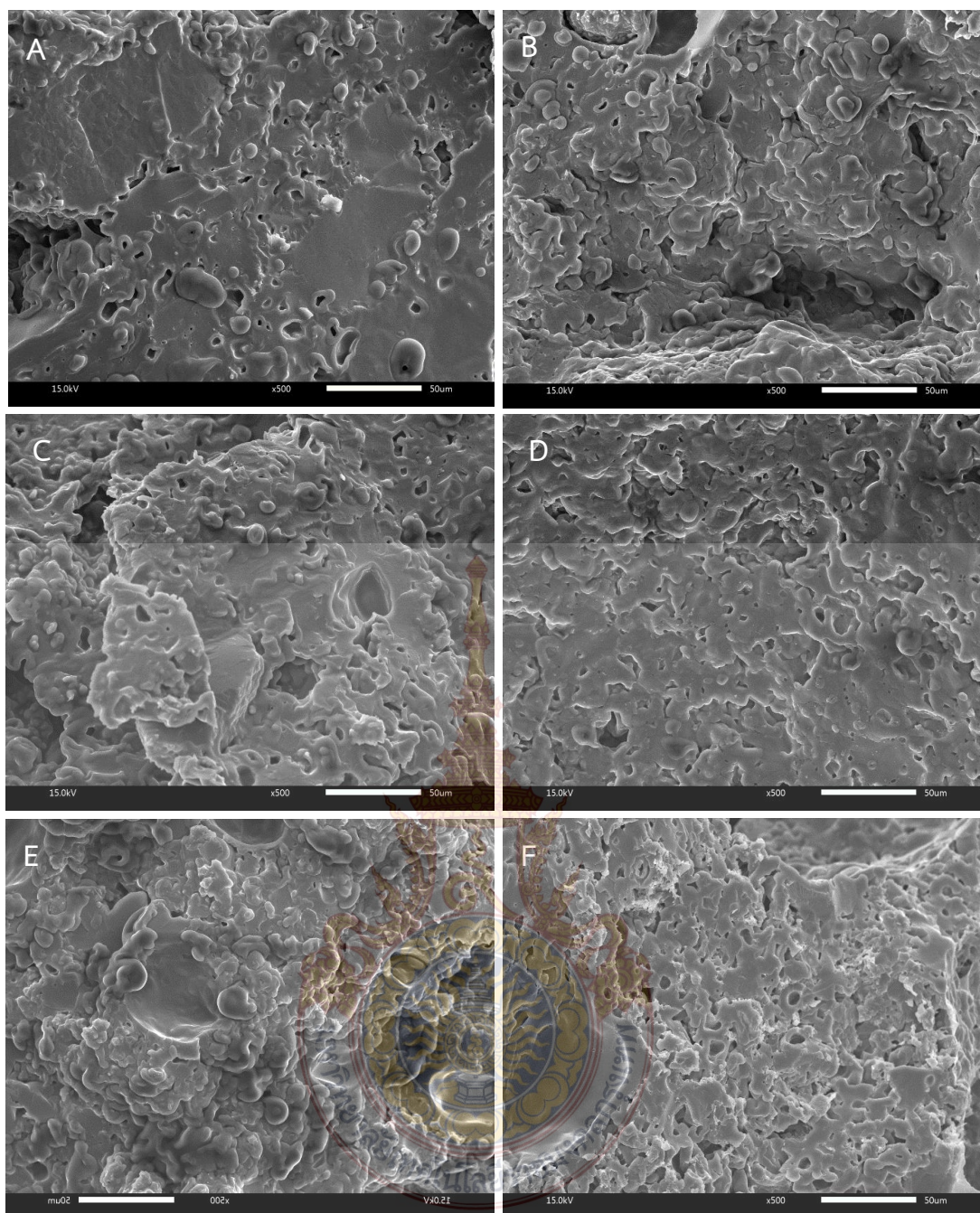
**ภาพที่ 7** การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเนื้อตรงกลางภายในมัดพินที่มี การเก็บแบบแช่เย็นก่อนอบ A (สูตร 1), C (สูตร 3) และ E (สูตร 5) และมีการอบก่อน แช่เย็นแล้วเข้าไมโครเวฟ B (สูตร 2), D (สูตร 4) และ F (สูตร 6) ด้วยกำลังขยาย 50 เท่า



เมื่อนำมัพฟินมาตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาด้วย SEM ที่กำลังขยายเพิ่มขึ้นจาก 50 เป็น 500 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 8 จะเห็นได้ว่าส่วนผสมของสูตรควบคุม 1 ที่มีการแช่เย็นก่อนอบ (ภาพที่ 8 A) มีลักษณะของส่วนผสมที่อัดแน่นมากกว่าสูตรอื่นๆ การอบก่อนแช่เย็น (4 องศาเซลเซียส) และเข้าไมโครเวฟ (ภาพที่ 8 B D และ F) จะทำให้เนื้อมัพฟินมีลักษณะโพรงอากาศขนาดใหญ่แทรกภายในส่วนผสมของมัพฟินมากกว่าสูตรที่แช่เย็นก่อนอบ และเมื่อมีการเติมอินูลิน (ภาพที่ 8 C และ D) ลงในส่วนผสมของมัพฟิน จะทำให้มีโพรงอากาศขนาดใหญ่กว่าสูตรควบคุม 1 และ 2 (ภาพที่ 8 A และ B) เนื่องจากอินูลินเป็นส่วนประกอบของกลูโคสหรือฟรักโทสที่มีโครงสร้างโมเลกุลสายยาวปานกลาง มี DP อยู่ระหว่าง 2-60 (DP เฉลี่ยมากกว่าหรือเท่ากับ 10) การเติมอินูลินลงไปทำให้ทำให้ส่วนผสมของมัพฟินไม่อัดแน่นไปด้วยแป้งสาลีมากจนเกินไป โดยมีน้ำตาลเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างส่วนผสมของแป้งในมัพฟินบ้างทำให้มองเห็นโพรงอากาศแทรกอยู่ในแป้งที่อัดกันแน่นบ้างเล็กน้อย เมื่อเติมพอลิเดกซ์โทรสลงในมัพฟินที่แช่เย็นก่อนอบ (ภาพที่ 8 E) เนื้อของมัพฟินมีลักษณะขึ้นฟูมากกว่าตัวอย่างที่เติมอินูลินแล้วแช่เย็นก่อนการอบ (ภาพที่ 8 C) ส่วนมัพฟินที่เติมพอลิเดกซ์โทรสแล้วนำไปอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ (ภาพที่ 8 F) จะเห็นได้ว่ามีโพรงอากาศขนาดใหญ่มากที่สุดและขนาดโพรงอากาศใหญ่มากกว่าการเติมอินูลินในภาพที่ 8 D ซึ่งผลการตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาด้วยการส่องกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่านี้ สอดคล้องกับผลของการส่อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า ดังนั้นสรุปได้ว่าส่วนประกอบและโครงสร้างของสารที่เติมลงในส่วนผสมของมัพฟิน รวมทั้งขั้นตอนการผลิต ได้แก่ การแช่เย็นส่วนผสมก่อนการอบ และการอบส่วนผสมก่อนการแช่เย็นแล้วอุ่นด้วยไมโครเวฟมีผลต่อจำนวน ขนาด และรูปร่างของโพรงอากาศภายในเนื้อมัพฟิน

ตารางที่ 10 แสดงชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสภายในของมัพฟิน ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) ความสามารถในการเกาะติด (adhesiveness) ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน (cohesiveness) ความเหนียว (gumminess) และค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (chewiness) ของมัพฟิน จากผลการทดสอบความแข็งของมัพฟินพบว่าสูตรควบคุม 1 ที่ไม่เติมพรีไบโอติกและแช่เย็นก่อนอบมีค่าความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือ สูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสแล้วนำไปแช่เย็นก่อนการอบ เนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสลงในส่วนผสมมัพฟินจะทำให้เนื้อของมัพฟินมีความแข็งลดลงมาจากสูตรควบคุมเล็กน้อย และสูตร 6 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสและนำไปอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีค่าความแข็งน้อยที่สุด อาจเนื่องมาจากพอลิเดกซ์โทรสสามารถดูดซับความชื้นได้ดี การอบก่อนแล้วนำเข้าแช่เย็นทำให้เนื้อมัพฟินหลังอบแล้วมีความชื้นเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่แช่เย็นก่อนอบกับอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟพบว่า ตัวอย่างที่แช่เย็นก่อนอบ ได้แก่ สูตรที่ 1 3 และ 5 มีความแข็งมากกว่าตัวอย่างที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ (สูตร 2 4 และ 6) สาเหตุที่มัพฟินสูตร 1 3 และ 5 มีความแข็งมากกว่าสูตร 2 4 และ 6 อาจเนื่องมาจากมัพฟินสูตร 2 4 และ 6 จะมีความชื้นเพิ่มขึ้นหลังจากอบแล้วและนำไปเก็บเข้าตู้เย็น จึงทำให้เนื้อมัพฟินมีความแข็งลดลง





**ภาพที่ 8** การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเนื้อตรงกลางภายในมัดฟิโนที่มี การเก็บแบบแช่เย็นก่อนอบ A (สูตร 1), C (สูตร 3) และ E (สูตร 5) และมีการอบก่อน แช่เย็นแล้วเข้าไมโครเวฟ B (สูตร 2), D (สูตร 4) และ F (สูตร 6) ด้วยกำลังขยาย 500 เท่า

ตารางที่ 10 ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตมัพฟินที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมัพฟิน

| สูตร | Hardness (g)                     | Springiness               | Adhesiveness (g. sec)        | Cohesiveness               | Gumminess (g)                    | Chewiness (g)                    |
|------|----------------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1    | 44,305.08 ± 3,859.2 <sup>a</sup> | 0.799 ± 0.03 <sup>c</sup> | -2.836 ± 0.29 <sup>d</sup>   | 0.639 ± 0.02 <sup>ab</sup> | 28,296.26 ± 2,096.3 <sup>a</sup> | 22,640.71 ± 2,212.9 <sup>a</sup> |
| 2    | 11,999.39 ± 1,968.1 <sup>d</sup> | 0.877 ± 0.04 <sup>b</sup> | -0.667 ± 0.28 <sup>ab</sup>  | 0.633 ± 0.01 <sup>ab</sup> | 7,582.79 ± 1,142.8 <sup>d</sup>  | 6,613.12 ± 700.9 <sup>d</sup>    |
| 3    | 19,317.13 ± 1,980.5 <sup>c</sup> | 0.856 ± 0.02 <sup>b</sup> | -1.530 ± 0.45 <sup>c</sup>   | 0.685 ± 0.02 <sup>a</sup>  | 13,213.34 ± 1,120.8 <sup>c</sup> | 11,304.37 ± 1,021.4 <sup>c</sup> |
| 4    | 12,160.08 ± 1,451.9 <sup>d</sup> | 0.861 ± 0.01 <sup>b</sup> | -0.857 ± 0.49 <sup>abc</sup> | 0.614 ± 0.02 <sup>bc</sup> | 7,454.57 ± 795.4 <sup>d</sup>    | 6,413.87 ± 655.0 <sup>d</sup>    |
| 5    | 34,824.59 ± 3,984.4 <sup>b</sup> | 0.867 ± 0.03 <sup>b</sup> | -1.308 ± 1.04 <sup>bc</sup>  | 0.571 ± 0.09 <sup>c</sup>  | 20,036.64 ± 4,507.3 <sup>b</sup> | 17,316.69 ± 3,609.7 <sup>b</sup> |
| 6    | 7,320.11 ± 1,026.5 <sup>e</sup>  | 0.926 ± 0.02 <sup>a</sup> | -0.401 ± 0.19 <sup>a</sup>   | 0.604 ± 0.04 <sup>bc</sup> | 4,441.87 ± 877.6 <sup>e</sup>    | 4,105.97 ± 748.8 <sup>d</sup>    |

a,b,... ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแถวตั้งแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ความยืดหยุ่นของเนื้อมัดฟืนสูตร 6 มีค่าสูงที่สุด และสูตรควบคุมที่ 1 มีค่าน้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าค่าความยืดหยุ่นที่วิเคราะห์ได้เป็นไปในทิศทางตรงกันข้ามกับค่าความแข็งในตารางที่ 10 ค่าความสามารถในการเกาะติดของสูตร 2 4 และ 6 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีค่าสูงที่สุด และไม่มีความแตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) อาจเนื่องจากมัดฟืนที่อบแล้วนำไปเก็บแบบแช่เย็นจะทำให้มีความชื้นเพิ่มขึ้น จึงทำให้เนื้อของมัดฟืนหลังอบมีความสามารถในการเกาะติดมากที่สุด รองลงมา คือ สูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสและแช่เย็นก่อนการอบ เนื่องจากพอลิเดกซ์โทรสมีความสามารถในการดูดความชื้นได้ ส่วนสูตรที่ไม่มีการเติมพรีไบโอติกโดยแช่เย็นก่อนอบมีความสามารถในการเกาะติดน้อยที่สุด เนื่องจากการอบในขั้นตอนสุดท้ายที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 35 นาที จะช่วยไล่น้ำอิสระในเนื้อของมัดฟืนออกไป ทำให้ค่าความสามารถในการเกาะติดลดลง

ผลของค่าความสามารถในการเกาะรวมตัวกันของมัดฟืนสูตร 3 มีค่าสูงสุด เนื่องจากการเติมอินูลินโดยแช่เย็นก่อนอบจะทำให้เนื้อของส่วนผสมของแป้งมีความแน่นและมีการเกาะรวมตัวกันได้ดีกว่าการเติมพอลิเดกซ์โทรสหรือการอบก่อนแช่เย็น ซึ่งการอบก่อนจะทำให้เกิดโพรงอากาศขนาดใหญ่ และมัดฟืนเกาะรวมตัวกันน้อย เนื้อของมัดฟืนเปราะและแตกหักได้ง่าย ในการทดสอบค่าความเหนียวของเนื้อมัดฟืนพบว่า สูตรควบคุม 1 (แช่เย็นก่อนอบ) มีค่าความเหนียวสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ สูตร 5 และ 3 ตามลำดับ อาจเนื่องจากความเหนียวของมัดฟืนมีความสัมพันธ์กับความแข็งของมัดฟืน ซึ่งจะเห็นได้จากผลของค่าความเหนียวและความแข็งมีความสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน โดยสูตร 6 มีค่าความเหนียวต่ำที่สุด เนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สามารถดูดความชื้นได้ และผ่านขั้นตอนการอบก่อนแช่เย็นและอุ่นด้วยไมโครเวฟ ทำให้เนื้อของมัดฟืนมีความเหนียวมากกว่ามัดฟืนที่แช่เย็นก่อนอบ และสำหรับค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวพบว่า สูตรควบคุมที่ 1 มีค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวสูงที่สุด เนื่องจากสูตร 1 มีค่าความแข็ง ค่าความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน และค่าความเหนียวสูงที่สุด จึงทำให้ค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวสูงมากที่สุดเช่นกัน รองลงมา ได้แก่ สูตร 5 และ 3 ตามลำดับ อาจเนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสในสูตร 5 มีความสามารถในการดูดความชื้นได้มากกว่าอินูลิน จึงทำให้การเติมพอลิเดกซ์โทรสมีค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวมากกว่าการเติมอินูลิน

ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนของการผลิตที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณไขมัน และปริมาณเส้นใยหยาบของมัดฟืนแสดงในตารางที่ 11 จากผลการทดลองพบว่า สูตรควบคุม 1 มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด เนื่องจากไม่เติมพรีไบโอติกและมีขั้นตอนการอบเป็นขั้นตอนสุดท้าย เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างการผลิตอินูลินและพอลิเดกซ์โทรสพบว่า การเติมอินูลินมีผลทำให้มัดฟืนมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าการเติมพอลิเดกซ์โทรส เนื่องจากพอลิเดกซ์โทรสสามารถดูดซับ



**ตารางที่ 11** ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตมัพฟินที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็ง ทั้งหมด ปริมาณไขมัน และปริมาณเส้นใยหยาบของมัพฟิน

| สูตร | ปริมาณความชื้น<br>(ร้อยละ) | ปริมาณของแข็ง<br>ทั้งหมด (ร้อยละ) | ปริมาณไขมัน<br>(ร้อยละ)   | ปริมาณเส้นใยหยาบ <sup>ns</sup><br>(ร้อยละ) |
|------|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|
| 1    | 9.63 ± 0.06 <sup>f</sup>   | 90.37 ± 0.06 <sup>a</sup>         | 16.91 ± 0.01 <sup>a</sup> | 0.64 ± 0.13                                |
| 2    | 13.96 ± 0.30 <sup>d</sup>  | 86.04 ± 0.06 <sup>c</sup>         | 17.29 ± 0.32 <sup>a</sup> | 0.73 ± 0.15                                |
| 3    | 14.69 ± 0.06 <sup>c</sup>  | 85.31 ± 0.06 <sup>d</sup>         | 17.27 ± 0.01 <sup>a</sup> | 0.43 ± 0.06                                |
| 4    | 13.03 ± 0.13 <sup>e</sup>  | 86.97 ± 0.13 <sup>b</sup>         | 17.24 ± 0.07 <sup>a</sup> | 0.76 ± 0.16                                |
| 5    | 15.70 ± 0.08 <sup>a</sup>  | 84.30 ± 0.08 <sup>f</sup>         | 17.01 ± 0.33 <sup>a</sup> | 0.38 ± 0.07                                |
| 6    | 15.28 ± 0.14 <sup>b</sup>  | 84.72 ± 0.14 <sup>e</sup>         | 16.00 ± 0.25 <sup>b</sup> | 0.60 ± 0.00                                |

a,b... ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแถวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ความชื้นได้ดีกว่า และมัพฟินที่มีการเติมพรีไบโอติกแบบอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีความชื้นมากกว่ามัพฟินที่แช่เย็นก่อนอบ เนื่องจากการให้ความร้อนที่หลังและให้ความร้อน 2 ครั้ง ทำให้ปริมาณความชื้นลดลง และพบว่ามัพฟินสูตรควบคุม 1 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด และสูตร 6 มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำที่สุด จากการทดลองจะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด ในเนื้อมัพฟินนอกจากขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของของแข็งทั้งหมดภายในส่วนผสมของมัพฟินแล้วยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบ รวมทั้งขั้นตอนการผลิต ได้แก่ การอบก่อนแช่เย็น และแช่เย็นก่อนอบด้วย เนื่องจากการให้ความร้อนจะทำให้ปริมาณน้ำในส่วนผสมของมัพฟินระเหยไปแล้วยังทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดภายในมัพฟินเพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งทุกสูตรมีการควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมดตั้งแต่การชั่งส่วนผสมในตารางที่ 1 แล้ว ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดภายในมัพฟินอาจเป็นผลมาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้น ได้แก่ อุณหภูมิและระยะเวลาการอบ อุณหภูมิและระยะเวลาการอุ่นด้วยไมโครเวฟ ส่วนประกอบที่มีความสามารถในการดูดซับความชื้น การชั่งน้ำหนักของส่วนผสมของมัพฟินในการผลิต และการวิธีการชั่งน้ำหนักและวิเคราะห์หาปริมาณของแข็งทั้งหมดด้วย สำหรับปริมาณไขมันของมัพฟินในสูตร 1-5 มีค่าสูงที่สุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และสูตร 6 มีปริมาณไขมันต่ำที่สุด เนื่องจากสูตร 6 ได้มีการทดแทนน้ำมันรำข้าวด้วยพอลิเดกซ์โทรสซึ่งมีสมบัติเป็นสารทดแทนไขมันโดยใส่แทนที่น้ำมันรำข้าวที่ระดับร้อยละ 2 แล้วนำไปอบ แช่เย็น และเข้าไมโครเวฟ จากการทดแทนน้ำมันรำข้าวด้วยสารทดแทนไขมันชนิดพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีการให้ความร้อน 2 ครั้ง อาจมีผลทำให้โครงสร้างและปริมาณของไขมันในสูตร 6 น้อยกว่าสูตรอื่น ๆ และพบว่าปริมาณเส้นใยหยาบในมัพฟินทั้ง 5 สูตร ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) อาจเนื่องจากผลการวิเคราะห์หาปริมาณเยื่อใยอาหารชนิดหยาบ ค่าที่ได้มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย (ร้อยละ 0.38-0.73) ไม่ส่งผลทำให้ค่าทางสถิติแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 12 แสดงชนิดของฟรีโบโอติกและขั้นตอนการผลิตมัพฟินที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณฟรักแทนของมัพฟิน จากผลการวิเคราะห์พบว่า สูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสและแซ่เย็นก่อนอบมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด อาจเนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรส (DP เฉลี่ย 12) มีผลทำให้มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากกว่าการเติมอินูลิน (DP เฉลี่ย 10) ซึ่งผลที่ได้แตกต่างจากตารางที่ 11 ที่พบว่าปริมาณเส้นใยหยาบไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่เมื่อวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในตารางที่ 11 พบว่าการเติมพอลิเดกซ์โทรสทำให้มัพฟินมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากกว่าสูตรที่เติมอินูลินเนื่องจากพอลิเดกซ์โทรสเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีสูตรโครงสร้างของกลูโคสที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีสมบัติเป็นใยอาหารที่ให้พลังงานต่ำ ซึ่งการวิเคราะห์หาปริมาณใยอาหารทั้งหมดจะรวมปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำได้และปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งผลการทดลองพบว่ากระบวนการเก็บแบบแซ่เย็นก่อนอบมีผลทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในมัพฟินมากกว่าการอบก่อนแซ่เย็นและเข้าไมโครเวฟ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ Chang (1989) ที่ได้รายงานว่าการใช้ไมโครเวฟให้ความร้อนมีผลทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำของเส้นใยอาหารจากแอปเปิ้ลและจมูกข้าวโอ๊ตลดลง แต่ช่วยเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำได้ของแอปเปิ้ล ดังนั้นประเภทหรือแหล่งของเส้นใยอาหารและกระบวนการผลิตโดยการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมีผลต่อปริมาณของเส้นใยอาหารทั้งหมดในผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในมัพฟินพบว่า สูตรควบคุม 1 มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด แต่เมื่อเติมอินูลินและพอลิเดกซ์โทรสพบว่า สูตร 5 และ 6 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรส มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดน้อยที่สุด เนื่องจากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ซึ่งส่วนใหญ่หมายถึงปริมาณน้ำตาลซูโครส เพราะไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณฟรักโทส กลูโคส มอลโทส และแล็กโทสได้ เนื่องจากมีปริมาณต่ำกว่า 0.10 กรัมต่อ 100 กรัม ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้สูตรที่ไม่เติมฟรีโบโอติกมีน้ำตาลทั้งหมดหรือน้ำตาลซูโครสสูงที่สุด และสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสซึ่งมีโครงสร้างเป็นน้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรควบคุมกับสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสในระหว่างกระบวนการผลิตทั้ง 2 กระบวนการ พบว่าการอบก่อนแซ่เย็นและเข้าไมโครเวฟ จะทำให้มัพฟินมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำกว่าการแซ่เย็นก่อนอบ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างการให้ความร้อนโดยการอบและนำเข้าแซ่เย็น และให้ความร้อนอีกครั้งด้วยไมโครเวฟ ซึ่งเป็นการให้ความร้อน 2 ครั้ง อาจมีผลทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในมัพฟินลดลง เนื่องจากการให้ความร้อนสูงแก่น้ำตาล จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลทำให้เกิดการคาราเมลไรเซชัน (caramelization) ซึ่งเป็นการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) สำหรับการหาปริมาณฟรักแทน (อินูลินรวมกับฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์) ได้ส่งตัวอย่างตรวจหาปริมาณฟรักแทนเฉพาะสูตร 3 4 และ 5 เท่านั้น เนื่องจากสูตร 1 2 และ 6 ไม่ได้มีการเติมอินูลินหรือฟรักแทนลงไปในสูตร และการวิเคราะห์หาปริมาณฟรักแทนในสูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสเพื่อเป็นการยืนยันการวิเคราะห์หาปริมาณฟรักแทนในสูตรมัพฟินปลอดกลูเตนที่เติม



**ตารางที่ 12** ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตมัพฟินที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหาร ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณฟรักแทนของมัพฟิน

| สูตร | ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด<br>(กรัมต่อ 100 กรัม) | ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด<br>(ร้อยละ) | ปริมาณฟรักแทน<br>(กรัมต่อ 100 กรัม) |
|------|------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 1    | 1.18                                           | 23.72                           | -                                   |
| 2    | 1.04                                           | 22.36                           | -                                   |
| 3    | 1.62                                           | 22.39                           | 2.16 ± 0.04 <sup>a</sup>            |
| 4    | 0.49                                           | 22.59                           | 2.04 ± 0.03 <sup>b</sup>            |
| 5    | 1.70                                           | 21.08                           | 0.37 ± 0.00 <sup>c</sup>            |
| 6    | 1.31                                           | 20.46                           | -                                   |

**หมายเหตุ** ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณฟรักโทส กลูโคส มอลโทส และแล็กโทสได้ เนื่องจากมีปริมาณต่ำกว่า 0.10 กรัมต่อ 100 กรัม

- หมายถึง ไม่ได้มีการส่งวิเคราะห์ เนื่องจากไม่ได้มีการเติมฟรักแทนลงในสูตร

พรีไบโอติกลงไปทดแทนน้ำมันรำข้าว ผลการทดลองพบว่า สูตร 3 และ 4 ที่เติมอินูลินมีปริมาณฟรักแทนมากกว่าสูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรส เนื่องจากสูตร 3 และ 4 มีการเติมอินูลินน้ำหนัก 20 กรัมต่อ 1,000 กรัม ทดแทนน้ำมันรำข้าวในสูตร คิดเป็นร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ปริมาณฟรักแทนที่วิเคราะห์ได้ในสูตร 3 มีค่าใกล้เคียงกับสูตร 4 โดยสูตร 3 ที่แช่เย็นก่อนอบมีปริมาณฟรักแทนมากกว่าสูตร 4 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟเล็กน้อย เนื่องจากการให้ความร้อนโดยการอบก่อนเก็บแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟอีกครั้ง มีผลทำให้ฟรักแทนสามารถเกิดเป็นคาราเมลได้เช่นกัน และสูตรที่ 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสพบว่ามีปริมาณฟรักแทนต่ำที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าสูตรที่ไม่เติมอินูลินจะมีปริมาณฟรักแทนต่ำที่สุด โดยมีปริมาณฟรักแทนเล็กน้อย (ร้อยละ 0.37) เนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก และเติมน้ำตาลทรายซึ่งเป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่มีโครงสร้างเป็นกลูโคสต่อกับฟรักโทส จึงน่าจะสามารถทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณฟรักแทน (GF<sub>n</sub> หรืออินูลิน) สามารถตรวจพบได้บ้างเล็กน้อย

ผลของชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อการประเมินทางประสาทสัมผัสของมัพฟิน ดังแสดงในตารางที่ 13 จากผลการประเมินคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของผู้ทดสอบชิมทางด้านลักษณะปรากฏ พบว่า สูตรควบคุม 1 และ 2 และสูตร 4 ที่เติมอินูลินและมีการอบก่อนแช่เย็นมีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด เนื่องจากเนื้อมัพฟินมีความแน่นแต่มีโพรงอากาศทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็กแทรกอยู่ในเนื้อของมัพฟิน ในขณะที่สูตร 3 ที่เติมอินูลินและแช่เย็นก่อนอบพบว่า ผิวหน้าและเนื้อภายในมัพฟินค่อนข้างแน่นและมีโพรงอากาศขนาดเล็ก เพียงเล็กน้อยและไม่สม่ำเสมอ ส่วนสูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสมีการแช่เย็นก่อนการอบมีผิวหน้าและเนื้อภายในมัพฟินที่แตกเป็นช่องเล็ก ๆ และมีความลึกลงจากผิวหน้าโดยมีรอยแตก 3-4

ตารางที่ 13 ชนิดของพีไอบีโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของมัฟฟิน

| ลักษณะทางประสาทสัมผัส | สูตรมัฟฟินปลอดกลูเตน      |                            |                           |                            |                            |                           |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
|                       | สูตรควบคุม                |                            | อินูลิน                   |                            | พอลิเดกซ์โตรส              |                           |
|                       | 1                         | 2                          | 3                         | 4                          | 5                          | 6                         |
| สัมผัส                | แช่เย็นก่อนอบ             | อบก่อนแช่                  | แช่เย็นก่อนอบ             | อบก่อนแช่                  | แช่เย็นก่อนอบ              | อบก่อนแช่                 |
| ลักษณะปรากฏ           | 5.30 ± 1.01 <sup>ab</sup> | 5.35 ± 0.97 <sup>a</sup>   | 5.04 ± 0.91 <sup>bc</sup> | 5.15 ± 0.93 <sup>abc</sup> | 5.00 ± 0.90 <sup>c</sup>   | 5.04 ± 0.90 <sup>bc</sup> |
| สี <sup>ns</sup>      | 6.18 ± 0.67               | 6.09 ± 0.70                | 6.07 ± 0.67               | 6.00 ± 0.72                | 6.01 ± 0.69                | 5.97 ± 0.73               |
| กลิ่น <sup>ns</sup>   | 5.48 ± 0.87               | 5.43 ± 0.78                | 5.42 ± 0.84               | 5.42 ± 0.79                | 5.37 ± 0.82                | 5.42 ± 0.79               |
| กลิ่นรส               | 5.52 ± 1.04 <sup>a</sup>  | 5.10 ± 0.95 <sup>bcd</sup> | 5.23 ± 0.99 <sup>b</sup>  | 4.90 ± 0.87 <sup>cd</sup>  | 5.18 ± 0.97 <sup>bc</sup>  | 4.84 ± 0.92 <sup>d</sup>  |
| รสชาติ                | 5.43 ± 0.97 <sup>a</sup>  | 5.28 ± 0.94 <sup>ab</sup>  | 5.27 ± 0.95 <sup>ab</sup> | 5.09 ± 0.89 <sup>b</sup>   | 5.21 ± 0.87 <sup>ab</sup>  | 5.01 ± 0.76 <sup>b</sup>  |
| ลักษณะเนื้อสัมผัส     | 4.68 ± 1.01 <sup>a</sup>  | 4.16 ± 0.91 <sup>bc</sup>  | 4.42 ± 1.07 <sup>ab</sup> | 3.92 ± 1.01 <sup>cd</sup>  | 4.28 ± 1.12 <sup>b</sup>   | 3.86 ± 1.02 <sup>d</sup>  |
| ความชอบโดยรวม         | 5.21 ± 0.92 <sup>a</sup>  | 4.89 ± 0.94 <sup>bc</sup>  | 5.09 ± 0.96 <sup>ab</sup> | 4.71 ± 0.97 <sup>c</sup>   | 4.95 ± 0.93 <sup>abc</sup> | 4.67 ± 0.95 <sup>c</sup>  |

a,b... ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>ns</sup> ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ภายในแนวนอน

ตำแหน่ง และสูตร 6 พบผิวหน้าและเนื้อภายในมีฟฟินมีขนาดรูอากาศขนาดใหญ่และเล็กปะปนกัน และมีรอยแตกเล็กบ้างเล็กน้อย (ภาพที่ 5 และ 6) สำหรับคะแนนทางด้านสีและกลิ่นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผู้บริโภครอบสัอยู่ในระดับชอบปานกลาง และกลิ่นอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย สูตรที่มีกลิ่นรสดีที่สุดในระดับชอบเล็กน้อย คือ สูตรควบคุม 1 รองลงมาคือ สูตร 3 ที่เติมอินูลินและแซ่เย็นก่อนอบ และรองลงมา คือ สูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสและแซ่เย็นก่อนอบ จะเห็นได้ว่าผู้บริโภครอบสัฟฟินที่มีการแซ่เย็นก่อนอบมากกว่าอบก่อนแซ่เย็นและเข้าไมโครเวฟ เนื่องจากการแซ่เย็นก่อนอบกลิ่นรสเป็นธรรมชาติมากกว่า แต่การอบก่อนแซ่เย็นและนำเข้าไมโครเวฟ อาจมีกลิ่น cooked flavor มากกว่า ส่วนขั้นตอนการอบก่อนแซ่เย็นจะพบว่า ผู้บริโภครอบกลิ่นรสของสูตรควบคุม 2 สูตร 4 และ 6 ไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) อาจเนื่องจากการเติมอินูลินและพอลิเดกซ์โทรสเพียงเล็กน้อย อาจไม่มีผลต่อกลิ่นรสของฟฟินที่มีกลิ่น cooked flavor มากกว่า สำหรับการประเมินทางคะแนนความชอบทางด้านรสชาติที่ได้รับจากผู้บริโภคสูงสุด คือ สูตรควบคุม 1 สูตร 2 3 และ 5 อยู่ในระดับชอบเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันทางสถิติ อาจเนื่องจากการเติมพรีไบโอติก (อินูลินหรือพอลิเดกซ์โทรส) แล้วนำไปอบก่อนแซ่เย็นและเข้าไมโครเวฟ ฟฟินมีรสชาติไม่สดใหม่เป็นธรรมชาติเหมือนสูตรที่แซ่เย็นก่อนอบ สูตรควบคุม 1 และสูตร 3 ที่เติมอินูลินและแซ่เย็นก่อนอบมีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด เนื่องจากเนื้อของฟฟินมีลักษณะแข็งไม่ดูดซับความชื้นมากเท่าสูตร 4 และ 6 ที่มีการเติมอินูลินและพอลิเดกซ์โทรสที่มีการอบก่อนแซ่เย็นและเข้าไมโครเวฟ เนื่องจากเนื้อฟฟินมีความนิ่มมากเกินไป และขั้นตอนการอบก่อนแล้วแซ่เย็นทีหลัง ทั้งอินูลินและพอลิเดกซ์โทรสจะดูดความชื้นจากบรรยากาศ ทำให้เนื้อฟฟินชื้นมากกว่า สูตรควบคุม 2 ที่ไม่เติมพรีไบโอติก นอกจากนี้ สูตร 1 3 และ 5 ที่มีการแซ่เย็นก่อนอบมีความชอบโดยรวมสูงสุดอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเนื้อของฟฟินมีความแข็งมากกว่าสูตร 2 4 และ 6 ที่มีการอบก่อนแซ่เย็นและเข้าไมโครเวฟ ซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็ง (ตารางที่ 6) การอบก่อนแล้วเก็บเข้าแซ่เย็น เนื้อของฟฟินจะมีลักษณะนิ่ม เนื่องจากอินูลินและพอลิเดกซ์โทรสดูดความชื้นจากบรรยากาศเข้ามาในเนื้อฟฟินมากขึ้น

จากการศึกษาชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่เหมาะสมต่อคุณภาพทางกายภาพเคมี และประสาทสัมผัสของฟฟินในระหว่างการเก็บแบบแซ่เย็น สรุปได้ว่า สูตร 5 มีค่าความสว่าง ค่าความเข้มของสีแดง ค่าความเข้มของสีเหลือง ปริมาตรเฉพาะ ค่าความแข็ง ค่าความยืดหยุ่น ค่าความเหนียว และค่าแรงในการเคี้ยวของฟฟินใกล้เคียงสูตรควบคุม 1 มากที่สุด สูตร 3 มีความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกันของฟฟิน ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะติด ความสามารถในการเกาะรวมตัวกันของฟฟินใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 1 และพบว่าสูตร 4 มีปริมาตรจำเพาะ ความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกัน และความสามารถในการเกาะรวมตัวกันของฟฟินใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 2 การตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาพบว่า สูตร 5 มีลักษณะของเนื้อฟฟินที่มีรอยแตกเป็นร่องที่ผิวหน้าและมีโพรงอากาศขนาดเล็กกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอภายในบริเวณตรงกลางของเนื้อฟฟินมากกว่าสูตรอื่น ส่วนสูตร 6 และ 4 มีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลใกล้เคียงกับสูตร

ควบคุม 1 และ 2 ตามลำดับ สูตร 4 มีปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมดใกล้เคียงสูตรควบคุม 1 และ 2 มัฟฟินสูตร 6 มีปริมาณไขมันและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำที่สุด สูตร 5 มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด สูตร 3 มีปริมาณฟรักแทนสูงที่สุด

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสมัฟฟินพบว่า สูตร 3 มีคะแนนความชอบทางด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากสูตรควบคุม 1 และมีคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏ และกลิ่นรสรองลงมาจากสูตรควบคุม 1 เพียงเล็กน้อย สูตร 4 มีคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏสูงสุดและไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม 1 และ 2 ( $p > 0.05$ ) โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษาในขั้นตอนนี้ เพื่อหาชนิดของพรีไบโอติกที่สามารถทดแทนไขมันในการผลิตมัฟฟินให้มีสมบัติที่ดี มีปริมาณไขมันและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำ รวมทั้งมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูง ดังนั้นจึงเลือกสูตร 5 เพื่อนำไปศึกษาหาปริมาณของพรีไบโอติกที่เหมาะสมในการผลิตมัฟฟินปลอดกลูเตนที่ทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์ที่เก็บแบบแช่เย็นได้ จากผลการทดลอง แม้ว่าสูตร 5 จะมีปริมาณไขมัน และปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำรองลงมาจากสูตร 6 แต่สูตร 6 มีคะแนนทางด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสต่ำ จึงเลือกสูตร 5 ซึ่งมีคะแนนทางด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่าง ( $p > 0.05$ ) จากสูตร 3 ที่แช่เย็นก่อนอบเหมือนกัน และได้คะแนนทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม และเมื่อคำนึงถึงสมบัติของพรีไบโอติกในการเป็นสารทดแทนไขมันและประโยชน์ของพรีไบโอติกที่เป็นเส้นใยอาหารที่ดีต่อสุขภาพ จึงเลือกสูตร 5 ที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงที่สุด รวมทั้งมีปริมาณไขมันและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำที่สุด อีกทั้งยังมีลักษณะทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยนำสูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสมาศึกษาหาปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสที่ใช้ในการผลิตมัฟฟินเพื่อทดแทนน้ำมันรำข้าวโดยมีขั้นตอนการผลิตแบบเก็บแช่เย็นและศึกษาสมบัติทางด้านต่าง ๆ ของมัฟฟินต่อไป

#### 4.2 ศึกษาปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสที่มีต่อสมบัติของมัฟฟินที่เก็บแบบแช่เย็น

ในการศึกษาปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสที่มีผลต่อคุณภาพของมัฟฟินในระหว่างการเก็บแบบแช่เย็น ได้มีการกำหนดแต่ละสูตรในการหาปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของมัฟฟินที่เก็บรักษาแบบแช่เย็น ดังแสดงในตารางที่ 14

ผลปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อค่าสีของมัฟฟินแสดงในตารางที่ 15 จากการวัดค่าสีของมัฟฟินพบว่า สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนักที่แช่เย็นก่อนอบมีค่าความสว่างสูงสุด เพราะพอลิเดกซ์โทรสมีสีขาวครีมปนสีน้ำตาลเล็กน้อย ดังนั้นถ้าเพิ่มปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสเป็นร้อยละ 30 และ 40 จะทำให้ค่าความสว่างของมัฟฟินลดลง ส่วนสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสทั้ง 5 ระดับ ได้แก่ 0 10 20 30 และ 40 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟพบว่า ค่าความสว่างไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) อาจเนื่องจากการอบด้วยความร้อนสูงก่อน

ตารางที่ 14 ปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตในแต่ละสูตร

| สูตร | ปริมาณของพอลิเดกซ์โทรส (ร้อยละ) | ขั้นตอนการผลิต             |
|------|---------------------------------|----------------------------|
| 1    | 0                               | แช่เย็นก่อนอบ              |
| 2    | 0                               | อบ แช่เย็น และเข้าไมโครเวฟ |
| 3    | 10                              | แช่เย็นก่อนอบ              |
| 4    | 10                              | อบ แช่เย็น และเข้าไมโครเวฟ |
| 5    | 20                              | แช่เย็นก่อนอบ              |
| 6    | 20                              | อบ แช่เย็น และเข้าไมโครเวฟ |
| 7    | 30                              | แช่เย็นก่อนอบ              |
| 8    | 30                              | อบ แช่เย็น และเข้าไมโครเวฟ |
| 9    | 40                              | แช่เย็นก่อนอบ              |
| 10   | 40                              | อบ แช่เย็น และเข้าไมโครเวฟ |

ตารางที่ 15 ปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อค่าสีของมัทฟิน

| สูตรที่ | $L^*$                  | $a^*$                 | $b^*$                 | BI                   |
|---------|------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 1       | $68.38 \pm 1.12^a$     | $1.33 \pm 0.25^d$     | $20.63 \pm 0.87^d$    | $6.21 \pm 0.45^f$    |
| 2       | $63.42 \pm 2.14^d$     | $1.46 \pm 0.23^d$     | $21.13 \pm 0.58^d$    | $7.02 \pm 0.41^{de}$ |
| 3       | $66.43 \pm 0.81^{ab}$  | $1.14 \pm 0.21^d$     | $20.96 \pm 0.43^d$    | $6.50 \pm 0.25^{ef}$ |
| 4       | $64.03 \pm 0.70^{cd}$  | $2.74 \pm 0.18^{abc}$ | $23.56 \pm 0.70^{bc}$ | $8.14 \pm 0.34^{bc}$ |
| 5       | $66.87 \pm 2.63^{ab}$  | $2.56 \pm 0.35^{bc}$  | $23.48 \pm 0.67^{bc}$ | $7.68 \pm 0.60^{cd}$ |
| 6       | $64.73 \pm 0.60^{bcd}$ | $2.81 \pm 0.13^{abc}$ | $23.83 \pm 0.28^{bc}$ | $8.16 \pm 0.13^{bc}$ |
| 7       | $66.23 \pm 1.58^b$     | $2.94 \pm 0.38^{ab}$  | $23.82 \pm 0.83^{bc}$ | $7.97 \pm 0.61^c$    |
| 8       | $64.01 \pm 1.33^{cd}$  | $3.01 \pm 0.18^a$     | $24.72 \pm 0.99^{ab}$ | $8.68 \pm 0.46^{ab}$ |
| 9       | $66.04 \pm 2.03^{bc}$  | $2.47 \pm 0.48^c$     | $23.01 \pm 1.21^c$    | $7.58 \pm 0.47^{cd}$ |
| 10      | $62.96 \pm 0.89^d$     | $3.05 \pm 0.20^a$     | $25.53 \pm 1.50^a$    | $9.23 \pm 0.81^a$    |

a,b,... ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

การแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟอีกครั้งทำให้เนื้อมัทฟินเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสีน้ำตาลเนื่องจากเกิดคาราเมลไรเซชัน สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 และ 10 ที่แช่เย็นก่อนอบ และร้อยละ 0 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีความเข้มของสีแดงน้อยที่สุด เนื่องจากพอลิเดกซ์โทรส มีสีขาวครีมออกสีน้ำตาลเล็กน้อย เมื่อเติมในปริมาณมากขึ้นมีผลทำให้ความเข้มของสีแดงเพิ่มขึ้น สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 และ 10 ที่แช่เย็นก่อนอบ และร้อยละ 0 ที่อบก่อนแช่เย็นและ



เข้าไมโครเวฟมีค่าความเข้มข้นของสีเหลืองน้อยที่สุด และในสูตรที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ เมื่อเพิ่มปริมาณพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นของสีเหลืองจะเพิ่มขึ้นและเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าความเข้มข้นของสีแดงที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรส ร้อยละ 0 และ 10 โดยน้ำหนัก ที่แช่เย็นก่อนอบมีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณ พอลิเดกซ์โทรสเป็นร้อยละ 20 30 และ 40 ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นและไม่แตกต่างกัน ส่วนมัพฟินที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟพบว่า มีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลสูงขึ้นเมื่อปริมาณ พอลิเดกซ์โทรสมากขึ้น เนื่องจากเมื่ออบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ ถ้าเติมพอลิเดกซ์โทรสมากขึ้น ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลจะมากขึ้นจากการเกิดคาราเมลเซชัน

ตารางที่ 16 แสดงผลของปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาตร จำเพาะของมัพฟิน จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ร้อยละ 0 10 และ 20 ที่แช่เย็นก่อนอบมีปริมาตรจำเพาะน้อยกว่าที่ระดับร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเติม พอลิเดกซ์โทรสเป็นการแทนที่น้ำมันรำข้าวโดยน้ำหนัก ถ้าเติมปริมาณพอลิเดกซ์โทรสมากขึ้นเป็น ร้อย ละ 30 และ 40 จะทำให้น้ำหนักของน้ำมันรำข้าวในสูตรน้อยลง ส่งผลทำให้ปริมาตรโดยรวม ของมัพฟินสูงขึ้น (ปริมาตรจำเพาะเท่ากับปริมาตรมัพฟิน/น้ำหนักของมัพฟิน) เนื่องจาก พอลิเดกซ์โทรสอาจมีส่วนช่วยทำให้เกิดโพรงอากาศและการขึ้นฟูของเนื้อมัพฟินเมื่อได้รับความร้อน ส่งผลให้มีปริมาตรจำเพาะของมัพฟินเพิ่มขึ้น สำหรับมัพฟินที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 ที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟพบว่า มัพฟินทั้ง 5 สูตร มีปริมาตรจำเพาะ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับต่าง ๆ ไม่มีผลต่อปริมาตร และน้ำหนักของมัพฟินที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ

ตารางที่ 17 แสดงปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ของมัพฟิน จากผลการทดสอบพบว่า สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 10 ที่แช่เย็นก่อนอบ มีความแข็งน้อยกว่าสูตรควบคุม 1 และเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิเดกซ์โทรสเป็นร้อยละ 20 และ 30 จะมี ค่าความแข็งมากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณพอลิเดกซ์โทรสเป็นร้อยละ 40 ค่าความแข็งของมัพฟิน จะลดลงและไม่แตกต่างจากที่ระดับร้อยละ 0 และ 10 โดยน้ำหนัก อาจเนื่องจากการเติม พอลิเดกซ์โทรสซึ่งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีสมบัติเป็นเส้นใยอาหารและมีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ ถ้ามีการเติมลงไปปริมาณที่พอดีจะทำให้มัพฟินมีความแข็งเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเติมลงไปปริมาณน้อย หรือมากเกินไป (ร้อยละ 10 และ 40 โดยน้ำหนัก) ค่าความแข็งจะลดลงเพราะการแช่เย็นก่อนอบ อาจมีผลทำให้พอลิเดกซ์โทรสดูดซับความชื้นจากการบรรยากาศในการแช่เย็นเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ เมื่ออบเสร็จมัพฟินจะมีความแข็งน้อยกว่าสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสในระดับที่พอดีซึ่งไม่มากและน้อย จนเกินไป (ร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก) สำหรับสูตรที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ พบว่า การเติมพอลิเดกซ์โทรสทำให้ค่าความแข็งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่เติมพอลิเดกซ์โทรส เนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสและนำไปอบและแช่เย็นทำให้ความชื้นของมัพฟินหลังอบเสร็จแล้ว เพิ่มขึ้น จึงมีผลทำให้ค่าความแข็งลดลง โดยที่ตัวอย่างที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 16 ปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาตรจำเพาะของมัพฟิน

| สูตรที่ | ปริมาตรจำเพาะ (มิลลิลิตรต่อกรัม) |
|---------|----------------------------------|
| 1       | $1.19 \pm 0.04^c$                |
| 2       | $1.21 \pm 0.09^c$                |
| 3       | $1.26 \pm 0.06^{bc}$             |
| 4       | $1.20 \pm 0.05^c$                |
| 5       | $1.27 \pm 0.04^{bc}$             |
| 6       | $1.24 \pm 0.03^c$                |
| 7       | $1.37 \pm 0.02^{ab}$             |
| 8       | $1.28 \pm 0.11^{abc}$            |
| 9       | $1.39 \pm 0.05^a$                |
| 10      | $1.31 \pm 0.03^{abc}$            |

a,b... ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแถวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

มีค่าความแข็งสูงรองลงมาจากสูตรที่ไม่เติมพอลิเดกซ์โทรส เนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรส ในปริมาณที่มากหรือน้อยเกินไป (ร้อยละ 10 20 และ 40 โดยน้ำหนัก) มีผลทำให้โครงสร้างของมัพฟิน ไม่แข็งแรงหลังจากอบก่อนเข้าแช่เย็นและอุ่นด้วยไมโครเวฟ แต่การเติมพอลิเดกซ์โทรสในปริมาณ ที่พอดี (ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก) จะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของมัพฟินหลังจากอบ ก่อนแล้วเก็บเข้าแช่เย็นและอุ่นด้วยไมโครเวฟ

สำหรับการทดสอบความยืดหยุ่นของมัพฟินที่มีการแช่เย็นก่อนอบทั้ง 5 สูตร พบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนมัพฟินที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟที่เติม พอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 20 และ 30 โดยน้ำหนัก มีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างจากร้อยละ 0 ส่วนสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 10 และ 40 โดยน้ำหนัก มีค่าความยืดหยุ่นสูงที่สุด เนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสในปริมาณที่น้อยและมากจนเกินไป เมื่อนำมัพฟินที่อบแล้วไปเก็บ แช่เย็นจะมีการดูดความชื้นในขณะที่แช่เย็นเพิ่มขึ้นทำให้สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทสร้อยละ 10 และ 40 มีความยืดหยุ่นมากกว่าสูตรอื่น ในด้านความสามารถในการเกาะติดของมัพฟินทั้ง 10 สูตร พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) อาจเนื่องจากปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตในแต่ละ สูตร ทำให้เนื้อของมัพฟินหลังอบมีการเปลี่ยนแปลงหลังได้รับความร้อนและมีความสามารถในการ ดูดความชื้นไว้ภายในเนื้อได้ใกล้เคียงกันในระหว่างการเก็บแช่เย็น จึงมีผลทำให้มัพฟินทั้ง 10 สูตร มีความสามารถในการเกาะติดไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าสูตรทั้ง 5 ที่มีการแช่เย็นก่อนอบ มีความสามารถในการเกาะรวมตัวกันไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากทั้ง 5 สูตร หลังจากแช่เย็น

ตารางที่ 17 ปริมาณของพอลิเดกซ์ไทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมัพฟิน

| สูตรที่ | Hardness (g)                      | Springiness               | Adhesiveness <sup>ns</sup> (g.sec) | Cohesiveness               | Gumminess (g)                     | Chewiness (g)                    |
|---------|-----------------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1       | 6,491.23 ± 1,244.9 <sup>e</sup>   | 0.883 ± 0.13 <sup>a</sup> | -0.89 ± 0.30                       | 0.676 ± 0.03 <sup>ab</sup> | 4,370.08 ± 696.8 <sup>e</sup>     | 3,888.45 ± 929.1 <sup>c</sup>    |
| 2       | 17,651.24 ± 1,400.7 <sup>a</sup>  | 0.776 ± 0.02 <sup>b</sup> | -0.81 ± 0.45                       | 0.475 ± 0.02 <sup>e</sup>  | 8,384.42 ± 829.9 <sup>a</sup>     | 6,499.29 ± 606.9 <sup>a</sup>    |
| 3       | 4,058.62 ± 1,121.1 <sup>f</sup>   | 0.934 ± 0.01 <sup>a</sup> | -0.34 ± 0.32                       | 0.655 ± 0.02 <sup>b</sup>  | 2,643.16 ± 661.2 <sup>f</sup>     | 2,466.80 ± 614.2 <sup>d</sup>    |
| 4       | 9,290.97 ± 1,459.9 <sup>d</sup>   | 0.899 ± 0.01 <sup>a</sup> | -0.83 ± 0.77                       | 0.654 ± 0.01 <sup>b</sup>  | 6,079.96 ± 994.8 <sup>cd</sup>    | 5,457.89 ± 839.6 <sup>ab</sup>   |
| 5       | 9,981.15 ± 875.9 <sup>cd</sup>    | 0.889 ± 0.01 <sup>a</sup> | -1.02 ± 0.32                       | 0.673 ± 0.01 <sup>ab</sup> | 6,721.00 ± 628.2 <sup>bcd</sup>   | 5,972.82 ± 499.8 <sup>ab</sup>   |
| 6       | 11,987.97 ± 2,497.5 <sup>c</sup>  | 0.801 ± 0.01 <sup>b</sup> | -0.81 ± 0.49                       | 0.534 ± 0.02 <sup>d</sup>  | 6,386.37 ± 1,242.8 <sup>bcd</sup> | 5,117.63 ± 998.9 <sup>b</sup>    |
| 7       | 11,149.10 ± 1,386.9 <sup>cd</sup> | 0.873 ± 0.03 <sup>a</sup> | -0.95 ± 0.52                       | 0.666 ± 0.01 <sup>ab</sup> | 7,416.42 ± 885.3 <sup>ab</sup>    | 6,482.96 ± 875.2 <sup>a</sup>    |
| 8       | 14,451.48 ± 2,575.8 <sup>b</sup>  | 0.769 ± 0.01 <sup>b</sup> | -0.81 ± 0.30                       | 0.503 ± 0.00 <sup>de</sup> | 7,264.75 ± 1,297.9 <sup>abc</sup> | 5,590.46 ± 1,026.3 <sup>ab</sup> |
| 9       | 4,714.33 ± 1,226.4 <sup>ef</sup>  | 0.915 ± 0.03 <sup>a</sup> | -0.94 ± 0.73                       | 0.705 ± 0.08 <sup>a</sup>  | 3,617.28 ± 521.8 <sup>ef</sup>    | 3,308.86 ± 467.0 <sup>cd</sup>   |
| 10      | 9,515.25 ± 717.6 <sup>d</sup>     | 0.870 ± 0.03 <sup>a</sup> | -0.65 ± 0.68                       | 0.594 ± 0.01 <sup>c</sup>  | 5,648.25 ± 319.8 <sup>d</sup>     | 4,907.73 ± 217.4 <sup>b</sup>    |

a,b... ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแถวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ภายในแถวตั้ง



ส่วนผสมจะมีความชื้นเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถในการเกาะรวมตัวกันของเนื้อมัพฟินหลังการอบไม่แตกต่างกัน และพบว่าสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 10 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีความสามารถในการเกาะรวมตัวกันมากที่สุด เนื่องจากเนื้อของมัพฟินจะต้องมีความชื้นในส่วนผสมบ้างเล็กน้อยจึงจะมีความสามารถในการเกาะรวมตัวกันของมัพฟินได้ ซึ่งการเติมพอลิเดกซ์โทรสในปริมาณเล็กน้อย (ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก) ส่งผลให้มัพฟินหลังอบเสร็จมีความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อนำมาเก็บแบบแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ ทำให้ความสามารถในการเกาะรวมตัวกันมากที่สุด

มัพฟินที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 30 ที่แช่เย็นก่อนอบมีความเหนียวมากที่สุด รองลงมาคือ ร้อยละ 20 เนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสในปริมาณที่พอดีจะมีการดูดความชื้นในขณะแช่เย็น ส่วนผสมก่อนอบ มีผลทำให้เนื้อของมัพฟินมีความเหนียวมากที่สุด และมัพฟินที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 และ 30 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ มีค่าความเหนียวมากที่สุด เนื่องจากการอบก่อนแช่เย็นแล้วเข้าไมโครเวฟจะทำให้ผิวด้านนอกของมัพฟินมีความเหนียวมากกว่าสูตรที่แช่เย็นก่อนอบ และเมื่อเติมพอลิเดกซ์โทรสซึ่งมีสมบัติเป็นเส้นใยอาหารในปริมาณที่น้อยหรือมากจนเกินไปจะทำให้ค่าความเหนียวลดลง แต่ถ้าเติมในปริมาณที่พอดีและนำไปอบ แช่เย็น และเข้าไมโครเวฟจะทำให้โครงสร้างของมัพฟินมีความเหนียวมากที่สุด สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 20 และ 30 ที่แช่เย็นก่อนอบ เนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสที่แช่เย็นก่อนอบในปริมาณที่พอดีจะทำให้เนื้อของมัพฟินแข็งมากที่สุด ส่งผลให้ต้องใช้แรงในการเคี้ยวมากที่สุด ส่วนการเติมพอลิเดกซ์โทรสในปริมาณที่น้อยหรือมากจนเกินไป (ร้อยละ 10 และ 40 โดยน้ำหนัก) โดยเก็บแช่เย็นก่อนอบมีผลทำให้ค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวน้อยลง และพบว่าสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 10 และ 30 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ มีค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวสูงสุด นอกจากนี้การเติมพอลิเดกซ์โทรสในปริมาณที่พอดี (ร้อยละ 20) หรือมากเกินไป (ร้อยละ 40) โดยให้ความร้อน 2 ครั้ง (อบและเข้าไมโครเวฟ) อาจทำให้พอลิเดกซ์โทรสดูดความชื้นในระหว่างการแช่เย็นหลังอบได้มากขึ้น ส่งผลทำให้ค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวน้อยลง

ผลของปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณไขมัน และปริมาณเส้นใยหยาบของมัพฟิน ดังแสดงในตารางที่ 18 ผลของปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาณความชื้นของมัพฟิน พบว่า สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 40 ที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด รองลงมาคือ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสในปริมาณมาก เมื่ออบแล้วนำไปแช่เย็นจะมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เพราะว่าพอลิเดกซ์โทรสและเบเกอรี่ที่อบแล้วมีความสามารถในการดูดความชื้นในบรรยากาศในขณะแช่เย็นได้เพิ่มขึ้น และเมื่อนำมาให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ โมเลกุลของน้ำที่มีอยู่ในเนื้อของมัพฟินมีการสั่นสะเทือนเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ มีผลทำให้มัพฟินเกิดความร้อนและมีความชื้นระเหยออกไป จึงอาจมีผลทำให้การเติมพอลิเดกซ์โทรสที่ร้อยละ 40 มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด และเมื่อหาปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่า สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 40 ที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด



**ตารางที่ 18** ปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณไขมัน และปริมาณเส้นใยหยาบของมัทพิน

| สูตรที่ | ปริมาณความชื้น<br>(ร้อยละ) | ปริมาณของแข็ง<br>ทั้งหมด (ร้อยละ) | ปริมาณไขมัน<br>(ร้อยละ)    | ปริมาณเส้นใย-<br>หยาบ (ร้อยละ) |
|---------|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1       | 17.36 ± 0.15 <sup>c</sup>  | 82.64 ± 0.15 <sup>h</sup>         | 19.19 ± 0.04 <sup>a</sup>  | 0.62 ± 0.04 <sup>d</sup>       |
| 2       | 17.70 ± 0.07 <sup>b</sup>  | 82.30 ± 0.07 <sup>i</sup>         | 18.63 ± 0.73 <sup>ab</sup> | 0.73 ± 0.00 <sup>c</sup>       |
| 3       | 18.74 ± 0.24 <sup>a</sup>  | 81.26 ± 0.24 <sup>j</sup>         | 18.55 ± 0.04 <sup>ab</sup> | 0.74 ± 0.01 <sup>c</sup>       |
| 4       | 15.26 ± 0.11 <sup>d</sup>  | 84.74 ± 0.11 <sup>g</sup>         | 18.27 ± 0.14 <sup>ab</sup> | 0.76 ± 0.10 <sup>c</sup>       |
| 5       | 13.69 ± 0.10 <sup>e</sup>  | 86.31 ± 0.10 <sup>f</sup>         | 18.33 ± 0.40 <sup>ab</sup> | 0.79 ± 0.00 <sup>bc</sup>      |
| 6       | 10.40 ± 0.06 <sup>h</sup>  | 89.60 ± 0.06 <sup>c</sup>         | 18.09 ± 0.11 <sup>b</sup>  | 0.77 ± 0.02 <sup>c</sup>       |
| 7       | 12.92 ± 0.15 <sup>f</sup>  | 87.08 ± 0.15 <sup>e</sup>         | 16.74 ± 0.73 <sup>c</sup>  | 0.83 ± 0.04 <sup>bc</sup>      |
| 8       | 10.04 ± 0.04 <sup>i</sup>  | 89.96 ± 0.04 <sup>b</sup>         | 16.05 ± 0.07 <sup>c</sup>  | 0.89 ± 0.09 <sup>ab</sup>      |
| 9       | 12.68 ± 0.04 <sup>g</sup>  | 87.32 ± 0.04 <sup>d</sup>         | 13.31 ± 0.38 <sup>d</sup>  | 0.96 ± 0.02 <sup>a</sup>       |
| 10      | 9.81 ± 0.05 <sup>j</sup>   | 90.19 ± 0.05 <sup>a</sup>         | 13.20 ± 0.15 <sup>d</sup>  | 0.98 ± 0.03 <sup>a</sup>       |

a,b... ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแถวตั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสในปริมาณมากขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้น รองลงมา คือ ร้อยละ 30 และ 20 ตามลำดับ สำหรับการหาปริมาณไขมันพบว่า สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 40 ที่แช่เย็นก่อนอบและอบก่อนแช่เย็นแล้วเข้าไมโครเวฟมีปริมาณไขมันต่ำสุด รองลงมา คือ ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก เพราะมีการแทนที่ส่วนผสมของน้ำมันในมัทพินด้วยการเติมพอลิเดกซ์โทรสเป็นสารทดแทนไขมัน ถ้าเติมพอลิเดกซ์โทรสทดแทนน้ำมันในปริมาณมาก (ร้อยละ 40) จะมีปริมาณไขมันในสูตรน้อย สำหรับการหาปริมาณเส้นใยหยาบพบว่า สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 40 ที่แช่เย็นก่อนอบ และสูตรที่เติมร้อยละ 30 และ 40 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีปริมาณเส้นใยหยาบสูงที่สุด เพราะพอลิเดกซ์โทรสเป็นพรีไบโอติกที่เป็นทั้งสารทดแทนไขมันและเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยอาหาร ดังนั้นการเติมพอลิเดกซ์โทรสในปริมาณมาก จึงทำให้มีปริมาณไขมันในมัทพินต่ำ และมีปริมาณเส้นใยอาหารสูง

ตารางที่ 19 แสดงผลของปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณซูโครสของมัทพิน จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดพบว่า สูตรที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด (ร้อยละ 1.93 โดยน้ำหนัก) และเมื่อพิจารณาเฉพาะสูตรที่มีการแช่เย็นก่อนอบพบว่า การเติมที่ระดับร้อยละ 40

**ตารางที่ 19** ปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด และปริมาณซูโครสของมัทพิน

| ปริมาณพอลิเดกซ์โทรส<br>(ร้อยละ) | ปริมาณเส้นใยอาหาร<br>ทั้งหมด (ร้อยละ) | ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด<br>(ร้อยละ) | ปริมาณซูโครส<br>(ร้อยละ) |
|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 1                               | 1.14                                  | 17.04                           | 17.04                    |
| 2                               | 0.86                                  | 19.95                           | 19.95                    |
| 3                               | 1.05                                  | 18.79                           | 18.79                    |
| 4                               | 1.48                                  | 19.86                           | 19.86                    |
| 5                               | 1.28                                  | 18.84                           | 18.84                    |
| 6                               | 0.50                                  | 19.49                           | 19.49                    |
| 7                               | 1.14                                  | 18.79                           | 18.79                    |
| 8                               | 1.93                                  | 19.56                           | 19.56                    |
| 9                               | 1.33                                  | 18.30                           | 18.30                    |
| 10                              | 0.39                                  | 19.74                           | 19.74                    |

หมายเหตุ ไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณฟรักโทส กลูโคส มอลโทส และแล็กโทสได้ เนื่องจากมีปริมาณต่ำกว่า 0.10 กรัมต่อ 100 กรัม

มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด (ร้อยละ 1.33 โดยน้ำหนัก) การเติมปริมาณพอลิเดกซ์โทรสเพิ่มขึ้นในสูตรไม่ได้ทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามด้วย เนื่องจากการผลิตมัทพินในแต่ละสูตรยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยอาหารร่วมอยู่ เช่น แขนแทนกัม และโปรตีนถั่วเหลืองที่ใช้เป็นสารทดแทนไข่ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งเส้นใยอาหารทั้งหมดออกเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดยังไม่มีผลชัดเจน สำหรับการหาปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำตาลซูโครส เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์หาปริมาณฟรักโทส กลูโคส มอลโทส และแล็กโทสได้ เพราะมีปริมาณต่ำกว่า 0.10 กรัมต่อ 100 กรัม จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลทั้งหมดพบว่าสูตรที่ไม่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่แช่เย็นก่อนอบมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำตาลซูโครสต่ำที่สุด (ร้อยละ 17 โดยน้ำหนัก) การเติมพอลิเดกซ์โทรสในปริมาณที่สูงขึ้น (ร้อยละ 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก) ในสูตรที่มีการแช่เย็นก่อนอบพบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก คือ ร้อยละ 18 โดยน้ำหนัก และการเติมปริมาณพอลิเดกซ์โทรสเพิ่มขึ้นในสูตรที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟพบว่า ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกันเช่นกัน คือ ร้อยละ 19 โดยน้ำหนัก สาเหตุที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดในตัวอย่างที่แช่เย็นก่อนอบน้อยกว่าอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟน่าจะเกิดจากในระหว่างการเก็บส่วนผสมแช่เย็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิต่ำสามารถเจริญและใช้น้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนในการเจริญในระหว่างการเก็บได้

ตารางที่ 20 แสดงผลของปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของมัฟฟิน จากผลการประเมินทางประสาทสัมผัสพบว่า คະแนนความชอบของมัฟฟินที่เติมพอลิเดกซ์โทรสทั้ง 5 สูตร ที่แช่เย็นก่อนอบมีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏสูงสุด สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ที่แช่เย็นก่อนอบรวมทั้งสูตรที่เติมร้อยละ 0 และ 30 ที่อบก่อนแช่เย็น และเข้าไมโครเวฟ มีคะแนนความชอบด้านสีสูงสุด สำหรับความชอบทางด้านกลิ่นของ 5 สูตร ที่แช่เย็นก่อนอบ และร้อยละ 0 ที่อบก่อนแช่เย็น และเข้าไมโครเวฟ มีคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสสูงสุด ในการประเมินความชอบทางด้านกลิ่นรสพบว่า สูตรที่เติมร้อยละ 0 10 20 และ 30 ที่แช่เย็นก่อนอบ และร้อยละ 0 และ 30 ที่อบก่อนแช่เย็น และเข้าไมโครเวฟ มีคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสสูงสุด อาจเนื่องจากการเติมพอลิเดกซ์โทรสในปริมาณร้อยละ 40 มีผลทำให้กลิ่นรสของมัฟฟินลดน้อยลง และพบว่า ทั้ง 5 สูตรที่แช่เย็นก่อนอบมีคะแนนด้านรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสที่สูงที่สุด และสูงกว่าการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ และพบว่าความชอบโดยรวมของมัฟฟินที่แช่เย็นก่อนอบที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก มีคะแนนสูงที่สุด และสูงกว่าสูตรที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ

จากผลการศึกษาปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของมัฟฟินที่เก็บแบบแช่เย็น สรุปได้ว่าการวิเคราะห์หาสมบัติทางกายภาพของมัฟฟินที่มีการแช่เย็นก่อนอบที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 0 10 และ 20 โดยน้ำหนัก มีค่าความสว่างมากที่สุด สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 และ 10 ที่แช่เย็นก่อนอบมีค่าความเข้มของสีแดง ความเข้มของสีเหลือง และดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำที่สุด สูตรที่เติมร้อยละ 0 10 และ 20 มีปริมาตรจำเพาะน้อยกว่าที่ระดับร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนัก การเติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 10 และ 40 ที่แช่เย็นก่อนอบมีความแข็งใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 1 และที่ร้อยละ 30 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีความแข็งใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 2 สำหรับสูตรที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 30 มีความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะตัวกัน ความเหนียว และค่าแรงในการเคี้ยวไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม 2 ส่วนสูตรที่แช่เย็นก่อนอบที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 40 มีความเหนียวและค่าแรงในการเคี้ยวไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม 1

สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางด้านเคมีของมัฟฟิน สรุปได้ว่าสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 40 ที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด และปริมาณของแข็งสูงที่สุด สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 40 ทั้ง 2 ขั้นตอนการผลิตมีปริมาณไขมันต่ำที่สุด และปริมาณเส้นใยหยาบสูงที่สุด และที่ระดับร้อยละ 30 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด และที่ระดับร้อยละ 40 ที่แช่เย็นก่อนอบ มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด

ตารางที่ 20 ปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อการลักษณะทางประสาทสัมผัสของมัฟฟิน

| ลักษณะทาง<br>ประสาทสัมผัส | ปริมาณพอลิเดกซ์โทรส (ร้อยละโดยน้ำหนัก) |                            |                            |                          |                            |                           |                           |                             |                            |                            |
|---------------------------|----------------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                           | 0                                      |                            | 10                         |                          | 20                         |                           | 30                        |                             | 40                         |                            |
|                           | 1<br>แช่เย็นก่อน                       | 2<br>อบก่อน                | 3<br>แช่เย็นก่อน           | 4<br>อบก่อน              | 5<br>แช่เย็นก่อน           | 6<br>อบก่อน               | 7<br>แช่เย็นก่อน          | 8<br>อบก่อน                 | 9<br>แช่เย็นก่อน           | 10<br>อบก่อน               |
| ลักษณะปรากฏ               | 5.76 ± 0.79 <sup>a</sup>               | 5.39 ± 0.85 <sup>bc</sup>  | 5.52 ± 0.98 <sup>ab</sup>  | 4.85 ± 1.20 <sup>e</sup> | 5.58 ± 0.94 <sup>ab</sup>  | 4.99 ± 1.18 <sup>de</sup> | 5.73 ± 0.81 <sup>a</sup>  | 5.42 ± 0.93 <sup>bc</sup>   | 5.55 ± 0.87 <sup>ab</sup>  | 5.18 ± 1.00 <sup>cd</sup>  |
| สี                        | 5.96 ± 0.82 <sup>a</sup>               | 5.89 ± 0.83 <sup>ab</sup>  | 5.66 ± 1.06 <sup>bcd</sup> | 5.35 ± 0.94 <sup>e</sup> | 5.82 ± 1.03 <sup>abc</sup> | 5.51 ± 0.96 <sup>de</sup> | 5.97 ± 0.69 <sup>a</sup>  | 5.75 ± 0.74 <sup>abcd</sup> | 5.80 ± 0.96 <sup>abc</sup> | 5.59 ± 0.84 <sup>cde</sup> |
| กลิ่น                     | 5.67 ± 1.04 <sup>a</sup>               | 5.60 ± 0.94 <sup>ab</sup>  | 5.40 ± 1.19 <sup>abc</sup> | 4.87 ± 1.23 <sup>e</sup> | 5.59 ± 1.02 <sup>ab</sup>  | 5.00 ± 1.25 <sup>de</sup> | 5.73 ± 1.04 <sup>a</sup>  | 5.29 ± 1.17 <sup>bcd</sup>  | 5.44 ± 1.09 <sup>abc</sup> | 5.13 ± 1.19 <sup>cde</sup> |
| กลิ่นรส                   | 5.69 ± 0.96 <sup>a</sup>               | 5.68 ± 0.83 <sup>a</sup>   | 5.43 ± 1.13 <sup>abc</sup> | 4.84 ± 1.27 <sup>d</sup> | 5.51 ± 1.14 <sup>ab</sup>  | 5.11 ± 1.17 <sup>cd</sup> | 5.62 ± 1.01 <sup>ab</sup> | 5.45 ± 0.99 <sup>ab</sup>   | 5.32 ± 1.11 <sup>bc</sup>  | 5.29 ± 0.97 <sup>bc</sup>  |
| รสชาติ                    | 5.70 ± 0.97 <sup>a</sup>               | 5.07 ± 1.57 <sup>cd</sup>  | 5.52 ± 1.07 <sup>ab</sup>  | 4.53 ± 1.49 <sup>e</sup> | 5.66 ± 1.05 <sup>a</sup>   | 4.77 ± 1.38 <sup>de</sup> | 5.63 ± 1.03 <sup>a</sup>  | 5.22 ± 1.45 <sup>bc</sup>   | 5.58 ± 0.98 <sup>ab</sup>  | 4.95 ± 1.39 <sup>cd</sup>  |
| ลักษณะเนื้อ<br>สัมผัส     | 5.52 ± 1.09 <sup>a</sup>               | 4.73 ± 1.50 <sup>b</sup>   | 5.27 ± 1.08 <sup>a</sup>   | 4.22 ± 1.58 <sup>c</sup> | 5.52 ± 1.16 <sup>a</sup>   | 4.22 ± 1.74 <sup>c</sup>  | 5.63 ± 0.92 <sup>a</sup>  | 4.61 ± 1.58 <sup>bc</sup>   | 5.49 ± 0.96 <sup>a</sup>   | 4.37 ± 1.55 <sup>bc</sup>  |
| ความชอบ<br>โดยรวม         | 5.70 ± 0.86 <sup>a</sup>               | 5.26 ± 1.07 <sup>bcd</sup> | 5.39 ± 1.11 <sup>abc</sup> | 4.59 ± 1.19 <sup>f</sup> | 5.66 ± 0.90 <sup>a</sup>   | 4.96 ± 1.14 <sup>de</sup> | 5.57 ± 1.08 <sup>ab</sup> | 5.23 ± 1.10 <sup>cd</sup>   | 5.29 ± 1.18 <sup>bc</sup>  | 4.79 ± 1.21 <sup>ef</sup>  |

a,b... ตัวอักษรที่ต่างกันภายในแนวนอน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า มัฟฟินทั้ง 5 สูตรที่แช่เย็นก่อนอบมีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏสูงสุด สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 20 30 และ 40 ที่แช่เย็นก่อนอบ และร้อยละ 0 และ 30 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีคะแนนด้านสีสูงสุด และพบว่าทั้ง 5 สูตร ที่แช่เย็นก่อนอบและสูตรที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟไม่เติมพอลิเดกซ์โทรสมีคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นสูงสุด สูตรที่เติมร้อยละ 0 10 20 และ 30 ที่แช่เย็นก่อนอบและสูตรที่ไม่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีคะแนนทางด้านกลิ่นรสสูงสุด อีกทั้ง 5 สูตร ที่แช่เย็นก่อนอบมีรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดีที่สุด จากผลการทดสอบจะเห็นว่าผู้บริโภครู้สึกชอบมัฟฟินสูตรที่แช่เย็นก่อนอบมากกว่าสูตรที่อบก่อนแช่เย็นและอุ่นด้วยไมโครเวฟ และคะแนนความชอบโดยรวมของมัฟฟินที่แช่เย็นก่อนอบที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก มีคะแนนความชอบโดยรวมสูงที่สุด ซึ่งผู้บริโภคชอบมากกว่าสูตรที่อบก่อนแช่เย็นและอุ่นด้วยไมโครเวฟ

ดังนั้นในขั้นตอนการคัดเลือกปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสที่มีผลต่อคุณภาพทางด้านต่าง ๆ ที่ดี จึงเลือกมัฟฟินที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่แช่เย็นก่อนอบเนื่องจากมีปริมาณเส้นใยหยาบและเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด และมีปริมาณไขมันต่ำที่สุด แม้จะมีคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสและความชอบโดยรวมเป็นรองสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 30 ที่แช่เย็นก่อนอบเล็กน้อยก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาการวัดค่าเนื้อสัมผัสของมัฟฟินพบว่า ตัวอย่างที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่แช่เย็นก่อนอบ มีค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะติด ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน ความเหนียว และค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวไม่แตกต่างกับสูตรควบคุม 1 จึงเลือกสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่แช่เย็นก่อนอบ มาศึกษาหาอายุการเก็บรักษาของมัฟฟินแบบแช่เย็นต่อไป

#### 4.3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาของมัฟฟินที่เก็บแบบแช่เย็น

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของพรีไบโอติกเพื่อเป็นสารทดแทนไขมันในส่วนผสมของมัฟฟินในระหว่างการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็น จากผลของการศึกษาข้างต้นได้คัดเลือกชนิดและปริมาณของพรีไบโอติกที่มีสมบัติทางด้านต่าง ๆ ที่ดี คือ การเติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่แช่เย็นส่วนผสมก่อนนำไปให้ความร้อนด้วยเตาอบ และนำมาศึกษาหาอายุการเก็บรักษาของมัฟฟินแบบแช่เย็นส่วนผสมก่อนอบ โดยเก็บเป็นระยะเวลา 0 7 และ 14 วัน แล้วนำไปอบและศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพ เคมี จุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของมัฟฟิน ซึ่งระยะเวลาการเก็บส่วนผสมของมัฟฟินแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อค่าสีของมัฟฟินได้แสดงในตารางที่ 21

ผลของระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นส่วนผสมก่อนอบที่มีต่อค่าสีของมัฟฟินหลังอบพบว่า ส่วนผสมของมัฟฟินที่ไม่มีการเก็บแช่เย็น (0 วัน) โดยนำไปอบทันที มีค่าความสว่าง ค่าความเข้มของสีแดง และค่าความเข้มของสีเหลืองมากที่สุด เนื่องจากส่วนผสมของมัฟฟินที่อบเสร็จใหม่ ๆ



ตารางที่ 21 ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อค่าสีของมัฟฟิน

| ระยะเวลาเก็บ<br>แช่เย็น (วัน) | $L^*$              | $a^*$             | $b^*$              | BI <sup>ns</sup> |
|-------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| 0                             | $49.43 \pm 0.61^a$ | $9.85 \pm 0.30^a$ | $25.80 \pm 0.43^a$ | $14.63 \pm 0.58$ |
| 7                             | $39.87 \pm 0.65^b$ | $8.14 \pm 0.34^b$ | $20.32 \pm 0.86^b$ | $14.30 \pm 0.82$ |
| 14                            | $39.59 \pm 1.11^b$ | $7.15 \pm 0.14^c$ | $20.30 \pm 0.35^b$ | $14.10 \pm 0.59$ |

โดยไม่มีการแช่เย็นส่วนผสมก่อนอบ เนื้อของมัฟฟินมีความสว่าง ความเข้มของสีแดง และความเข้มของสีเหลืองมากที่สุด อาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของการเกิดเป็นสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (millard reaction) ซึ่งเกิดจากน้ำตาลรีดิวซ์ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโนหรือสารประกอบไนโตรเจนเมื่อนำไปอบ และอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงสีน้ำตาลแบบคาราเมลไรเซชันได้ ซึ่งเป็นการเกิดสีน้ำตาลแบบไมใช่เอนไซม์ (non-enzymatic browning reaction) และเมื่อเก็บส่วนผสมของมัฟฟินแช่เย็นนานขึ้นเป็นเวลา 7 วัน ก่อนนำไปอบ เนื้อมัฟฟินมีค่าความสว่าง ความเข้มของสีแดง และความเข้มของสีเหลืองลดลง อาจเนื่องมาจากเนื้อมัฟฟินมีสีน้ำตาลแดงหลังอบและมีการเติมพอลิเดกซ์โทรสลงไป (ร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก) และการเก็บแช่เย็นส่วนผสมก่อนอบมีผลทำให้เนื้อของมัฟฟินมีสีเขียวและสีน้ำเงินเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความสว่าง ความเข้มของสีแดง และความเข้มของสีเหลืองลดลง และเมื่อเก็บส่วนผสมแช่เย็นนาน 14 วัน ค่าความเข้มของสีแดงน้อยที่สุด ส่วนค่าความสว่าง และค่าความเข้มของสีเหลืองไม่แตกต่างจากการเก็บส่วนผสมแช่เย็นนาน 7 วัน อาจเนื่องมาจากเมื่อเก็บส่วนผสมแช่เย็นนาน 7 หรือ 14 วัน ปริมาณพอลิเดกซ์โทรสที่เติมลงไปไม่มีผลต่อค่าความเข้มของสีเหลืองและค่าความสว่างของสี แต่มีผลทำให้ค่าความเข้มของสีแดงลดลงเนื่องจากส่วนผสมของมัฟฟินในขณะเก็บแช่เย็นมีความชื้นเพิ่มขึ้นทำให้สีของมัฟฟินเมื่ออบแล้วมีแดงลดลง และพบว่าระยะเวลาเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นจาก 0 ถึง 14 วัน ไม่มีผลต่อดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของมัฟฟิน ( $p > 0.05$ ) เนื่องจากปริมาณพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสี ค่าความเข้มของสีแดง และค่าความเข้มของสีเหลืองเมื่อเก็บส่วนผสมแช่เย็นนาน 14 วัน อีกทั้งอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบมัฟฟินเท่ากันจึงทำให้ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของมัฟฟินไม่เปลี่ยนแปลงหลังอบ

ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อปริมาณจำเพาะของมัฟฟินหลังอบแสดงในตารางที่ 22 ผลการทดลองพบว่า มัฟฟินที่ไม่แช่เย็นส่วนผสมก่อนอบ (0 วัน) มีปริมาณจำเพาะสูงที่สุด และเมื่อเก็บส่วนผสมแช่เย็นเป็นเวลานานขึ้นจาก 0 เป็น 14 วัน ปริมาณจำเพาะของมัฟฟินลดลง อาจเนื่องจากสาเหตุ 2 ประการ คือ ประการแรก การเก็บส่วนผสมของมัฟฟินแบบแช่เย็นทำให้ปริมาณของมัฟฟินหลังอบลดลง เนื่องจากผงฟูทำหน้าที่เพิ่มปริมาตรให้กับมัฟฟินหลังการอบได้ไม่ดีเท่ากับการอบส่วนผสมของมัฟฟินทันทีโดยไม่แช่เย็น ประการที่ 2 มัฟฟินมีน้ำหนักหลังอบเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 22 ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อปริมาณจำเพาะของมัพฟิน

| ระยะเวลาเก็บแช่เย็น (วัน) | ปริมาณจำเพาะ (มิลลิกรัม/กรัม) |
|---------------------------|-------------------------------|
| 0                         | $1.97 \pm 0.06^a$             |
| 7                         | $1.84 \pm 0.04^b$             |
| 14                        | $1.72 \pm 0.03^c$             |

ซึ่งเป็นสาเหตุจากการเก็บส่วนผสมแช่เย็นไว้นาน 14 วัน ก่อนอบทำให้ปริมาณความชื้นของส่วนผสมของมัพฟินที่แช่เย็นเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในตู้แช่เย็น และเมื่อนำไปอบด้วยอุณหภูมิและระยะเวลาเท่าเดิมในเตาอบ จึงทำให้ความชื้นของเนื้อมัพฟินหลังอบสูงกว่า ส่งผลทำให้น้ำหนักของมัพฟินหลังอบมากกว่า ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณจำเพาะของมัพฟินลดลง

ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมัพฟิน ดังแสดงในตารางที่ 23 จากผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของมัพฟินหลังอบพบว่า มัพฟินที่ไม่เก็บส่วนผสมแช่เย็นก่อนอบมีค่าความแข็ง ค่าความสามารถในการรวมตัวกัน ค่าความเหนียว และค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวน้อยกว่าส่วนผสมของมัพฟินที่แช่เย็นก่อนอบ อาจเนื่องจากการเก็บส่วนผสมแช่เย็นทำให้ส่วนผสมมีการเซ็ตตัว มีลักษณะเนื้อที่แน่น ประกอบกับพอลิเดกซ์โทรสที่เติมลงไปมีการดูดซับความชื้นทำให้เนื้อของมัพฟินมีความสามารถในการรวมตัวได้ดี มีความเหนียว และต้องใช้แรงในการเคี้ยวมากกว่าส่วนผสมที่ไม่แช่เย็นและอบทันที และพบว่าส่วนผสมที่แช่เย็นก่อนอบนาน 7 และ 14 วัน มีความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะติด ความสามารถในการรวมตัวกัน ความเหนียว และแรงที่ใช้ในการเคี้ยวไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องจากมัพฟินที่เติมพอลิเดกซ์โทรสและเก็บแช่เย็นเป็นระยะเวลานาน 14 วัน ไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสทางด้านต่าง ๆ ของมัพฟิน เพราะปริมาณการเติมพอลิเดกซ์โทรสและสภาวะการเก็บแช่เย็นเป็นสภาวะเดียวกัน เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของลม รวมทั้งระยะเวลาการเก็บแช่เย็นที่ใกล้เคียงกันอาจไม่ส่งผลต่อความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถในการเกาะติด ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน ความเหนียว และแรงที่ใช้ในการเคี้ยวของเนื้อมัพฟิน นอกจากนี้การเก็บหรือไม่เก็บส่วนผสมแช่เย็นไม่มีผลต่อความยืดหยุ่นและความสามารถในการเกาะติดด้วย

ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าเพอร์ออกไซด์ของมัพฟิน ดังแสดงในตารางที่ 24 ผลของระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระพบว่า ผลของปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ มัพฟินที่แช่เย็นส่วนผสมก่อนอบเป็นระยะเวลานานจะมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระมากขึ้น เนื่องจากการดูดซับความชื้นของพอลิเดกซ์โทรสในตู้แช่เย็น และเมื่อปริมาณน้ำอิสระสูงส่งผลทำให้ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 23 ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของมัฟฟินหลังอบ

| ระยะเวลาการเก็บแช่เย็น (วัน) | Hardness (g)                   | Springiness <sup>ns</sup> | Adhesiveness <sup>ns</sup> (g.sec) | Cohesiveness              | Gumminess (g)                     | Chewiness (g)                    |
|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 0                            | 1,311.90 ± 477.7 <sup>b</sup>  | 0.75 ± 0.06               | -0.92 ± 0.44                       | 0.36 ± 0.09 <sup>b</sup>  | 3,696.66 ± 1,106.81 <sup>b</sup>  | 2,739.13 ± 710.64 <sup>b</sup>   |
| 7                            | 2,680.27 ± 933.90 <sup>a</sup> | 0.81 ± 0.09               | -1.51 ± 1.67                       | 0.52 ± 0.16 <sup>a</sup>  | 5,623.45 ± 2,552.60 <sup>ab</sup> | 4,623.22 ± 2,252.76 <sup>a</sup> |
| 14                           | 2,483.81 ± 836.72 <sup>a</sup> | 0.77 ± 0.09               | -1.63 ± 0.65                       | 0.41 ± 0.13 <sup>ab</sup> | 6,402.07 ± 2,476.79 <sup>a</sup>  | 4,917.01 ± 1,817.15 <sup>a</sup> |

ตารางที่ 24 ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ปริมาณของแข็งทั้งหมด และค่าเปอร์ออกไซด์ของมัฟฟินหลังอบ

| ระยะเวลาเก็บแช่เย็น (วัน) | ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)   | ปริมาณน้ำอิสระ           | ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ) | ค่าเปอร์ออกไซด์ (meq peroxide/kg) |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 0                         | 24.65 ± 0.18 <sup>c</sup> | 0.77 ± 0.00 <sup>c</sup> | 75.35 ± 0.18 <sup>a</sup>     | 3.77 ± 0.01 <sup>c</sup>          |
| 7                         | 29.99 ± 0.15 <sup>b</sup> | 0.79 ± 0.00 <sup>b</sup> | 70.01 ± 0.15 <sup>b</sup>     | 6.67 ± 0.47 <sup>b</sup>          |
| 14                        | 31.51 ± 0.34 <sup>a</sup> | 0.80 ± 0.00 <sup>a</sup> | 68.49 ± 0.34 <sup>c</sup>     | 8.12 ± 0.38 <sup>a</sup>          |



สูงด้วย การไม่แช่เย็นส่วนผสมของมัพฟินก่อนอบทำให้เนื้อมัพฟินมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระหลังอบน้อยที่สุด เนื่องจากการอบมัพฟินทันทีหลังผสมเสร็จแล้วปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระขึ้นอยู่กับปริมาณส่วนผสมที่เป็นของเหลวในสูตร สำหรับการเก็บแช่เย็นส่วนผสมก่อนอบที่มีต่อปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่า การเก็บแช่เย็นส่วนผสมนานขึ้นมีผลทำให้ปริมาณของแข็งทั้งหมดในมัพฟินหลังอบน้อยลง อาจเนื่องจากส่วนผสมของมัพฟินมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นในระหว่างการเก็บรักษามักมีจุลินทรีย์เจริญร่วมด้วย ซึ่งปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร ได้แก่ สารอาหาร ความชื้น pH ปริมาณออกซิเจน และสารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งมีผลทำให้น้ำตาลซึ่งเป็นของแข็งในส่วนผสมมีปริมาณลดลงกว่าตัวอย่างที่ไม่เก็บส่วนผสมแช่เย็น สำหรับการหาค่าเพอร์ออกไซด์พบว่า ปริมาณเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บส่วนผสมมัพฟินแช่เย็นนานขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid oxidation) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบและทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศทำให้เกิดกลิ่นหืน (rancidity) (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนพานนท์, 2553) โดยค่าเพอร์ออกไซด์ คือ ปริมาณออกไซด์ในมัพฟินที่มีน้ำมันหรือไขมันเป็นองค์ประกอบ (จำนวนมิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตมัพฟินที่มีน้ำมันหรือไขมันเป็นองค์ประกอบ) หรือจำนวนมิลลิกรัมสมมูลของเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนที่มีในมัพฟินที่มีไขมันหรือน้ำมัน 1 กิโลกรัม ซึ่งเมื่อเก็บส่วนผสมของมัพฟินแช่เย็นนานขึ้น น้ำมันและไขมันในมัพฟินสามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศทำให้ค่าเพอร์ออกไซด์ในมัพฟินมากขึ้น ซึ่งอาจส่งผลทำให้มัพฟินที่เก็บแช่เย็นนานกว่าสามารถเกิดกลิ่นหืนได้มากกว่ามัพฟินที่อบทันทีโดยไม่เก็บแช่เย็น

ตารางที่ 25 แสดงระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นที่มีต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณยีสต์และราทั้งหมดของมัพฟินหลังอบ จากผลการอบส่วนผสมของมัพฟินทันทีโดยไม่มีการเก็บแช่เย็นพบว่า มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดน้อยกว่าการเก็บส่วนผสมแช่เย็นไว้ก่อนอบ และเมื่อเก็บส่วนผสมแช่เย็นไว้นาน 7 วัน พบว่า มัพฟินหลังอบมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินค่ามาตรฐานกำหนด (ไม่เกิน  $1,000 \text{ CFU/g}^{-1}$ ) (มผช. 747/2555) เนื่องจากส่วนผสมของมัพฟินมีสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมด รวมทั้งมีปริมาณความชื้นและน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้นในส่วนผสมของมัพฟินในระหว่างการเก็บแช่เย็น ซึ่งน่าจะเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ และเมื่อเก็บส่วนผสมแช่เย็นไว้นาน 14 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดกลับลดลง อาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์เริ่มตายและสารอาหารในส่วนผสมเหลือน้อยลง ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมดในมัพฟินมีน้อยที่สุด (ตารางที่ 24) ส่งผลให้การเจริญของจุลินทรีย์ทั้งหมดอยู่ในช่วง dead phase หรือ decline phase ที่มีอัตราการตายของจุลินทรีย์ทั้งหมดสูงกว่าจุลินทรีย์ทั้งหมดที่เพิ่มขึ้น สำหรับปริมาณยีสต์และราทั้งหมดในระหว่างการเก็บส่วนผสมแช่เย็นนาน 14 วัน มีค่าไม่เกิน  $100 \text{ CFU/g}^{-1}$  ซึ่งเป็นค่าที่มาตรฐานกำหนด (มผช. 747/2555) เนื่องจากยีสต์และราไม่ชอบอาหารที่มีความชื้นและ  $a_w$  สูง พวกมันชอบเจริญในอาหารที่มีความชื้นและค่า  $a_w$  ต่ำ เช่น ยีสต์และราบางชนิด ได้แก่ osmophilic yeast และ xerophilic mold ที่ชอบ  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.60-0.65 แต่ยังมียีสต์และรา



**ตารางที่ 25** ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบที่มีต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและปริมาณยีสต์และราทั้งหมดของมัพฟินหลังอบ

| ระยะเวลาการเก็บแช่เย็น<br>(วัน) | ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด<br>(CFU/g <sup>-1</sup> ) | ปริมาณยีสต์และราทั้งหมด<br>(CFU/g <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 0                               | 30 ± 14.14 <sup>c</sup>                           | 100 ± 0.00                                        |
| 7                               | 1,390 ± 84.85 <sup>a</sup>                        | 100 ± 0.00                                        |
| 14                              | 190 ± 0.00 <sup>b</sup>                           | < 100 ± 0.00                                      |

บางชนิดที่สามารถทำให้อาหารที่มี  $a_w$  อยู่ในช่วง 0.80-0.88 เสื่อมเสียได้ (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนพานนท์, 2553) ดังนั้นยีสต์และราบางชนิดที่หลงเหลืออยู่ในมัพฟินเกินค่ามาตรฐานกำหนดอาจมีผลทำให้มัพฟินเสื่อมเสียได้

ตารางที่ 26 แสดงระยะเวลาการเก็บส่วนผสมมัพฟินแช่เย็นที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสจากการประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัสของมัพฟินเมื่อเก็บส่วนผสมแช่เย็นนาน 14 วัน ก่อนอบพบว่า ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่การอบทันทีโดยไม่เก็บแช่เย็นมีผลทำให้มัพฟินมีคะแนนด้านกลิ่นสูงกว่าการเก็บส่วนผสมแช่เย็น เนื่องจากการเก็บส่วนผสมแช่เย็นไว้ก่อนอบจะทำให้กลิ่นหอมของมัพฟินด้อยลง นอกจากนี้ยังพบว่า การเก็บส่วนผสมแช่เย็นไว้ก่อนอบมีผลทำให้คะแนนทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของมัพฟินดีกว่าการอบมัพฟินทันทีโดยไม่เก็บส่วนผสมแช่เย็น ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเก็บส่วนผสมแช่เย็นมีผลทำให้เนื้อมัพฟินมีความแข็ง ความเหนียว ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน และแรงที่

**ตารางที่ 26** ระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นที่มีต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของมัพฟินหลังอบ

| ลักษณะทางประสาทสัมผัส       | ระยะเวลาเก็บรักษา (วัน)  |                           |                          |
|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                             | 0                        | 7                         | 14                       |
| ลักษณะปรากฏ <sup>ns</sup>   | 3.20 ± 0.76              | 3.46 ± 1.05               | 3.60 ± 0.99              |
| สี <sup>ns</sup>            | 3.62 ± 0.92              | 3.84 ± 0.82               | 3.68 ± 0.89              |
| กลิ่น                       | 3.86 ± 0.83 <sup>a</sup> | 3.32 ± 0.94 <sup>b</sup>  | 3.18 ± 0.98 <sup>b</sup> |
| กลิ่นรส <sup>ns</sup>       | 3.26 ± 0.92              | 3.02 ± 0.96               | 3.16 ± 0.89              |
| รสชาติ <sup>ns</sup>        | 2.92 ± 1.12              | 2.98 ± 0.87               | 3.14 ± 0.99              |
| ลักษณะเนื้อสัมผัส           | 2.38 ± 1.07 <sup>c</sup> | 2.74 ± 1.08 <sup>ab</sup> | 3.04 ± 1.14 <sup>a</sup> |
| ความชอบโดยรวม <sup>ns</sup> | 3.16 ± 0.89              | 3.22 ± 0.93               | 3.38 ± 0.85              |

ใช้ในการเคี้ยวสูงกว่ามัพฟินที่อบทันทีโดยไม่แช่เย็น ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของมัพฟินโดยใช้เครื่องมือวัด (ตารางที่ 23)

จากการศึกษาหาอายุการเก็บรักษาของมัพฟินแบบแช่เย็นส่วนผสมก่อนนำไปอบ สามารถสรุปได้ว่า มัพฟินที่อบทันทีโดยไม่แช่เย็นมีค่าความสว่าง ค่าความเข้มของสีแดง และค่าความเข้มของสีเหลืองมากที่สุด เมื่อเก็บแช่เย็นนานขึ้นค่าความสว่าง ความเข้มของสีแดง และค่าความเข้มของสีเหลืองลดลง โดยค่าความเข้มของสีแดงน้อยที่สุดเมื่อเก็บแช่เย็นนาน 14 วัน นอกจากนี้ระยะเวลาเก็บส่วนผสมแช่เย็นไม่มีผลทำให้ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลแตกต่างกัน ปริมาตรจำเพาะของมัพฟินมีค่าสูงสุดในตัวอย่างที่ไม่เก็บแช่เย็น และถ้าเก็บแช่เย็นนานขึ้นมีผลทำให้ปริมาตรจำเพาะของมัพฟินลดลง มัพฟินที่อบทันทีโดยไม่แช่เย็นมีความแข็ง ความสามารถในการรวมตัวกัน ความเหนียว และแรงที่ใช้ในการเคี้ยวน้อยกว่ามัพฟินที่เก็บแช่เย็น การอบมัพฟินทันทีโดยไม่แช่เย็นทำให้มีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระหลังอบน้อยที่สุด แต่ถ้าเก็บส่วนผสมแช่เย็นนานขึ้นทำให้ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณเพอร์ออกไซด์ในมัพฟินหลังอบเพิ่มขึ้น แต่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง เมื่อเก็บส่วนผสมแช่เย็นนาน 14 วัน มัพฟินมีคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างกัน แต่การอบส่วนผสมทันทีโดยไม่แช่เย็นทำให้มัพฟินมีกลิ่นที่ดีกว่า แต่ลักษณะเนื้อสัมผัสด้อยกว่ามัพฟินที่เก็บแช่เย็น สำหรับการหาปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และราทั้งหมดที่มีต่อระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแช่เย็น สรุปได้ว่าการอบส่วนผสมทันทีโดยไม่แช่เย็นทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดต่ำที่สุด แต่ถ้าเก็บส่วนผสมแช่เย็นไว้นาน 7 วัน ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดเกินค่ามาตรฐาน แต่ปริมาณยีสต์และราทั้งหมดไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้แม้เก็บส่วนผสมแช่เย็นนาน 14 วัน ดังนั้น ส่วนผสมของมัพฟินสามารถเก็บแช่เย็นไว้ได้เป็นเวลานาน 4-5 วัน ก่อนนำไปอบ โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์ และราทั้งหมดไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

##### 5.1.1 ผลของชนิดของพรีไบโอติกที่มีต่อสมบัติของมัพฟินที่เก็บแบบแช่เย็น

ชนิดของพรีไบโอติกและขั้นตอนการผลิตที่มีต่อค่าสีของมัพฟิน สรุปได้ว่าสูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่แช่เย็นก่อนอบมีค่าความสว่างสูงสุด สูตร 6 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีค่าความเข้มของสีแดงมากที่สุด สูตรควบคุม 1 มีค่าความเข้มของสีเหลืองมากที่สุด รองลงมาได้แก่ สูตร 3 และสูตร 5 ซึ่งมีค่าความเข้มของสีเหลืองไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) สูตรที่มีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลสูงที่สุด คือ สูตร 1 3 และ 6 และสูตรที่มีปริมาตรจำเพาะมากที่สุด คือ สูตร 3 และ 6 นอกจากนี้สูตร 3 ที่เติมอินูลินและแช่เย็นก่อนอบมีความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกันของมัพฟินใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 1 และสูตร 4 ที่เติมอินูลินและอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกันของมัพฟินใกล้เคียงกับสูตรควบคุม 2

การตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ที่ผิวหน้าของมัพฟิน สรุปได้ว่าสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสและเก็บแช่เย็นก่อนอบมีลักษณะผิวหน้าแตกเป็นร่องลึกและเป็นทางยาว รวมทั้งมีโพรงอากาศขนาดใหญ่และเล็กกระจายอยู่ที่ผิวหน้า สำหรับการตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาที่บริเวณเนื้อตรงกลางภายในมัพฟิน สรุปได้ว่ามัพฟินที่แช่เย็นก่อนอบมีโพรงอากาศขนาดเล็กและมีจำนวนโพรงอากาศมากกว่าสูตรที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ การเติมอินูลินทำให้มัพฟินมีโพรงอากาศขนาดใหญ่และมีจำนวนโพรงอากาศมากกว่าการเติมพอลิเดกซ์โทรส การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วย SEM บริเวณตรงกลางภายในเนื้อมัพฟิน จะเห็นโพรงอากาศขนาดเล็กและมีจำนวนโพรงอากาศในมัพฟินที่แช่เย็นก่อนอบมากกว่ามัพฟินที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ การเติมอินูลินทำให้เนื้อของมัพฟินมีโพรงอากาศขนาดใหญ่และมีจำนวนโพรงอากาศมากกว่าการเติมพอลิเดกซ์โทรส การไม่เติมพรีไบโอติกโดยแช่เย็นก่อนอบทำให้ส่วนผสมของมัพฟินมีเนื้อที่อัดกันแน่นมากกว่าสูตรอื่น ๆ โดยสูตรที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีโพรงอากาศภายในเนื้อของมัพฟินมากกว่าสูตรที่แช่เย็นก่อนอบ การเติมอินูลินทำให้มัพฟินมีโพรงอากาศขนาดใหญ่กว่าสูตรควบคุม 1 และ 2 ที่ไม่เติมพรีไบโอติก

ผลของการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของมัพฟิน สรุปได้ว่าสูตร 1 ที่ไม่เติมพรีไบโอติกและแช่เย็นก่อนอบมีความแข็งมากที่สุด รองลงมา คือ สูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสแล้วนำไปแช่เย็นก่อนอบ สูตร 6 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสและนำไปอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีความแข็งน้อยที่สุด สูตรที่ 1 3 และ 5 ที่แช่เย็นก่อนอบมีความแข็งมากกว่าสูตร 2 4 และ 6 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ โดยสูตร 6 มีความยืดหยุ่นสูงที่สุด แต่สูตรควบคุม 1 มีความยืดหยุ่นน้อยที่สุด สูตร 2 4

และ 6 ที่แช่เย็นก่อนการอบมีความสามารถในการเกาะติดสูงที่สุด รองลงมา คือ สูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์ไทรสและแช่เย็นก่อนการอบ และสูตรควบคุม 1 ที่แช่เย็นก่อนอบมีความสามารถในการเกาะติดน้อยที่สุด สูตร 5 มีความสามารถในการเกาะรวมตัวกันน้อยที่สุด สูตรควบคุม 1 มีความเหนียวสูงที่สุด แต่สูตร 6 มีความเหนียวต่ำที่สุด และสูตรควบคุมที่ 1 มีค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวสูงที่สุด

ในการศึกษาสมบัติทางเคมีของมัฟฟิน สรุปได้ว่าสูตรควบคุมที่ 1 มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุด และมีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด การเติมอินูลินทำให้มัฟฟินมีปริมาณความชื้นต่ำกว่าการเติมพอลิเดกซ์ไทรส มัฟฟินที่มีการเติมพรีไบโอติกแบบแช่เย็นก่อนอบมีปริมาณความชื้นมากกว่ามัฟฟินที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ สูตรที่เติมพอลิเดกซ์ไทรสที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีปริมาณไขมันต่ำที่สุด และมัฟฟินทั้ง 5 สูตร มีปริมาณเส้นใยหยาบไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) การเติมพอลิเดกซ์ไทรสทำให้มัฟฟินมีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าการเติมอินูลิน สำหรับการกระบวนการเก็บแช่เย็นส่วนผสมไว้ก่อนการอบทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดในมัฟฟินมีมากกว่าการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ สูตรควบคุม 1 มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดสูงที่สุด ส่วนสูตร 5 และ 6 ที่เติมพอลิเดกซ์ไทรสมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดน้อยที่สุด สูตร 3 และ 4 ที่เติมอินูลินมีปริมาณฟรักแทนมากกว่าสูตรที่ไม่เติมอินูลินและสูตรที่เติมพอลิเดกซ์ไทรส โดยสูตรที่เติมอินูลินที่แช่เย็นก่อนอบมีปริมาณฟรักแทนมากกว่าสูตรที่เติมอินูลินที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟเล็กน้อย

การประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส สรุปได้ว่าสูตรควบคุม 1 และ 2 รวมทั้งสูตร 4 ที่เติมอินูลินที่มีการอบก่อนแช่เย็นมีคะแนนทางด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด และทั้ง 10 สูตร มีคะแนนทางด้านสีและกลิ่นไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) สูตรควบคุม 1 มีคะแนนทางด้านกลิ่นรสมากที่สุด ซึ่งอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย รองลงมาคือ สูตร 3 และ 5 ตามลำดับ สูตรที่แช่เย็นก่อนอบมีคะแนนทางด้านกลิ่นรสมากกว่าสูตรที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ สูตรควบคุม 2 สูตร 4 และ 6 ที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีคะแนนทางด้านกลิ่นรสไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) สูตรควบคุม 1 สูตร 2 3 และ 5 มีคะแนนทางด้านรสชาติอยู่ในระดับสูงสุด คือ ชอบเล็กน้อย สูตรควบคุม 1 และสูตร 3 มีคะแนนทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด แต่สูตร 4 และ 6 มีคะแนนทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสต่ำที่สุด สูตร 1 3 และ 5 ที่แช่เย็นก่อนอบมีคะแนนความชอบโดยรวมมากกว่าสูตร 2 4 และ 6 ที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ และมีความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อย

ดังนั้นในการเลือกชนิดของพรีไบโอติกในการเป็นสารทดแทนไขมันในมัฟฟินที่เก็บแบบแช่เย็น สรุปได้ว่า สูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์ไทรสทำให้มัฟฟินมีสมบัติทางด้านต่าง ๆ ที่ดี ถึงแม้ว่าสูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์ไทรสจะมีปริมาณไขมันและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำรองลงมาจากสูตร 6 แต่สูตร 6 มีคะแนนทางด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสต่ำกว่า จึงเลือกสูตร 5 ซึ่งมีคะแนนทางด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่าง ( $p > 0.05$ ) จากสูตร 3 ที่เติมอินูลินที่มีการแช่เย็นก่อนอบเหมือนกัน

แต่มีคะแนนทางด้านลักษณะทางประสาทสัมผัสสูงที่สุด นอกจากนี้ในการคัดเลือกชนิดของพรีไบโอติกยังคำนึงถึงสมบัติของพรีไบโอติกในการเป็นสารทดแทนไขมันและเป็นอาหารเพื่อสุขภาพที่มีเส้นใยอาหารสูง ซึ่งมีพฟีนสูตร 5 มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด แต่มีปริมาณไขมันและปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำเป็นอันดับที่ 2 และมีลักษณะทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับไม่แตกต่างจากสูตร 3 ซึ่งได้รับคะแนนความชอบมากที่สุด จึงนำสูตร 5 ที่เติมพอลิเดกซ์โทรสมาศึกษาหาปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสเพื่อทดแทนไขมันในการผลิตมัฟฟินปลอดกลูเตนที่เก็บแบบแช่เย็นต่อไป

### 5.1.2 ผลของปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสที่มีต่อสมบัติของมัฟฟินที่เก็บแบบแช่เย็น

จากการศึกษาปริมาณของพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 0 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ที่เก็บส่วนผสมแช่เย็นก่อนอบกับนำมัฟฟินสำเร็จรูปเก็บแช่เย็นและอุ่นด้วยไมโครเวฟสรุปได้ว่าสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 0 10 และ 20 ที่แช่เย็นก่อนอบมีค่าความสว่างสูงสุด สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสทั้ง 5 ระดับ ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ มีค่าความสว่างไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 และ 10 ที่มีการแช่เย็นก่อนอบ และสูตรที่ไม่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีค่าความเข้มของสีแดงน้อยที่สุด และเมื่อเติมพอลิเดกซ์โทรสมากขึ้นทำให้ความเข้มของสีแดงเพิ่มขึ้น สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 และ 10 ที่แช่เย็นก่อนอบและสูตรที่ไม่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีค่าความเข้มของสีเหลืองน้อยที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณเป็นร้อยละ 30 และ 40 ในตัวอย่างที่อบก่อนแช่เย็นทำให้ความเข้มของสีเหลืองเพิ่มขึ้น สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 และ 10 ที่แช่เย็นก่อนอบมีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลต่ำที่สุด และเมื่อเพิ่มปริมาณเป็นร้อยละ 20 30 และ 40 มีผลทำให้ดัชนีการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมัฟฟินที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีดัชนีการเกิดสีน้ำตาลที่สูงขึ้นเมื่อเติมพอลิเดกซ์โทรสมากขึ้น

สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 10 และ 20 มีปริมาตรจำเพาะน้อยกว่าที่ระดับร้อยละ 30 และ 40 โดยน้ำหนัก สูตรที่เติมร้อยละ 10 ที่แช่เย็นก่อนอบมีความแข็งน้อยกว่าสูตรควบคุม 1 และเมื่อปริมาณพอลิเดกซ์โทรสเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 20 และ 30 ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณพอลิเดกซ์โทรสเพิ่มเป็นร้อยละ 40 ทำให้ค่าความแข็งลดลงแต่ไม่แตกต่างจากที่เติมร้อยละ 0 และ 10 โดยน้ำหนัก การเติมพอลิเดกซ์โทรสเพิ่มขึ้นในตัวอย่างที่มีการอบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟทำให้ค่าความแข็งของมัฟฟินน้อยกว่าสูตรควบคุม 2 มัฟฟินที่มีการแช่เย็นก่อนอบทั้ง 5 สูตร มีค่าความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สูตรที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 0 20 และ 30 มีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมที่ 2 โดยที่ระดับร้อยละ 10 และ 40 มีความยืดหยุ่นมากที่สุด มัฟฟินทั้ง 10 สูตร มีด้านความสามารถในการเกาะติดไม่แตกต่างกัน และทั้ง 5 สูตร ที่แช่เย็นก่อนอบมีความสามารถในการเกาะรวมตัวกันไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 10 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีความสามารถในการเกาะรวมตัวกันมากที่สุด และสูตรที่เติมร้อยละ 30 ที่แช่เย็นก่อนอบ และที่ร้อยละ 0 และ 30 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีความเหนียวมากที่สุด และค่าแรงที่ใช้



ในการเคี้ยวสูงสุด คือ ที่ระดับร้อยละ 20 และ 30 ที่แช่เย็นก่อนอบ และที่ระดับร้อยละ 0 10 และ 30 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ

มัพฟินที่มีปริมาณความชื้นต่ำสุดแต่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด คือ การเติมพอลิเดกซ์โทรสระดับร้อยละ 40 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ สูตรที่มีปริมาณไขมันต่ำสุด คือ ที่ระดับร้อยละ 40 ที่แช่เย็นก่อนอบและอบก่อนแช่เย็นแล้วเข้าไมโครเวฟ สูตรที่มีปริมาณเส้นใยหยาบสูงที่สุด คือ ที่ระดับร้อยละ 40 ที่แช่เย็นก่อนอบ และที่ระดับร้อยละ 30 และ 40 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ สูตรที่มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากที่สุด คือ ที่ระดับร้อยละ 30 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟ และสูตรที่มีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดต่ำที่สุด คือ สูตรที่ไม่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่แช่เย็นก่อนอบโดยมีปริมาณน้ำตาลทั้งหมดร้อยละ 17 โดยน้ำหนัก

การประเมินทางประสาทสัมผัสของมัพฟินสรุปได้ว่า สูตรเติมพอลิเดกซ์โทรสทั้ง 5 ระดับที่แช่เย็นก่อนอบมีคะแนนความชอบทางด้านลักษณะปรากฏสูงที่สุด สูตรที่แช่เย็นก่อนอบที่เติมที่ระดับร้อยละ 0 20 30 และ 40 และสูตรที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟที่ร้อยละ 0 และ 30 โดยน้ำหนัก มีคะแนนด้านสีสูงที่สุด ทั้ง 5 สูตรที่แช่เย็นก่อนอบและสูตรที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟที่ร้อยละ 0 มีคะแนนด้านกลิ่นสูงที่สุด สูตรที่เติมร้อยละ 0 10 20 และ 30 ที่แช่เย็นก่อนอบ และร้อยละ 0 ที่อบก่อนแช่เย็นและเข้าไมโครเวฟมีคะแนนทางด้านกลิ่นรสสูงที่สุด ทั้ง 5 สูตรที่แช่เย็นก่อนอบมีคะแนนด้านรสชาติและลักษณะเนื้อสัมผัสสูงที่สุด สูตรที่ได้รับคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด คือ สูตรที่แช่เย็นก่อนอบที่เติมพอลิเดกซ์โทรสร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

ดังนั้นจึงเลือกมัพฟินที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่แช่เย็นก่อนอบ มาใช้ในการศึกษาอายุการเก็บรักษาของมัพฟินที่เก็บแบบแช่เย็นต่อไป เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยหยาบและปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงที่สุด แต่มีปริมาณไขมันต่ำที่สุดซึ่งเป็นที่ต้องการในผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ ถึงแม้จะมีคะแนนความชอบทางด้านกลิ่นรสและความชอบโดยรวมเป็นรอง สูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 30 เล็กน้อยก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาลักษณะเนื้อสัมผัสของมัพฟินจะเห็นได้ว่า การเติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 40 ที่แช่เย็นก่อนอบ มีค่าความแข็ง ความยืดหยุ่นความสามารถในการเกาะติด ความสามารถในการเกาะรวมตัวกัน ความเหนียว และค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยวไม่แตกต่างจากสูตรควบคุมที่ไม่เติมพอลิเดกซ์โทรสซึ่งเป็นลักษณะเนื้อสัมผัสต้องการ ดังนั้นจึงเลือกสูตรที่เติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่เก็บส่วนผสมแช่เย็นก่อนนำไปอบเพื่อนำไปศึกษาอายุการเก็บรักษาของมัพฟินปลอดกลูเตนสอดไส้รสชาติแซลมอนที่เก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นก่อนอบและนำไปวิเคราะห์หาสมบัติทางด้านต่าง ๆ ต่อไป

### 5.1.3 ผลของอายุการเก็บรักษาของมัพฟินที่เก็บแบบแช่เย็น

จากการเติมพอลิเดกซ์โทรสที่ระดับร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก ที่เก็บส่วนผสมแช่เย็นก่อนนำไปอบ ผลของระยะเวลาการเก็บส่วนผสมแบบแช่เย็นที่มีต่อสมบัติทางด้านต่าง ๆ ของมัพฟินสรุปได้ว่า ส่วนผสมของมัพฟินอบทันทีโดยไม่มีการแช่เย็นก่อนอบ (0 วัน) มีค่าความสว่าง ความเข้ม

ของสีแดง และความเข้มของสีเหลืองมากที่สุด และเมื่อเก็บส่วนผสมแช่เย็นนาน 7 วัน ค่าความสว่าง ความเข้มของสีแดง และความเข้มของสีเหลืองลดลง โดยการเก็บแช่เย็นนาน 14 วัน ค่าความเข้มของสีแดงน้อยที่สุด ระยะเวลาเก็บแช่เย็นส่วนผสมไม่มีผลต่อดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของมัพฟิน มัพฟินที่อบทันทีโดยไม่แช่เย็นส่วนผสมก่อนอบมีปริมาตรจำเพาะและปริมาณของแข็งทั้งหมดสูงที่สุด แต่มีปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และค่าเพอร์ออกไซด์หลังอบน้อยที่สุด และเมื่อเก็บส่วนผสมแช่เย็นนานขึ้นทำให้มีปริมาตรจำเพาะและปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง แต่มีปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ และปริมาณเพอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น การอบส่วนผสมทันทีทำให้มัพฟินมีค่าความแข็งแรงความสามารถในการรวมตัวกัน ความเหนียว และแรงที่ใช้ในการเคี้ยวน้อยกว่ามัพฟินที่แช่เย็นก่อนอบ

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของมัพฟินสรุปได้ว่า การเก็บและไม่เก็บส่วนผสมแช่เย็นก่อนอบไม่ทำให้คะแนนทางด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวมของมัพฟินแตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่มัพฟินปลอดกลูเตนจะได้รับคะแนนความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์รู้สึกเฉย ๆ (1 = ไม่ชอบมาก 3 = รู้สึกเฉยๆ และ 5 = ชอบมาก) แต่การอบมัพฟินทันทีโดยไม่แช่เย็นส่วนผสมก่อนอบทำให้มัพฟินได้รับคะแนนทางด้านกลิ่นสูงที่สุด (เกือบจะชอบเล็กน้อย) แต่มีคะแนนทางด้านลักษณะเนื้อสัมผัสด้อยที่สุด (ไม่ชอบเล็กน้อย) การเก็บส่วนผสมแช่เย็นไว้นาน 7 และ 14 วัน ได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับไม่ชอบเล็กน้อยจนถึงรู้สึกเฉย ๆ ซึ่งไม่แตกต่างกัน ทางสถิติ การตรวจติดตามการเก็บรักษาที่มีต่อปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และราทั้งหมดสรุปได้ว่าสามารถเก็บส่วนผสมของมัพฟินแบบแช่เย็นก่อนนำไปอบได้นานประมาณ 4-5 วัน โดยวันที่ 7 ของการเก็บแช่เย็นก่อนนำไปอบจะมีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด  $1,400 \text{ CFU/g}^{-1}$  ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่ผลิตภัณฑ์กำหนดไว้แต่ปริมาณยีสต์และราทั้งหมดไม่เกินค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์กำหนด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในขั้นตอนการศึกษาอายุการเก็บรักษามัพฟินปลอดกลูเตนสอดไส้รสชาเขียวที่มีต่อสมบัติทางด้านต่าง ๆ ควรจะได้มีการศึกษาหาสมบัติทางด้านต่าง ๆ ของมัพฟินปลอดกลูเตนแบบไม่ใส่ไส้ ด้วยเนื่องจากไส้รสชาเขียวมีความชื้นสูงและเมื่อบรรจุอยู่ในมัพฟินที่มีความชื้นต่ำกว่าอาจมีผลทำให้อายุการเก็บของมัพฟินสอดไส้ชาเขียวสั้นลง ซึ่งถ้ามีการศึกษามัพฟินแบบไม่ใส่ไส้อาจทำให้มัพฟินปลอดกลูเตนมีอายุการเก็บแบบแช่เย็นก่อนอบได้นานกว่าการใส่ไส้ สำหรับ การต่อยอดงานวิจัยนี้ต่อไปในอนาคต ควรศึกษาการเก็บรักษาสีสรรชาเขียวที่มีต่อสมบัติด้านอนุมูลอิสระทั้งในรูปแบบการเก็บแช่เย็นและแช่เยือกแข็ง รวมทั้งควรศึกษาไส้รสอื่น ๆ เช่น บลูเบอร์รี่ ชานม หรือช็อกโกแลต ซึ่งน่าจะเป็นแหล่งต้านอนุมูลอิสระที่ดีได้ ซึ่งผลการวิจัยที่น่าจะนำไปใช้ประโยชน์ในการสอดไส้ขนมปังและขนมอบชนิดต่าง ๆ ได้ รวมทั้งนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารในรูปแบบอื่น ๆ ได้

## เอกสารอ้างอิง

กองอุตสาหกรรมอ้อย น้ำตาลทราย และอุตสาหกรรมต่อเนื่อง, กลุ่มส่งเสริมอุตสาหกรรมชีวภาพ.

**Xanthan gum** อุตสาหกรรมต่อเนื่องจากอ้อยและน้ำตาล. [ออนไลน์] สืบค้นจาก

<http://www.ocsb.go.th/upload/bioindustry/fileupload/10140-7072.pdf>.

25 สิงหาคม 2562.

กล้าณรงค์ ศรีรอด. **สารให้ความหวาน**. กรุงเทพฯ: จาร์พา เทคโนโลยีเซ็นเตอร์, 2552.

ขนมปังแฟนซี (Fancy Bread: Step-by-Step to perfect-Goods). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์กรุงเทพ, 2530.

จันทร์ฉัตรฉาย สังเกตกิจ ประทีป ตุ่มทอง นิชาภา สารธิยากุล จักรินทร์ สนุกแสน อัญญา อุดมทวี.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมปังและเค้กปราศจากกลูเตนและไขมันทรานส์จากแป้งข้าวหอมมะลิ

โดยกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน: กรณีศึกษา กลุ่มพัฒนาบทบาทสตรีตำบลเทพรักษา

อำเภอสังขะ จังหวัดสุรินทร์. **รายงานผลการวิจัย**. จังหวัดสุรินทร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-

ราชมงคลอีสาน, 2559.

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. **เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์-

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2544.

ณนัท แดงสังวาลย์. **การผลิตเค้ก Cake production**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โอ. เอส.

พรินต์ติ้ง เฮาส์. 2559.

ดวงใจ แก้วจัน. **การเสริมใยอาหารประเภทพรีไบโอติกในผลิตภัณฑ์ข้าวแผ่นกรอบ**. ปรินญา-

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2558.

นภัสรพี เหลืองสกุล และสวามินี นวลแซกุล. **Cooking Bible : Bakery**. กรุงเทพฯ: อมรินทร์, 2559.

นิธิยา รัตนานนท์. **เคมีอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โอ.เอส. พรินต์ติ้งเฮาส์, 2549.

บริษัท สำนักพิมพ์แม่บ้าน จำกัด. **ขนมปัง 65 ไร่ ริมทางสร้างเศรษฐกิจ**. กรุงเทพฯ: แม่บ้าน, 2560.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. Peroxide value / ค่าเปอร์ออกไซด์. 2553.

สืบค้นจาก [http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1615/peroxide-](http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1615/peroxide-value)

value เมื่อวันที่ 27 กันยายน 2562.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. Water activity / แอคติวิตีของน้ำ. 2553. สืบค้น

จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0551/water-activity> เมื่อ

วัน 27 กันยายน 2562.

เวนนิสา โชติอรุณ. **ขนมปัง โดนัท มัฟฟิน**. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงแดด, 2546.

- เศรษฐพงศ์ เฝ้าวัฒนา. **Baking: ของหวาน ๆ พื้นฐานการทำขนมอบ**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บ้านและสวน, 2546.
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. **9 บทบันทึกแห่งอ้อยและน้ำตาลทรายไทย**. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มผช. 747/2555). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ขนมปัง**. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- สำนักพิมพ์แสงแดด. **ขนมไทย**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงแดด, 2553.
- สำนักพิมพ์ Amarin cuisine. **100 เทคนิคขนมผังทำเอง**. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ: อมรินทร์ Cuisine, 2561.
- สุพจน์ นวลละออง. **การสกัดสารพรีไบโอติกส์จากพืชเกษตร**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552.
- Amendola, J., and Rees, N. **Understanding Baking: The Art and Science of Baking**. England: Wiley, 2003.
- AACC. American Association of Cereal Chemists. **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 9<sup>th</sup> ed. American Association of Cereal Chemists Eagan, Minn, USA, 2000.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18<sup>th</sup>ed. Association of Officiating Analytical Chemists, Washington DC., 2005.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 20<sup>th</sup>ed. AOAC International, Rockville, Maryland, 2016.
- Arifin, N., Siti Nur Izyan, M. A., and Huda-Faujan, N. Physical properties and consumer acceptability of basic muffin made from pumpkin puree as butter replacer. **Food Research**. 3:6 (2019): 840-845.
- Basman A., Ozturk S., Kahraman K., and Koksel H. Emulsion and pasting properties of resistant starch with locust bean gum and their utilization in low fat biscuit formulations. **International Journal of Food Properties**. 11:4 (2008): 762–772.
- Błońska A., Marzec A., and Błaszczuk A. Instrumental Evaluation of Acoustic and Mechanical Texture Properties of Short-Dough Biscuits with Different Content of Fat and Inulin. **Journal Texture Studies**. 45:3 (2014): 226–234.
- Bourne, M. C. Texture profile analysis. **Food Technology**. 32 (1978): 62-66.
- Chang, M-C. **The effect of heat treatments on dietary fiber as assessed by chemical analysis and scanning electron microscopy**. A Thesis for the Master of Science Degree. Knoxville: The University of Tennessee, 1989.

- Chung, H-J., and Min, D. B. Developments in fat replacers. In A. Arnoldi (Ed.), **Functional Foods Cardiovascular Disease and Diabetes** (p. 358). England: Woodhead, 2000.
- Colla, K., Costanzo, A., and Gamlath, S. Fat replacers in baked food products. **Foods**. 7:12 (2018): 192-204.
- Colla K., and Gamlath S. Inulin and maltodextrin can replace fat in baked savoury legume snacks. *International Journal of Food Science and Technology*. 50:10 (2015): 2297–2305.
- Coussement, P. Inulin and oligofructose as dietary fiber: Analytical, nutritional and legal aspects. In S. S. Cho, L. Prosky, & M. Dreher (Eds.), **Complex Carbohydrates in Foods** (pp. 203-227). New York: Marcel Dekker, 1999.
- Craig, S. A. S., Holden, J. F., Troup, J. P., Auerbach, M. H., and Frier, H. I. Polydextrose as soluble fiber: Physiological and analytical aspects. **Cereal Food World**. 43:5 (1998): 370-376.
- Dubey, N., and Mehta, A. In vitro study of the antimicrobial property of Green tea extract against standard (ATCC) bacterial strains and clinical isolates of Methicillin Resistant *Staphylococcus aureus* & Multidrug Resistant *Pseudomonas aeruginosa*. **Indian Journal of Microbiology Research**. 3:3 (2016), 230-235.
- Endo, K., Kumemura, M., Nakamura, K., Fujisawa, T., Suzuki, K., Benno, Y., and Mitsuoka, T. Effect of high cholesterol diet and polydextrose supplementation on the microflora, bacterial enzyme activity, putrefactive products, volatile fatty acid (VFA) profile, weight, and pH of the feces in healthy volunteers. **Bifidobacteria Microflora**. 10:1 (1991): 53-64.
- Figdor, S. K., and Bianchine, J. R. Caloric utilization and disposition of [<sup>14</sup>C]polydextrose in man. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 31:2 (1983): 389-393.
- Flamm, G., Glinsmann, W., Kritchevsky, D., Prosky, L., Roberfroid, M. Inulin and oligofructose as dietary fiber: A review of the evidence. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 41:5 (2001): 353-362.
- Forker, A., Zahn, S., and Rohm, H. A combination of fat replacers enables the production of fat-reduced shortdough biscuits with high-sensory quality. **Food and Bioprocess Technology**. 5:6 (2012): 2497–2505.



- Franck, A., and Coussement, P. Prebiotics. In P. Young (Ed.), **Guide to Functional Food Ingredients** (pp.1-20). England: Leatherhead, 2001.
- Gibson, G. R., and Roberfroid, M. B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of prebiotics. **The Journal of Nutrition**. 125:6 (1995): 1401-1412.
- Jie, Z., Bang-Yao, L., Ming-Jie, X., Hai-Wei, L., Zu-Kang, Z., Ting-Song, W., and Craig, S. A. Studies on the effects of polydextrose intake on physiologic functions in Chinese people. **The American Journal of Clinical Nutrition**. 72:6 (2000): 1503-1509.
- Jove, D., and Hoebregs, H. Determination of oligofructose, a soluble dietary fiber, by high-temperature capillary gas chromatography. **Journal of AOAC International**. 83:4 (2000), 1020-1025.
- Julianti, E., Rusmarilin, H., Ridwansyah and Yusraini, E. Effect of gluten free composite flour and egg replacer on physicochemical and sensory properties of cakes. **International Food Research Journal**. 23:6 (2016), 2413-2418.
- Khouryieh, H. A., Aramouni, F. M., and Herald, T. J. Physical and sensory characteristics of no-sugar-added/low-fat muffin. **Journal of Food Quality**. 28:5-6 (2005): 439-451.
- Kiran, B., and Neetu, S. Physicochemical and texture evaluation of biscuits and muffins for old age. **International Journal of Food Science and Nutrition**. 2:6 (2017): 161-164.
- Koike-Tani, M., Tani, T., Mehta, S. B, Verma, A., and Oldenbourg, R. Polarized light microscopy in reproductive and developmental biology. **Molecular Reproduction and Development**. 82: 7-8 (2015): 548-562.
- Kolida, S., Tuohy, K., and Gibson, G. R. Prebiotic effects of inulin and oligofructose. **British Journal of Nutrition**. 87:Suppl. 2 (2002): S193-S197.
- Krasaekoopt, W., and Bhandari, B. Properties and applications of different probiotic delivery systems. In N. Garti and D. J. McClements (Eds.), **Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals**. Download, URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/food-science/xanthan-gum>, Aug 31, (2019), 2012.

- Krystijan, M., Gumul, D., Ziobro, R., and Sikora, M. The effect of inulin as a fat replacement on dough and biscuit properties. *Journal of Food Quality*. 38:5 (2015): 305–315.
- Lee Y. T., and Puligundla P. Characteristics of reduced-fat muffins and biscuits with with native and modified rice starches. *Emirates Journal of Food Agricultural*. 28:5 (2016): 311–316.
- Lim, K. S., and Barigou, M. X-ray micro-computed tomography of cellular food products. *Food Research International*. 37:10 (2004): 1001-1012.
- Manaf, M. A., Othman, N. A., Harith, S., and Ishak, W. R. W. Thermal properties of batter and crumb structure of muffin incorporated with *Persea americana* puree. *Journal of Culinary Science & Technology*. 15:3 (2017): 259-271.
- Manning, T. S., and Gibson, G. R. Preboitics. *Best Practice & Research Clinical Gastroenterology*. 18:2 (2004): 287-298.
- Mensink, M. A., Frijlink, H. W., van der Voort Maarschalk, K., and Hinrichs, W. L. J. Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*. 130 (2015): 405-419.
- Mussatto, S. I., and Mancilha, I. M. Non-digestible oligosaccharides: A review. *Carbohydrate Polymers Review*. 68:3 (2007): 587-597.
- Peaceful Cuisine. **Matcha Lava Muffins**. Download, URL: <http://www.topicza.com/news13666.html>, Aug 31, (2019), 2016.
- Rodríguez-García J., Laguna L., Puig A., Salvador A., and Hernando I. Effect of fat replacement by inulin on textural and structural properties of short dough biscuits. *Food and Bioprocess Technology*. 6:10 (2013): 2739–2750.
- Rodríguez-García J., Puig A., Salvador A., and Hernando I. Optimization of a sponge cake formulation with inulin as fat replacer: Structure, physicochemical, and sensory properties. *Journal of Food Science*. 77:2 (2012): C189–C197.
- Shah, N. P. 2007. Functional cultures and health benefits. *International Dairy Journal*. 17:11 (2007): 1262-1277.
- Shao, W., Liang, Y., and Zheng, X. Applications of green tea extract in bakery product. *Journal of Tea*. 39:4 (2013): 427-434.
- Sharma, P., Kaur, A., and Kaur, A. Effect of guar flour supplementation on quality and shelf life of muffins. *International Journal of Engineering Research and Application*. 6:3 (2016): 68-73.

- Shouk, A. A., and El-Faham, S. Y. Effect of fat replacers and hull-less barley flour on low-fat croissant quality. **Polish Journal of Food and Nutrition Science**. 55:3 (2005): 287-292.
- Sudha, M. L., Srivastava, A. K., Vetrimani, R., and Leelavathi, K. Fat replacement in soft dough biscuits: Its implications on dough rheology and biscuit quality. **Journal of Food Engineering**. 80:3 (2007): 922-930.
- Sveje, M. Gut health: The inside story. **Food & Beverage Asia** (June/July) (2008): 34-37.
- U.S. Food & Drug Administration (US-FDA). **Bacteriological Analytical Manual (BAM)**. 8<sup>th</sup>ed., Revision A, 1998. Chapter 3, Aerobic Plate Count. Download, URL: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-aerobic-plate-count>, Sep 05, (2019), 1998.
- U.S. Food & Drug Administration (US-FDA). **Bacteriological Analytical Manual (BAM)**. 8<sup>th</sup>ed., Revision A, Chapter 18, Yeasts, Molds and Mycotoxins. Download, URL: <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-yeasts-molds-and-mycotoxins>, Sep 05, (2019), 1998.
- Veena, N., Surendra, N. B., and Arora, S. Polydextrose as a functional ingredient and its food applications: A review. **Indian Journal of Dairy Science**. 69:3 (2016): 239-251.
- Zahn, S., Pepke, F., and Rohm, H. Effect of inulin as a fat replacer on texture and sensory properties of muffins. **International Journal of Food Science and Technology**. 45:12 (2010): 2531-2537.
- Zoulas, E. I., Oreopoulou, V., and Tzia, C. Textural properties of low-fat biscuits containing carbohydrate-or protein-based fat replacers. **Journal of Food Engineering**. 55:4 (2002): 337-342.

# ภาคผนวก



## ภาคผนวก ก

### การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

#### ก.1 การวิเคราะห์หาค่าสี (Arifin, Siti Nur Izyan, and Huda-Faujan, 2019)

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องวัดสี (colorimeter, Hunter lab, ColorQuest XE) ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 เครื่องวัดค่าสี

##### วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องวัดสีและเครื่องคอมพิวเตอร์
2. เข้าโปรแกรมวัดสี Icon Easy Match QC
3. เลือก sensor ไปที่ standardize แล้ววางกล่องสีดำแนบตรงด้านหน้า port แล้วกด next จากนั้นวางกล่องสีขาวแนบตรงด้านหน้า port แล้วกด next
4. เลือก sensor ไปที่ standard mode เลือก mode 1 (RSEX) จากนั้นจึงนำตัวอย่างมาวางตรงช่องรับแสงด้านหน้า port

5. กดเลือก measurement แล้วกดเลือก read standard

6. เลือกค่าที่ต้องการวัด เครื่องจะวัดสีของตัวอย่าง

7. บันทึกผล

$L^*$  คือ ค่าความสว่าง (lightness) เมื่อ  $L^* = 0$  = perfect black

และ  $L^* = 100$  = perfect white

$a^*$  คือ ค่าความเข้มของสีแดงและสีเขียว เมื่อ  $a^*$  เป็น + แสดงค่าสีแดง

และ  $a^*$  เป็น - แสดงค่าสีเขียว



และ  $b^*$  คือ ความเข้มของสีเหลืองและสีน้ำเงิน เมื่อ  $b^*$  เป็น + แสดงค่าสีเหลือง และ  $b^*$  เป็น - แสดงค่าสีน้ำเงิน

9. เมื่อใช้งานเครื่องวัดสีเสร็จแล้วให้ปิดโปรแกรมและเก็บอุปกรณ์ให้เรียบร้อย

## ก.2 การวิเคราะห์หาดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (browning index, BI) (Julianti, Rusmarilin, Ridwansyah, and Yusraini, 2016)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องวัดสี (colorimeter, Hunter lab, ColorQuest XE)

### วิธีวิเคราะห์

1. วัดสีค่า  $L^*$ ,  $a^*$  และ  $b^*$  ด้วยเครื่องวัดสี และรายงานเป็นดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (BI) ซึ่งคำนวณเป็นค่า E

$$BI = [100 \times (E-0.31)] \dots\dots\dots(1)$$

$$E = \frac{a^* + 1.75 L^*}{5.645 L^* + a^* - 3.01 b^*} \dots\dots\dots(2)$$

เมื่อ  $a^*$  คือ ค่าความเข้มของสีแดงและสีเขียว

$b^*$  คือ ค่าความเข้มของสีเหลืองและสีน้ำเงิน

$L^*$  คือ ค่าความสว่าง

## ก.3 การวิเคราะห์หาปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) (AACC, 2000)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

- ภาชนะที่ทราบปริมาตร
- เมล็ดงา

### วิธีวิเคราะห์

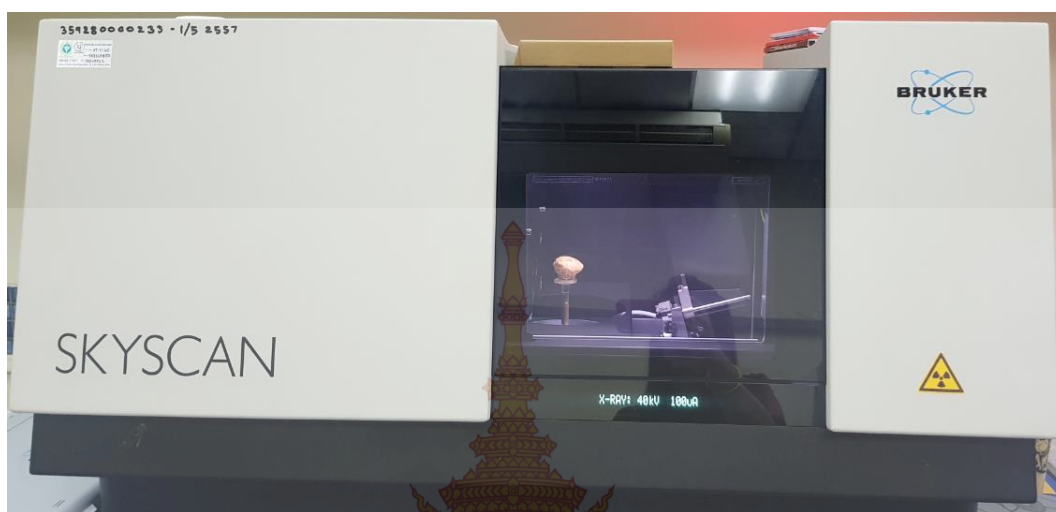
1. ชั่งน้ำหนัก (กรัม) หลังจากนำมัพฟินออกจากเตาอบ
2. วางมัพฟินไว้ในภาชนะที่ทราบปริมาตร โดยใช้เมล็ดงาบรรจุในภาชนะจนกว่าช่องว่างในภาชนะจะเต็ม
3. ปริมาตรของเมล็ดงาที่ถูกแทนที่ด้วยปริมาตรของมัพฟินถือว่าเป็นปริมาตรของมัพฟิน

$$\text{ปริมาตรจำเพาะ (มิลลิลิตรต่อกรัม)} = \frac{\text{ปริมาตรของมัพฟิน (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักของมัพฟิน (กรัม)}}$$

ก.4 ความหนาแน่นของการเชื่อมต่อกัน (connectivity density) (Lim, and Barigou, 2004)  
(ดำเนินการโดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (Scientific and Technological  
Research Equipment Centre, STREC) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

- X-ray micro-computed Tomography (SKYSCAN 1173, B-2550 Kontich, Belgium) ดังแสดงในภาพที่ 10 ประกอบด้วย X-ray source: 40-130 kV, 8W,  $<8\mu\text{m}$  spot size; X-ray detector: distortion-free flat panel sensor 2240X2240 pixels, 12-bit



ภาพที่ 10 X-ray micro-computed Tomography

#### วิธีวิเคราะห์

1. เลือกตำแหน่ง z ของตัวอย่าง และใช้ zoom มากที่สุด โดยเก็บตัวอย่างไว้ใน FOV หมุน (rotate) ตัวอย่าง เพื่อทดสอบว่าเหมาะสมกับทุกมุมหรือไม่ ( $360^\circ / 2.240 = 0,16^\circ$ ) และเลือกโหมด binning ดังแสดงในตารางที่ 27
2. เคลื่อนที่ตัวอย่างโดยเลื่อนลงหรือลบบนจาก scanner และดับเบิลคลิก (double click) FF ที่มุมบนซ้าย
3. รอแหล่งรังสีเอกซ์ให้มีความเสถียรก่อน จากนั้นเลือก flat field ให้ถูกต้อง โดยเมื่อรังสีมีความเสถียรแล้วให้ยกเลิกการเลือกแหล่งรังสี และเริ่มสแกน (อย่าสแกนนานโดยใช้เวลานานหลายชั่วโมง) และตรวจสอบเป็นครั้งคราวว่า เวลาตรวจรับแสงถูกต้อง
5. ประมวลผลตัวอย่างใน FOV โดยให้ร้อยละ 30 อยู่ในตัวอย่าง ถ้าร้อยละ 90 อยู่ในอากาศให้กลับไปเลือกโวลต์ในข้อ 2 ใหม่

ตารางที่ 27 Skyscan 1173 guidelines

| Detector binning     | Rotation Step    |
|----------------------|------------------|
| 0.5K mode            | $\leq 0.9^\circ$ |
| 1K mode              | $\leq 0.5^\circ$ |
| 2K mode              | $\leq 0.3^\circ$ |
| Detector binning     | Frame Averaging  |
| 0.5K mode            | 1 - 4            |
| 1K mode              | 2 - 6            |
| 2K mode              | 4 - 8            |
| Filter               | Voltage          |
| No filter            | 40 - 50 kV       |
| 1 mm Al filter       | 50 - 90 kV       |
| 0.25 mm Brass filter | 90 - 13. kV      |

#### ก.5 การวิเคราะห์หาลักษณะเนื้อสัมผัส (Kiran, and Neetu, 2017)

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer, TA.XT plus) ดังแสดงในภาพที่ 11



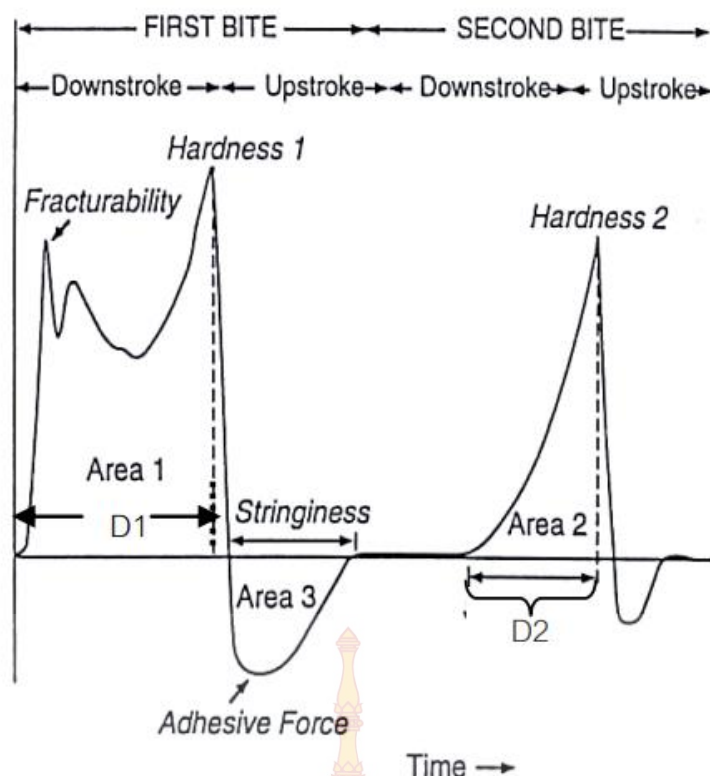
ภาพที่ 11 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร

### วิธีการเตรียมตัวอย่าง

- ตอนที่ 1 และ 2 นำตัวอย่างมัพฟินที่ตัดเป็นชิ้นขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ  $1.5 \times 1.5 \times 1.0$  เซนติเมตร ใช้หัววัดแบบ P/35 และตอนที่ 3 ใช้ตัวอย่างมัพฟินพร้อมไส้ทั้งก้อน ใช้หัววัดแบบ P/100
- วิธีการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสแบบวิเคราะห์เคาโครงเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis: TPA) โดย TPA คือ การที่หัววัดกดตัวอย่างลง 2 ครั้ง (เป็นการทดสอบเพื่อเลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์) การเตรียมตัวอย่างมัพฟินที่ใช้วัด

### วิธีวิเคราะห์

1. เปิดคอมพิวเตอร์ และเข้าโปรแกรม
2. Calibrate force
3. Calibrate height
4. กำหนดค่าการทดสอบ (TA setting) ดังนี้
  - ความเร็วเคลื่อนที่ลงมาก่อนสัมผัสตัวอย่างมีอัตรา 1 มิลลิเมตรต่อวินาที (Pre-test speed)
  - ความเร็วที่เคลื่อนที่ลงมาสัมผัสตัวอย่าง 5 มิลลิเมตรต่อวินาที (Test speed)
  - ความเร็วที่เคลื่อนที่ออกหลังจากการวัด 5 มิลลิเมตรต่อวินาที (Post-test speed)
  - ระยะทางที่หัววัดกดลงบนตัวอย่างเป็นร้อยละ 50 ของความสูงของชิ้นตัวอย่าง (ร้อยละ 50 strain) ซึ่งจะบันทึกหลังจากที่วัดแรงกดได้ 0.049 นิวตัน (Trigger force)
5. เริ่มต้นการทดสอบ (TA Run a test)
6. เมื่อเครื่องวัดเรียบร้อยแล้วจะแสดงผลทางหน้าจอภาพเป็นลักษณะของกราฟ ดังภาพที่ 12
7. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากกราฟ ค่าที่ทำการวิเคราะห์ คือ ความแข็ง (hardness) การเกาะตัวกันของอาหาร (adhesiveness) การรวมตัวกันของอาหาร (cohesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness) ความเหนียว (gumminess) และการเคี้ยว (chewiness) ดังนี้
  - Hardness (ความแข็ง) คือ แรงที่มีค่ามากที่สุดในช่วงการกดครั้งแรก (first bite)
  - Adhesiveness (การเกาะตัวกันของอาหาร) คือ งานที่ต้องใช้ในการดึงหรือความสามารถในการยึดติดของชิ้นอาหาร คือ พื้นที่ของแรงที่เพนลบในการกดครั้งแรก
  - Cohesiveness คือ อัตราส่วนพื้นที่ของแรงที่เพนบวกในการกดครั้งที่สองต่อครั้งที่หนึ่ง หรือความสามารถในการยึดเกาะกันภายในชิ้นอาหาร
  - Springiness คือ ความสามารถของชิ้นอาหารที่กลับสู่สภาวะเดิม คือ ระยะทางหรือความยาวระหว่างการกดครั้งที่สอง ซึ่งวัดจากระยะเริ่มต้นตั้งแต่หัวกดสัมผัสกับชิ้นอาหารจนกระทั่งถึงจุดที่ค่าแรงมากที่สุดในช่วงการกดครั้งที่สอง โดยใช้กราฟที่แสดงระหว่างแรงกดกับระยะทางที่อาหารถูกกด



ภาพที่ 12 กราฟที่ได้จากการทำ texture profile analysis

ที่มา: Bourne (1978)

- Gumminess (พลังงานการเคี้ยวอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลว) คือ พลังงานที่ใช้ในการทำให้อาหารกึ่งของแข็งแยกตัวออกจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืนได้ ซึ่งได้จากผลคูณของ hardness กับ cohesiveness
- Chewiness (พลังงานการเคี้ยวอาหารแข็ง) คือ พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารแข็งจนถึงขั้นพร้อมที่จะกลืน ซึ่งได้จากผลคูณของ gumminess กับ springiness หรือผลคูณของ hardness คูณกับ cohesiveness และคูณกับ springiness

ก.6 การตรวจสอบทางสัณฐานวิทยาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (polarized light microscopy) (ดัดแปลงจาก Koike-Tani, Tani, Mehta, Verma, and Oldenbourg, 2015)

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

- กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์ (polarized light microscopy, Olympus, SZ61) ดังแสดงในภาพที่ 13 โดยส่งตัวอย่างตรวจที่ CU-STREC จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาพที่ 13 กล้องจุลทรรศน์แสงโพลาไรซ์

#### วิธีการเตรียมตัวอย่าง

ตัดเนื้อมัมฟฟินบริเวณส่วนนูนตรงผิวหน้าออก โดยแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนผิวหน้าและส่วนเนื้อตรงกลางของมัมฟฟิน

#### วิธีวิเคราะห์

1. ตั้งค่าแสงและปรับกำลังขยายกำลังขยายกล้องให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน โดยปรับกำลังขยาย 6.7 เท่า สำหรับส่องมัมฟฟินบริเวณผิวหน้า และกำลังขยาย 10 เท่า สำหรับส่องเนื้อตรงกลางของมัมฟฟิน
2. นำตัวอย่างมัมฟฟินที่เตรียมไว้วางลงบนสไลด์
3. สังเกตลักษณะของเนื้อมัมฟฟิน และบันทึกภาพ

ก.7 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (Scanning Electron Microscopy, SEM) (Manaf, Othman, Harith, and Ishak, 2017)

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM, ยี่ห้อ JEOL, รุ่น JSM IT 300, Japan) ส่งวิเคราะห์ ณ CU-STREC
- เครื่องทำแห้ง ณ จุดวิกฤต (critical point dryer (Leica model EM CPD300, Austria)
- เครื่องฉาบทอง (sputter coater, Balzers model SCD 040, Germany)
- แท่นวางตัวอย่าง

### สารเคมี

- แอซีโตนความเข้มข้นร้อยละ 100
- Osmium tetroxide ความเข้มข้นร้อยละ 2
- สารละลายเอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 30 50 70 95 และ 100

### วิธีการเตรียมตัวอย่าง

1. เลือกบริเวณที่ต้องการดูแล้วตัดให้มีขนาดไม่เกิน 3 x 4 ตารางมิลลิเมตร และหนาไม่เกิน 3 มิลลิเมตร
2. นำไปอังด้วยโอ Osmium tetroxide ความเข้มข้นร้อยละ 2 นาน 1-2 ชั่วโมง
3. ทำให้แห้ง (dehydrate) ด้วย ethanol ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ ร้อยละ 30 50 70 95 และ 100 ขึ้นตอนละ 10-15 นาที (ที่ความเข้มข้นร้อยละ 100 ให้ทำซ้ำ 3 ครั้ง)
4. แช่ตัวอย่างในสารละลายแอซีโตนความเข้มข้นร้อยละ 100 นาน 15 นาที เพื่อเอาไขมันในตัวอย่างออกก่อน
5. ทำตัวอย่างให้แห้ง ณ จุดวิกฤต ด้วยเครื่องทำแห้ง ณ จุดวิกฤต
6. ติดตัวอย่างบนแท่นวางตัวอย่าง (stub) ด้วยเทปกาวสองหน้า
7. นำตัวอย่างไปฉาบทองด้วยเครื่องฉาบทอง
8. นำไปส่องดูด้วยจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้กำลังขยาย 50 และ 500 เท่า และบันทึกภาพที่ได้



## ภาคผนวก ข

### การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี

#### ข.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมด (AOAC, 2012)

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

- ตู้อบลมร้อน
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
- ถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝา
- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- โถดูดความชื้น

##### วิธีวิเคราะห์

1. อบถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมฝาในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักไว้

2. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 2-5 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไประเหยให้แห้งด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้วอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ และทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นนาน 30 นาที

3. ชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง แล้วลบด้วยน้ำหนักถ้วยเปล่า จะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

4. คำนวณปริมาณความชื้นและปริมาณของแข็งทั้งหมดโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(A - B) \times 100}{A}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

B คือ น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

$$\text{ปริมาณของแข็ง (ร้อยละ)} = 100 - \text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)}$$

#### ข.2 การวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (water activity, $a_w$ ) (Sharma, Kaur, and Kaur, 2016)

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (Novasina, Labmaster.  $a_w$ ) ดังแสดงในภาพที่ 14
- ภาชนะบรรจุสำหรับใส่ตัวอย่าง



ภาพที่ 14 เครื่องวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี

#### วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่องและรออุ่นเครื่องประมาณ 30 นาที
2. เตรียมตัวอย่างที่จะวัดโดยบดให้ละเอียดแล้วใส่ลงในภาชนะบรรจุประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของภาชนะบรรจุ
3. ใส่ตัวอย่างและปิดฝาเครื่องให้สนิท แล้วกดปุ่ม start เครื่องจะเริ่มทำการวิเคราะห์ค่าวอเตอร์แอกติวิตี
4. เมื่อเครื่องทำการวิเคราะห์ค่า aw เสร็จแล้วจะมีสัญญาณเตือนแจ้งอ่านค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่ได้
5. จดค่าวอเตอร์แอกติวิตีที่เครื่องทำการวัดค่าได้

#### ข. 3 การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน ตามวิธี (AOAC, 2012)

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- ชุดสกัดไขมัน (Soxhlet apparatus)
- หลอดสกัดไขมัน (extraction tube)
- อุปกรณ์ให้ความร้อน
- เครื่องระเหยสุญญากาศ
- ตู้อบลมร้อน
- thimble
- โกลดูดความชื้น

### สารเคมี

- ปีโตรเลียมอีเทอร์ จุดเดือด 40-60 องศาเซลเซียส

### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำหนักแห้งแน่นอนประมาณ 5 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman® เบอร์ 1 และนำไปใส่ thimble ในหลอดสกัดไขมันที่แห้งสนิทของเครื่องสกัดไขมัน
2. เติมนปีโตรเลียมอีเทอร์ 250 มิลลิลิตร (เพื่อใช้เป็นตัวทำละลายไขมัน) ลงในขวดก้นกลมที่อบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
3. ตั้งขวดก้นกลมบนอุปกรณ์ให้ความร้อนให้ตัวทำละลายเดือดเป็นไอและไหลย้อนกลับ (reflux) ลงในขวด โดยมีอัตราการควบแน่น 5 นาทีต่อ 1 รอบ นาน 3-4 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นก่อนนำขวดก้นกลมออก
4. ระบายปีโตรเลียมอีเทอร์ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ แล้วอบขวดสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่
5. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นชั่งน้ำหนักไขมันที่สกัดได้ แล้วคำนวณหาปริมาณไขมัน

ตามสูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

### ข.4 การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยหยาบ (AOAC, 2012)

#### เครื่องมือและอุปกรณ์

- ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert, UN 450, Germany)
- เตาเผา (Muffle furnace, Carbolite, CWF 1200, England)
- เครื่องชั่งละเอียดชนิดนิยิม 4 ตำแหน่ง (Sartorius ED 224S, Germany)
- เครื่องสกัดไขมัน
- เครื่องควบแน่น
- โถดูดความชื้น
- ขวดรูปชมพู่ (flask)
- ปีกเกอร์ (beaker)
- กระดาษกรอง

### สารเคมี

- ปีโตรเลียมอีเทอร์ มีจุดเดือดที่ 40-60 องศาเซลเซียส
- สารละลายเอทานอล ร้อยละ 95 (ปริมาตรต่อปริมาตร)
- สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 0.1275 โมลาร์ (0.255 นอร์มัล) เตรียมได้โดยเจือจางกรดกำมะถันเข้มข้น จำนวน 1.25 กรัม ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น



- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.313 โมลาร์ เตรียมได้โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์มา 1.25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร สารละลายนี้จะต้องปราศจากโซเดียมคาร์บอเนต
- สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นร้อยละ 1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) เตรียมได้โดยเจือจางกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น จำนวน 10 มิลลิลิตร ให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น
- ไดเอทิลอีเทอร์

#### วิธีวิเคราะห์

1. นำกระดาษกรองชนิดปราศจากเถ้า ไปอบให้แห้งและชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งอาหารตัวอย่างที่บดละเอียด (ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 16) มา 2.7-3.0 กรัม ใส่ในกระดาษกรองห่ออาหารตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง
3. นำไปสกัดเอาไขมันออกด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์โดยใช้เครื่องสกัดไขมัน หรืออาจสกัดไขมันออกโดยใช้วิธีการคน ปลอยตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เทชั้นของปิโตรเลียมอีเทอร์ออก ทำซ้ำประมาณ 3 ครั้ง
4. กากที่เหลือจากการสกัดปลอยตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ถ้าอาหารตัวอย่างมีปริมาณไขมันต่ำอาจไม่จำเป็นต้องสกัดไขมันก็ได้
5. นำกากที่แห้งแล้วไปใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 1 ลิตร เติมสารละลายกรดกำมะถันที่มีความเข้มข้น 0.1275 โมลาร์ (ร้อยละ 1.25) ลงไป 200 มิลลิลิตร การเติมสารละลายกรดซัลฟูริกให้เติมลงไปประมาณ 30-40 มิลลิลิตรก่อน เพื่อช่วยให้กากที่แห้งกระจายตัวได้ดี แล้วจึงเติมให้ครบ 200 มิลลิลิตร
6. วางบีกเกอร์ลงบนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ต่อกับเครื่องควบแน่นและเปิดน้ำหล่อเครื่องควบแน่น เปิดสวิตช์ไฟฟ้า ต้มให้เดือดนาน 30 นาที
7. กรองตัวอย่างขณะร้อนผ่านกระดาษกรอง ล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำล้างหมดความเป็นกรด
8. ถ่ายกากที่ได้ในบีกเกอร์ใบเดิม เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 200 มิลลิลิตร
9. วางบีกเกอร์ลงบนอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ต่อกับเครื่องควบแน่นและเปิดน้ำหล่อเครื่องควบแน่น เปิดสวิตช์ไฟฟ้า ต้มให้เดือดนาน 30 นาที
- 10 กรองขณะร้อนผ่านกระดาษกรองแผ่นเดิม ล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำล้างหมดความเป็นต่าง
11. ล้างด้วยสารละลายเอทานอลปริมาตร 10 มิลลิลิตร
12. นำกระดาษกรองพร้อมกากใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบและอบในตู้อบ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง แล้วนำมาใส่ในโถดูดความชื้น
13. ชั่งน้ำหนักซ้ำจนกระทั่งได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่ง 2 ครั้ง ติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิลิตร
14. คำนวณหาปริมาณเถ้าตามสูตร ดังนี้

$$\text{ปริมาณใยหยาบ} = \frac{(M_2 - M_1) \times 100}{S}$$

|       |       |     |                                |
|-------|-------|-----|--------------------------------|
| เมื่อ | $M_1$ | คือ | น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา         |
|       | $M_2$ | คือ | ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างหลังอบ |
|       | $S$   | คือ | น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น        |

#### ข.5 การวิเคราะห์หาปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด (total dietary fiber) (AOAC, 2016)

(ส่งวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยและทดสอบอาหาร (Food Research and Testing Laboratory, FRTL) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

- เตาเผา (muffle furnace, Carbolite, CWF 1200, England)
- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, Schott Lab 850, Germany)
- อ่างน้ำอุ่น (water bath)
- Fritted crucible
- Vacuum source
- Vacuum oven
- โถดูดความชื้น (desiccator)
- ปีกเกอร์
- Balance

##### สารเคมี

- เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร
- เอทานอล ความเข้มข้นร้อยละ 78 โดยปริมาตร
- แอซีโตน
- ปีโตรเลียมอีเทอร์
- ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.08 M, pH 6.0)
- แอลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase, Termamyl)
- โปรตีเอส
- อะไมโลกลูโคซิเดส
- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.275 นอร์มัล
- สารละลายกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.325 นอร์มัล

### วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่างโดยอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 13 ชั่วโมง บดให้ละเอียด แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ถ้าตัวอย่างมีไขมันมากกว่าร้อยละ 10 ต้องสกัดไขมันออกโดยใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์ในอัตราส่วน 25 มิลลิลิตรต่ออาหารแห้ง 1 กรัม โดยสกัด 3 ครั้งก่อนบด
2. ชั่งตัวอย่างแห้ง 1 กรัม ให้น้ำหนักที่แน่นอน (ซึ่งละเอียดถึง 0.1 มิลลิกรัม) โดยน้ำหนักของตัวอย่าง 2 ซ้ำ ต้องไม่ต่างกันเกิน 20 มิลลิกรัม และทำ blank ควบคู่กันไปด้วย
3. ใส่ตัวอย่างในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 50 มิลลิลิตร เติมแอลฟาอะไมเลส 0.1 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ แล้วต้มในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 95-100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที
4. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับพีเอชเป็น  $7.540 \pm 2$  ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2575 นอร์มัล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเติมโปรตีนเอส 5 มิลลิกรัม ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วต้มในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยเขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที
5. ปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 4.0-4.6 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.325 นอร์มัล ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเติมอะไมโลกลูโคซิเดส 0.3 มิลลิลิตร ปิดบีกเกอร์ด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วต้มในอ่างน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 30 นาที และเขย่าบีกเกอร์ทุก 5 นาที
6. เติมสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ลงในบีกเกอร์ตัวอย่างที่ย่อยด้วยเอนไซม์แล้ว เพื่อตกตะกอนส่วนที่เป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 60 นาที
7. ชั่ง crucible ที่ใส่ celite ให้น้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นล้างด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 78 ต่อ crucible กับเครื่องปั๊ม (suction) แล้วถ่ายสารที่ย่อยได้จากข้อ 6 ลงกรอง เป็นเวลานาน 30 นาที
8. ล้าง residue ด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 78 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 3 ครั้ง และล้างด้วยสารละลายเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง และแอสิตอน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร จำนวน 2 ครั้ง
9. อบ residue ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 16 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักให้น้ำหนักที่แน่นอน หักลบน้ำหนัก crucible และ celite ออกเมื่อคำนวณน้ำหนัก residue ที่ได้
10. หาน้ำหนัก ปริมาณโปรตีน และปริมาณเถ้าตัวอย่าง เพื่อนำมาหักลบออกจากรับน้ำหนัก residue ที่ได้ จึงจะได้ปริมาณเส้นใยอาหารรวม

## การคำนวณ

$$\begin{aligned}
 B &= \text{Blank (มิลลิลิตร)} \\
 &= \text{น้ำหนักของ residue} - P_B \\
 \text{เมื่อน้ำหนักของ residue} &= \text{ค่าเฉลี่ยของน้ำหนัก residue (มิลลิกรัม) 2 ซ้ำจากการทำ blank} \\
 P_B &= \text{น้ำหนักของโปรตีน (มิลลิกรัม)} \\
 A_B &= \text{น้ำหนักของเถ้า (มิลลิกรัม)} \\
 \% \text{ TDF} &= [( \text{น้ำหนักของ residue} - P - A - B ) / \text{น้ำหนักตัวอย่าง}] \times 100 \\
 \text{เมื่อน้ำหนักของ residue} &= \text{ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวอย่าง 2 ซ้ำ} \\
 P &= \text{น้ำหนักของโปรตีน (มิลลิกรัม) จากตัวอย่าง} \\
 A &= \text{น้ำหนักของเถ้า (มิลลิกรัม) จากตัวอย่าง} \\
 \text{น้ำหนักตัวอย่าง} &= \text{ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักตัวอย่าง (มิลลิกรัม) 2 ซ้ำ}
 \end{aligned}$$

#### ข.6 ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (AOAC, 2016) (ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ ณ FRTL)

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

- High Performance Liquid Chromatography, HPLC, Agilent 100) ประกอบด้วย  
Detector: RI

Column: Lorbax NH<sub>2</sub> ขนาด 4.6 x 250 mm, 5  $\mu$ m

- Sonicator
- Membrane filter
- Syringe ขนาด 2 มิลลิลิตร
- water bath
- เครื่องแก้ว ได้แก่ ขวดรูปชมพู่ ปีกเกอร์ กระบอกตวง และแท่งแก้ว

##### สารเคมี

- Acetonitrile (HPLC grade)
- Methanol (HPLC grade)
- น้ำ millipore หรือ น้ำ DI
- สารละลายมาตรฐานของ glucose, fructose, sucrose และ maltose
- ปีโตรเลียมอีเทอร์

##### วิธีการเตรียมสารละลาย

1. เตรียม mobile phase ด้วยการนำ acetonitrile ผสมกับน้ำ DI ให้ได้ acetonitrile ร้อยละ 70 ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ แล้วนำไปกรองด้วย membrane filter ขนาด 0.45 ไมครอนเมตร และไล่อากาศโดยใช้ sonicator นานประมาณ 3 ชั่วโมง
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานของน้ำตาล โดยอบน้ำตาลมาตรฐานแห้ง ได้แก่ glucose,

fructose, sucrose และ maltose ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง ภายใต้สุญญากาศ ละลายใน methanol ให้ได้ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใน glucose, fructose และ maltose และที่ความเข้มข้น 15 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใน sucrose และเตรียมสารมาตรฐานของ น้ำตาลที่ความเข้มข้น 5 10 15 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

#### วิธีการเตรียมตัวอย่าง

1. สกัดไขมัน โดยชั่งมันฝรั่งที่บดแล้วหนัก 2-10 กรัม ใส่ลงในหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยง <100 มิลลิลิตร เติมนิโตรเลียมอีเทอร์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และปั่นเหวี่ยงที่ 2,000 rpm นาน 10 นาที และดูดนิโตรเลียมอีเทอร์ทิ้งโดยไม่เอาออกจากตัวอย่างที่เป็นของแข็ง และสกัดซ้ำอีกครั้ง จากนั้นระเหย นิโตรเลียมอีเทอร์ที่เหลือในตัวอย่างด้วยก๊าซ  $N_2$  และใช้แท่งแก้วบดตัวอย่างให้แตก

2. สกัดน้ำตาล โดยเติม methanol ปริมาตร 100 มิลลิลิตร วางใน water bath ที่อุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส นาน 25 นาที คนและทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และเติม methanol ให้เท่ากับ น้ำหนักเริ่มต้น และกรองส่วนที่สกัดผ่าน membrane filter ขนาด 0.45 ไมโครเมตร ถ้าสารละลาย ยังขุ่นให้นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว  $\geq 2,000$  rpm นาน 10 นาที ถ้าสารละลายยังขุ่นให้ปั่นเหวี่ยง ส่วนที่สกัดได้อีกรอบด้วยความเร็ว  $\geq 3,500$  rpm นาน 5 นาที และกรองผ่าน membrane filter

#### วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมเครื่อง HPLC โดยเปิดก๊าซและตั้งความดัน และกำหนดอัตราการไหลของก๊าซ ที่ มิลลิลิตรต่อนาที และตรวจสอบว่าในระบบมีก๊าซอยู่หรือไม่ รอจนความดันคงที่ และตรวจสอบค่า การดูดกลืนแสง (absorbance) และตั้งให้เป็นศูนย์

2. หา retention time ของ glucose, fructose, sucrose และ maltose โดยฉีด (Inject) สารละลายมาตรฐานของ glucose, fructose และ sucrose เข้าเครื่อง HPLC ที่อัตราการไหลของ mobile phase ที่ 1.5 มิลลิลิตรต่อนาที เพื่อให้ได้โครมาโตแกรมของน้ำตาลมาตรฐานแต่ละชนิด

3. ฉีดตัวอย่างสารละลายมันฝรั่งปริมาตร 20 ไมโครลิตร เข้าเครื่อง HPLC ที่สภาวะเดียวกัน กับข้อ 2 จะได้โครมาโตแกรมของน้ำตาลแต่ละชนิดในมันฝรั่ง โดยเปรียบเทียบค่า retention time ของน้ำตาลแต่ละชนิดที่ได้จากโครมาโตแกรมของมันฝรั่งกับค่า retention time ของสารละลาย มาตรฐาน glucose, fructose, sucrose และ maltose (ถ้าค่า retention time ของตัวอย่างมีค่า เท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่า retention time ของสารละลายมาตรฐาน สามารถสรุปได้ว่าสารนั้น เป็นสารชนิดเดียวกับสารมาตรฐาน

4. ทำกราฟมาตรฐาน โดยฉีดสารละลายมาตรฐานน้ำตาลที่เข้มข้น 5 10 15 20 และ 25 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เข้าเครื่อง HPLC ที่สภาวะเดียวกับข้อ 2 จะได้โครมาโตแกรมของมันฝรั่ง โดยนำ พื้นที่ในโครมาโตแกรมของสารตัวอย่างที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานที่มีความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ กับความเข้มข้นจะได้ปริมาณน้ำตาลแต่ละชนิด



## ข.7 การวิเคราะห์หาปริมาณฟรักแทน (Jove, and Hoebregs, 2000; AOAC, 2005)

(ส่งตัวอย่างวิเคราะห์ ณ กองโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

- Gas chromatography (GC 7890, Agilent<sup>®</sup>, USA) ประกอบด้วย  
Column: capillary aluminum-clad ที่เคลือบด้วย 5%-phenyl-polycarboranesiloxane (HT-5, Restek<sup>®</sup>, USA) ความยาว 6 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.53 มิลลิเมตร
- Gas chromatography (GC 6850, Agilent<sup>®</sup>, USA) ประกอบด้วย  
Column: capillary fused silica ที่เคลือบด้วย 100 % dimethylpolysiloxane (HP-1, Agilent<sup>®</sup>, J&W, USA) ความยาว 30 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร
- เครื่อง centrifuges
- Rotary vacuum evaporator
- freeze dryer

### สารเคมี

- อินูลิเนส (inulinase)
- FOS (HPLC grade) ได้แก่ kestose (GF<sub>2</sub>), nystose (GF<sub>3</sub>) และ 1F-β-fructofuranosyl nystose (GF<sub>4</sub>)
- น้ำตาลแรมโนส (internal standard)
- สารละลายน้ำตาลมาตรฐานชนิดต่าง ๆ (fructose, glucose, sucrose, lactose, GF<sub>2</sub>, GF<sub>3</sub> และ GF<sub>4</sub>)

### วิธีการเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่างให้มีปริมาณอินูลินประมาณ 1 กรัม สกัดน้ำตาลในตัวอย่างด้วยน้ำร้อน แล้ววัดปริมาณน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นทั้งก่อนและหลังการย่อยด้วยเอนไซม์โดย แบ่งสารที่สกัดได้ออกเป็น 2 ส่วน
2. ส่วนแรกแบ่งสารละลายที่สกัดได้มาย่อยด้วยเอนไซม์อินูลิเนส โดยใช้เอนไซม์ในปริมาณที่มากเพียงพอเพื่อการเปลี่ยนรูปแบบของน้ำตาลจากที่ระเหยไม่ได้ให้อยู่ในรูปที่สามารถระเหยได้ (volatile oximetrimethylsilyl derivatives) และตรวจวัดได้ด้วยเทคนิค GC โดยใช้คอลัมน์ Al-clad capillary column (HT-5) ที่เคลือบด้วย 5%-phenyl-polycarboranesiloxane (Restek<sup>®</sup>, USA)
3. อีกส่วนหนึ่งหาปริมาณฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์โดยตรวจวัดด้วยเครื่อง GC อีกเครื่องหนึ่ง โดยใช้คอลัมน์ HP-1 capillary fused silica column ที่เคลือบด้วย 100 % dimethylpolysiloxane (Agilent<sup>®</sup> J&W, USA) GC ทั้งสองเครื่องมีลักษณะการฉีดสารละลายแบบ cool-on column injection และตรวจวัดด้วย Flame Ionization Detector (FID)

4. เปรียบเทียบค่า retention time ของสารตัวอย่างกับสารละลายน้ำตาลมาตรฐานชนิดต่าง ๆ (fructose, glucose, sucrose, lactose, GF<sub>2</sub>, GF<sub>3</sub> และ GF<sub>4</sub>)
5. คำนวณเป็นปริมาณอินูลินและฟรักโทโอลิโกแซ็กคาไรด์แต่ละชนิดโดยเปรียบเทียบ retention time และพื้นที่ใต้กราฟกับสารละลายมาตรฐาน (calibration curve) ในช่วงความเข้มข้น 0.1-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### ข.8 ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value, P.V.) (AOAC 965.33, 2019) (ส่งวิเคราะห์ ณ FRTL)

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องแก้ว

##### สารเคมี

- สารละลายผสมแอซีติกต่อคลอโรฟอร์ม (3: 2)
- สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว
- สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล และ 0.01 นอร์มัล
- สารละลายน้ำเบี่ยงความเข้มข้นร้อยละ 1

##### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง  $5 \pm 0.05$  กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิตร
2. เติมสารละลายผสมแอซีติกต่อคลอโรฟอร์ม (3: 2) ปริมาตร 30 มิลลิตร
3. เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์อิ่มตัว ปริมาตร 0.5 มิลลิตร
4. เขย่าสารละลายเป็นเวลา 1 นาที ในที่มืด และเติมน้ำกลั่นทันทีปริมาตร 30 มิลลิตร
5. ไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล จนสารละลายเป็นสีเหลืองอ่อนและเติมสารละลายน้ำเบี่ยงความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาตร 2 มิลลิตร และไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินจางหาย
6. บันทึกปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต
7. ถ้าไทเทรตด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ให้วิเคราะห์ซ้ำด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 นอร์มัล
8. ทำ blank ตามวิธีเดียวกันที่กล่าวมาข้างต้น แต่ไม่ใส่ตัวอย่าง
9. คำนวณค่าเปอร์ออกไซด์

$$\text{Peroxide Value} = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

(milliequivalents peroxide/1000 g sample)

เมื่อ  $S$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง (มิลลิตร)'

$B$  = ปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต blank (มิลลิตร)

$N$  = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

## ภาคผนวก ค

### การวิเคราะห์สมบัติทางชีววิทยา

#### ค.1 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดด้วยวิธี total plate count (U.S.FDA-BAM, 1998)

##### เครื่องมือและอุปกรณ์

- ปิเปต (pipette)
- หลอดทดลอง (test tube)
- ขวดรูปชมพู่ (flask)
- จานเพาะเชื้อ (plate)
- หม้อนึ่งความดันไ
- เครื่องตีปนอาหาร
- Spreader

##### อาหารเลี้ยงเชื้อ

- อาหาร Plate Count Agar (PCA)
- Peptone water ความเข้มข้นร้อยละ 0.1
- สารละลายแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 95

##### เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งอาหาร PCAหนัก 23.5 กรัม ละลายในน้ำกลั่นร้อน 1 ลิตร บรรจุลงในขวดรูปชมพู่ ปิดปากด้วยจุกสำลี หลังจากนั้นนำไปฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลานาน 15 นาที

##### วิธีวิเคราะห์

1. สุ่มตัวอย่างอาหารจากหลาย ๆ ตำแหน่งของอาหาร ใส่ภาชนะปราศจากเชื้อปริมาณ 25 กรัม ใส่ถุงพลาสติกที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วสำหรับใช้เครื่องตีปนอาหาร
2. เจือจางด้วย peptone water ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตีปนนาน 1 นาที แล้วเติม peptone water ที่เหลืออีก 125 มิลลิลิตร ตีปนต่ออีก 30 วินาที จะได้ dilution 1: 10
3. ทำให้เจือจางจนได้ระดับความเจือจาง  $10^{-1}$   $10^{-2}$   $10^{-3}$   $10^{-4}$
4. ปิเปตตัวอย่างอาหารที่ระดับความเจือจางต่าง ๆ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ โดยแต่ละระดับความเจือจางให้ทำอย่างน้อย 2 จาน
5. เทอาหารเลี้ยงเชื้อ PCA ที่อุณหภูมิประมาณ  $45 \pm 1$  องศาเซลเซียส ลงในจานเพาะเชื้อ จานละประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้แข็ง

6. บ่มที่อุณหภูมิ  $35 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยวางในลักษณะกลับจานเพาะเชื้อด้านล่างขึ้น
7. นับจำนวนโคโลนีของจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยเลือกจากจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนระหว่าง 25-250 โคโลนี
8. รายงานผลจำนวนเชื้อทั้งหมดต่อตัวอย่าง 1 กรัม

## ค.2 ปริมาณยีสต์และราทั้งหมดด้วยวิธี total plate count (U.S.FDA-BAM, 1998)

### เครื่องมือและอุปกรณ์

- ขวดรูปชมพู่
- จานเพาะเชื้อ
- หม้อนึ่งความดันไอ
- เครื่องตีปนอาหาร
- spreader

### อาหารเลี้ยงเชื้อ

- Potato Dextrose Agar (PDA)
- Peptone water
- Tartaric acid ที่ปลอดเชื้อความเข้มข้นร้อยละ 10
- สารละลายแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95

### เตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ

1. ชั่งอาหาร PDA หนัก 39.0 กรัม ละลายในน้ำกลั่นร้อน 1 ลิตร บรรจุลงในขวดรูปชมพู่ และปิดปากด้วยจุกสำลี
2. ฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันไที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที
3. ปรับค่าพีเอชด้วย tartaric acid ที่ปลอดเชื้อความเข้มข้นร้อยละ 10 ปริมาตร 1.6 มิลลิลิตร ต่อ PDA ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้พีเอช 3.7-4.0
4. เทอาหาร PDA ลงในจานเลี้ยงเชื้อจานละ 15-20 มิลลิลิตร แล้วทิ้งให้แห้งตัว

### วิธีวิเคราะห์

1. ปิเปตตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ลงในถุงพลาสติกที่ผ่านการฆ่าเชื้อเพื่อเข้าเครื่องตีปนอาหาร
2. เจือจางด้วย peptone water ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 225 มิลลิลิตร
3. ปั่นนาน 30 วินาที และเจือจาง  $10^{-1}$   $10^{-2}$   $10^{-3}$   $10^{-4}$
4. เทอาหาร PDA ที่อุณหภูมิ 42-45 องศาเซลเซียส ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทิ้งไว้จนอาหารเพาะเชื้อแข็งตัว

5. ปิเปตตัวอย่างที่เจือจางที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้ออาหาร PDA
6. ใช้ spreader จุ่มแอลกอฮอล์จนไฟแล้วปล่อยให้เย็น จากนั้นเกลี่ยตัวอย่างให้กระจายทั่วหัวผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อ
7. บ่มที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-5 วัน
8. นับจำนวนยีสต์และรา
9. รายงานผลเป็นโคโลนีต่อกรัมตัวอย่าง (CFU ต่อกรัม)





## ภาคผนวก ง

### แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

**ชื่อผลิตภัณฑ์** มัฟฟินปลอดกลูเตนใส่ไส้ชาเขียวสูตรเจ (ไม่มีไข่และเนย)

**คำชี้แจง** กรุณาทดสอบชิมแล้วให้คะแนนความชอบของท่านที่มีต่อผลิตภัณฑ์มัฟฟิน โดยทดสอบตัวอย่างเรียงลำดับจากขวามือไปซ้ายมือ และกลั้วปากด้วยน้ำทุกครั้งก่อนทดสอบตัวอย่างถัดไป โดยกรุณาใส่คะแนนความชอบตามเกณฑ์ ดังนี้

|                |   |       |               |   |       |
|----------------|---|-------|---------------|---|-------|
| ชอบมาก         | 7 | คะแนน | ชอบปานกลาง    | 6 | คะแนน |
| ชอบเล็กน้อย    | 5 | คะแนน | เฉย ๆ         | 4 | คะแนน |
| ไม่ชอบเล็กน้อย | 3 | คะแนน | ไม่ชอบปานกลาง | 2 | คะแนน |
| ไม่ชอบมาก      | 1 | คะแนน |               |   |       |

| รหัส<br>ตัวอย่าง | คะแนนความชอบ    |    |       |         |        |                       |                   |
|------------------|-----------------|----|-------|---------|--------|-----------------------|-------------------|
|                  | ลักษณะ<br>ปรากฏ | สี | กลิ่น | กลิ่นรส | รสชาติ | ลักษณะ<br>เนื้อสัมผัส | ความชอบ<br>โดยรวม |
| .....            |                 |    |       |         |        |                       |                   |
| .....            |                 |    |       |         |        |                       |                   |
| .....            |                 |    |       |         |        |                       |                   |
| .....            |                 |    |       |         |        |                       |                   |
| .....            |                 |    |       |         |        |                       |                   |
| .....            |                 |    |       |         |        |                       |                   |
| .....            |                 |    |       |         |        |                       |                   |
| .....            |                 |    |       |         |        |                       |                   |
| .....            |                 |    |       |         |        |                       |                   |

**ข้อเสนอแนะ**

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ

## แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

**ชื่อผลิตภัณฑ์** มัฟฟินปลอดกลูเตนใส่ไส้ชาเขียวสูตรเจ (ไม่มีไข่และเนย)

**คำชี้แจง** กรุณาทดสอบชิมแล้วให้คะแนนความชอบของท่านที่มีต่อผลิตภัณฑ์มัฟฟิน โดยทดสอบตัวอย่างเรียงลำดับจากขวามือไปซ้ายมือ และกลืนปากด้วยน้ำทุกครั้งก่อนทดสอบตัวอย่างถัดไป โดยกรุณาใส่คะแนนความชอบตามเกณฑ์ ดังนี้

|           |   |       |                |   |       |
|-----------|---|-------|----------------|---|-------|
| ชอบมาก    | 5 | คะแนน | ชอบเล็กน้อย    | 4 | คะแนน |
| เฉย ๆ     | 3 | คะแนน | ไม่ชอบเล็กน้อย | 2 | คะแนน |
| ไม่ชอบมาก | 1 | คะแนน |                |   |       |

| รหัส<br>ตัวอย่าง | คะแนนความชอบ    |    |       |         |        |                       |                   |
|------------------|-----------------|----|-------|---------|--------|-----------------------|-------------------|
|                  | ลักษณะ<br>ปรากฏ | สี | กลิ่น | กลิ่นรส | รสชาติ | ลักษณะ<br>เนื้อสัมผัส | ความชอบ<br>โดยรวม |
| .....            |                 |    |       |         |        |                       |                   |
| .....            |                 |    |       |         |        |                       |                   |

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือ

## ภาคผนวก จ

### รูปภาพ



ภาพที่ 15 วัตถุดิบสำหรับทำมัมพิน



ภาพที่ 16 วัตถุดิบสำหรับทำไส้ชาเขียว



ภาพที่ 17 การบรรจุส่วนผสมของมัฟฟินใส่พิมพ์



ก)

ข)

ภาพที่ 18 การผลิตมัฟฟิน ก) สูตรควบคุม ข) สูตรเติมอินูลิน





ภาพที่ 19 มัฟฟินที่เติมพอลิเอทิลีนไตรออล 0 10 20 30 และ 40 โดยน้ำหนัก





ภาพที่ 20 การทำไส้ชาเขียว



ภาพที่ 21 การบรรจุไส้ชาเขียวลงในเนื้อมัฟฟิน





ภาพที่ 22 ส่วนผสมของเนื้อมัฟฟินและมัฟฟินใส่ไส้ชาเขียวสูตรเจ