การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วย Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid

Improving the quality and shelf life of white bread with Calcium propionate, Acetic acid and Sorbic acid

ศุภัคษร มาแสวง
วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์
ดวงกมล ตั้งสถิตพร
ธนภพ โสตรโยม
ดวงรัตน์ แซ่ตั้ง
เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์
สาวินี เพียรชำนาญ
จิราภัทร โอทอง

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วย Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid

Improving the quality and shelf life of white bread with Calcium propionate, Acetic acid and Sorbic acid

ศุภัคษร มาแสวง
วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์
ดวงกมล ตั้งสถิตพร
ธนภพ โสตรโยม
ดวงรัตน์ แซ่ตั้ง
เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์
สาวินี เพียรชำนาญ
จิราภัทร โอทอง

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่องานวิจัย การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วย Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid
ชื่อ นามสกุล ดร. ศุภัคษร มาแสวง และคณะ
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2564

บทคัดย่อ

ขนมปังขาวมีอายุการเก็บรักษาที่สั้น มักสูญเสียคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาเนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์ เพื่อยืดอายุของขนมขนมปังการเติมสารกันเสียจึงถูกนำมาใช้ในการผลิต ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของการเติมสารกันเสียเพื่อเพิ่มความเป็นกรด ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต กรดอะซิติก และกรดซอร์ติกด้วย ที่ความเข้นข้น 0.1, 0.2 และ 0.3 ที่มีต่อคุณภาพด้านกายภาพและเคมี และอายุการเก็บรักษาของขนมปัง รวมถึงการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาเปรียบสภาวะการเก็บรักษาของขนมปังสูตรต่าง จากการทดลองพบว่าขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิเนตมีปริมาตรจำเพาะและค่าความหนืดสูงที่สุด รองลงมาคือขนมปังที่เติมกรดแอซีกติกและกรดซอร์ แต่ในทางกลับกันขนมปังที่เติมกรดซอร์บิกมีความหนาแน่น ค่าความแข็ง ค่าความเคี้ยวได้ และค่าสี (L*, a*,b*) สูงที่สุด ตามด้วยขนมปังที่เติมกรดแอซีติกและแคลเซียมโพรพิโอเนตตามลำดับ และขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวที่สุด (12 วัน) ตามด้วยขนมปังที่เติมกรดแอซีติก (8 วัน) และกรดซอร์บิก (6 วัน) ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของสารกันเสียส่งผลให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จากกราฟซอร์ฟชันไอโซเทร์มพบให้เห็นว่าขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.3 มีค่าความชื้นสมดุล (Monolayer moisture content) สูงที่สุด แสดงให้เห็นมีประสิทธิภาพสูงสุดในการต่อต้านการเน่าเสียของขนมปังจากจุลินทรีย์จุลินทรีย์

คำสำคัญ: ขนมปังขาว, อายุการเก็บรักษา, แคลเซียมโพรพิโอเนต, กรดแอซีติก, กรดซอร์บิก

ชื่องานวิจัย Improving the quality and shelf life of white bread with Calcium propionate, Acetic acid and Sorbic acid
ชื่อ นามสกุล Dr. Supuksorn and others
สาขาวิชา Department of Food Science and Technology, Faculty of Home Economics Technology
ปีการศึกษา 2020

ABSTRACT

White bread has a short shelf life, thus the loses its desired charcteracteristics upon storage and its also subject to spoilage by fungi. To avoid this spoilage and increase shelf life, the addition of different levels of acidulants (calcium propionate, acetic acid and sorbic acid at 0.1, 0.2 and 0.3%) were evaluated for their quality characteristics contributing with acidulants as well as their microbial shelf life during 12 days of storage. In addition, the mathematical model (GAB and BET) were applied to study the storage condition of bread. From the experiment, it was found that bread with calcium propionate addition had the highest specific volume and springiness, followed by bread with acetic acid and sorbic acid adding. On the other hand, bread contained sorbic acid had the highest density, hardness, chewiness and color values (L*, a*,b*), followed by acetic acid and calcium propionate addition in order. Bread contained calcium propionate had the longest shelf life (12 days), followed by bread with acetic acid (8 days) and sorbic acid (6 days) adding, respectively. The increase in acidulants levels result in an increase of bread shelf life. From the sorption isotherm curves, bread contained 0.3% calcium propionate had the highest monolayer moisture content, indicating that it was the most effective against microbrial spoilage of white bread studied.

Key Words: White bread, Shelf life, Calcium propionate, Acetic acid, Sorbic acid

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการใช้สารเคมีเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมปังขาวหรือขนมปังปอนด์ ซึ่งได้แก่ Calcium propionate, Acetic acid and Sorbic acid งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งคณะผู้จัดทำของขอบพระคุณผู้มีส่วนร่วมในการทำวิจัยทุกท่านที่ให้ความเหลือในการวางแผนการทดลอง การจัดหาวัตถุ การเตรียมตัวอย่าง การทดสอบวิเคราะห์ การให้คำแนะนำในระหว่างการทำวิจัย รวมถึงคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่เอื้อเฟื้ออุปกรณี เครื่องมือ สถานที่ในการปฏิบัติงาน และสนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ ทำให้งานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานพิเศษเล่มนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษา ค้นคว้าข้อมูลไม่มากก็น้อย หากโครงงานพิเศษฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำกราขอภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ศุภัคษร มาแสวง และคณะ

30 กันยายน 2564

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	**ก**
ABSTRACT	**ข**
กิตติกรรมประกาศ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ช**
สารบัญแผนภูมิ	**ฌ**
สารบัญภาพ	**ญ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
1.5 สมมุติฐานงานวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**5**
2.1 นิยามของขนมปัง และปัจจัยคุณภาพ	5
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตขนมปัง	8
2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของขนมปัง	17
2.4 วิธีที่ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปัง	21
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง	**29**
3.1 วัตถุดิบ	29
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	29
3.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพ	29
3.4 สารเคมี	30
3.5 วิธีการดำเนินการทดลอง	31
3.5.1 การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วย Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.2 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วย Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid	33
3.5.3 ศึกษาการอายุการเก็บรักษาของขนมปัง	34
3.5.4 การทำนายและออกแบบสภาวะการเก็บรักษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	34
3.5.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ	34
3.6 สถานที่ทำการวิจัย	34
3.7 ระยะเวลาในการวิจัย	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	**35**
4.1 การพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตภัณฑ์ขนมปังปอนด์ หรือขนมปังขาว	35
4.2 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วย แคลเซียมโพรพิโอเนต (calcium propionate) กรดแอซีติก (acetic acid) และ กรดซอร์บิก (sorbic acid)	37
4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของขนมปัง	37
4.2.2 ผลของการเติมสารกันเสียที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาตารจำเพาะและความหนาแน่นของขนมปัง	39
4.2.3 ผลของการเติมสารกันเสียที่มีต่อสีของขนมปัง	40
4.2.4 ผลของการเติมสารกันเสียที่มีต่อสีของขนมปัง	42
4.3 การศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของขนมปังที่มีการเติมสารเคมี Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา	43
4.3.1 การศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของขนมปังระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)	43
4.3.2 การศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของขนมปังระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (10 องศาเซลเซียส)	47
4.4 การทำนายและออกแบบสภาวะการเก็บรักษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	53
4.4.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความชื้นและค่า water activity ด้วยกราฟ ซอร์ฟชันไอโซเทร์ม (sorption isotherm)	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายสภาวะการเก็บรักษาของขนมปัง	55
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	**59**
5.1 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	59
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
ภาคผนวก	**68**
ภาคผนวก ก การผลิตขนมปังขาว	69
ภาคผนวก ข ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	72
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี	74
ภาคผนวก ง การตรวจสอบทางจุลชีววิทยา	79
ภาคผนวก จ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. ๗๔๗/๒๕๕๕ ขนมปัง (Bread)	82
ประวัติย่อผู้วิจัย	89

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลี 9
2.2 จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเน่าเสียของในขนมปัง 20
3.1 สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตขนมปังขาว 31
4.1 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังสูตรต่างๆ 35
4.2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าอาหารทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมปังสูตรที่ 2 36
4.3 ลักษณะก้อนของขนมปังที่มีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ 37
4.4 ลักษณะเนื้อด้านในของขนมปังที่มีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ 38
4.5 ปริมาณความชื้น ปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นของขนมปังที่มีการเติม Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ 39
4.6 ค่าสี (L*, a*, b*) ของขนมปังที่มีการเติม Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ 41
4.7 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่มีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ 43
4.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขนมปังที่มีการเติมแคลเซียมโพรพิโอเนต (Calcium propionate) กรดแอซีติก (Acetic acid) และ กรดซอร์บิก (Sorbic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ 45
4.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราของขนมปังที่มีการเติมแคลเซียมโพรพิโอเนต (Calcium propionate) กรดแอซีติก (Acetic acid) และ กรดซอร์บิก (Sorbic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ 46
4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขนมปังที่มีการเติมแคลเซียมโพรพิโอเนต (Calcium propionate) กรดแอซีติก (Acetic acid) และ กรดซอร์บิก (Sorbic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ ที่อุณหภูมิตู้เย็น (10 องศาเซลเซียส) 48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราของขนมปังที่มีการเติมแคลเซียมโพรพิโอเนต (Calcium propionate) กรดแอซีติก (Acetic acid) และ กรดซอร์บิก (Sorbic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ อุณหภูมิตู้เย็น (10 องศาเซลเซียส) **49**

4.12 ขนมปังมีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบหลังการผลิต 4 วัน **51**

4.13 ขนมปังมีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบหลังการผลิต 8 วัน 51

4.14 ขนมปังมีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบหลังการผลิต 12 วัน 42

4.15 ค่าคงที่แบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของขนมปังที่มีการเติมสารกันเสียแคลเวียมโพรพิโอเนต กรดแอซีติก และกรดซอร์บิกที่ความเข้นข้นร้อยละ 0.3 ที่อุณหภูมิห้อง 57

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 Farinogram ของค่าคุณภาพต่างๆ ของแป้งสาลี **6**

2.2 การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีและกลไกการออกฤทธิ์ของบรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟในการยืดอายุขนมปังและอายุการเก็บรักษาขนมปังปราศจากกลูเตน และเพิ่มความปลอดภัยของอาหาร **25**

4.1 การบรรจุผลิตภัณฑ์ขนมปังในถุงพลาสติกใสระหว่างการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ 44

4.2 ลักษณะของเชื้อราที่เจริญบนขนมปัง 53

4.3 กราฟซ็อร์พชันไอโซเทอม (Moisture sorption isotherm) ที่อุณหภูมิห้อง ของขนมปังที่มีการเติมสารกันเสีย ได้แก่ แคลเซียมโพรพิเนต กรดแอซีติก และกรดซอร์บิก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ โดยเส้นกราฟถูกทำนายด้วย GAB model 54

4.4 ไอโซเทิร์มการดูด-คายซับความชื้นและการแบ่งช่วงกราฟตามแรงยึดเหนี่ยวของน้ำในอาหาร 55

ค.1 กราฟที่ได้จากการทำ Texture Profile Analysis 78

ง.1 ขั้นตอนการตรวจสอบจุลินทรีย์ / ยีสต์และรา ด้วยใช้ 3M Petrifilm 81

ง.2 ลักษณะโคโลนีของยีสต์และราที่เกิดขึ้น 81

สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิที่	หน้า
3.1 กรรมวิธีการผลิตขนมปังขาว	32
ก.1 กระบวนการผลิตขนมปังขาว	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเสื่อมเสียด้วยเชื้อรา (Fungal spoilage) เป็นปัจจัยที่จำกัดอายุการเก็บของขนมปัง และส่งผลให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจได้ ผลิตภัณฑ์ขนมอบมีการเจริญของเชื้อราได้ง่าย เช่น Aspergillus, Cladosporium, Penicillium และ Rhizopus (Dal bell et al., 2007) สปอร์ของเชื้อรามีการกระจายในบรรยากาศซึ่งพบมากว่า 1000 สปอร์/ลูกบาศก์เมตรในอากาศของสภาวะแวดล้อมที่ทำการแปรรูป ทำให้เกิดการปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์ที่สัมผัสกับอากาศรวมถึงพื้นผิวของอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปรรูปอีกด้วย (Samson et al., 2004) Water acivity และ pH ของขนมปังมีส่วนช่วยให้เกิดการเจริญของเชื้อราบนขนมปังที่ถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ (Belz et al., 2012) การแช่เย็นเป็นอีกวิธีที่ช่วยชะลอการเจริญของเชื้อราแต่วิธีนี้ยังเร่งการคืนตัวของแป้ง (Starch retrogradation) และการแข็งตัวของขนมปังอีก (Bread stealing) ด้วย (Gray and Bemiller, 2003) นอกจากนี้ยังมีการใช้แสงยูวีเพื่อลดการปนเปื้อนของสปอร์แต่มักใช้เฉพาะกับสินค้าเชิงพาณิชเท่านั้นเนื่องจากต้นทุนที่สูง (Smith et al., 2004) ดังนั้นการใช้สารเคมีเพื่อยืดอายุการเก็บจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้มากกว่าในยืดอายุการเก็บรักษาขนมปัง เช่น calcium propionate และ sorbic acid ก็ยินมใช้กันอย่างแพร่หลายเช่นกัน (Smith et al. 2004) โดยสามารถใช้ในขนมปังได้ไม่เกิน 0.3% (w/w) และ 0.2% (w/w) ตามลำดับ (EEC, 2008) ความคงตัวของขนมปังและอายุการเก็บค่อนข้างจำกัดเนื่องจากเกิดการแข็งของขนมปัง (Stealing) เป็นสิ่งที่ซับซ้อน การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมปังโดยไปที่เกิดมักเกิดจากปัจจัยอื่นๆ ด้วยนอกเหนือจากการเจริญของเชื้อรา ซึ่งทำให้ขนมปังสูญเสียความสดและลดคุณภาพของขนมปัง เช่น ทำให้เกิดการเสื่อมเสียคุณภาพด้านประสาทสัมผัส และด้านเคมีฟิสิกส์ (Physico-chemical properties) ในโครงสร้างและเนื้อสัมผัสของเปลือกและเนื้อขนมปังซึ่งพบว่าขนมปังมีค่าการละลายของแป้งลดลง สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของการเกิดผลึก และการลดลงของความสามารถในการอุ้มน้ำในช่วงที่เก็บรักษา (Hoseny and Miller, 1998) การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถเพิ่มขึ้นได้ ขึ้นอยู่กับสถาวะที่ใช้ในการเก็บรักษา โดยจะมักส่งผลต่อการเปลี่นแปลง เช่น การเพิ่มขึ้นของค่า Hardness dryness และ crumbliness ของเนื้อขนมปังซึ่งทำให้ความยืดหยุ่น (Elasticity) ลดลง, ความกรอบของเปลือกขนมปังลดลง และการลดลงของกลิ่น (aroma) รวมถึงลักษณะอื่นๆ ที่เกี่ยวกับความสดของขนมปัง ดังนั้นการเกิด Stealing จึงเป็นอีกปัจจัยที่ผลต่อ

การจำกัดอายุการเก็บของขนมปังด้วย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้อาจเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำจากเนื้อขนมปังไปที่เปลือกของขนมปังซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของระบบคอลลอยด์ (Burring, 1998) หรือการสูญเสียระหว่างสภาวะที่เก็บรักษาขนมปัง ดังนั้นการทำให้ขนมปังยังคงความสดจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะเปรียบเทียบการใช้สารเคมีในการยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปังซึ่งได้แก่ calcium propionate acetic acid และ sorbic acid ที่ 0.1%, 0.2% และ 0.3% และศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของขนมปังในแต่ละสูตรซึ่งเก็บในสภาวะการเก็บรักษาที่ Water activity ต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อที่จะนำองค์ความรู้ที่ได้ไปออกแบบสภาวะการเก็บรักษาและปรับปรุงสูตรการผลิตขนมปังให้มีอายุการเก็บรักษาที่นานขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เปรียบเทียบการใช้สารเคมีในการยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปังซึ่ง ได้แก่ calcium propionate และ sorbic acid ที่ 0.1%, 0.2% และ 0.3%

1.2.2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ของขนมปังในแต่ละสูตรซึ่งเก็บในสภาวะการเก็บรักษาที่ Water activity ต่างๆ ที่อุณหภูมิห้อง

1.2.3 เพื่อศึกษาใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ เช่น การเปลี่ยนของค่า Hardness หรือ การเปลี่ยนแปลงของ Sorption Isotherm และสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ขนมปัง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ขนมปังที่ใช้ในการทำวิจัยเป็นขนมปังหัวกะโหลกเนื้อขาวซึ่งใช้แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลัก

1.3.2 Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ที่ 0.1%, 0.2% และ 0.3% เป็น AG grade

1.3.3 สภาวะการเก็บรักษาที่ Water activity ในช่วง 0.5 – 0.9 a_w จะทำการทดลองในสภาวะปิดโดยใช้กล่องพลาสติกที่ปิดสนิท และจำลอง Water activity ในช่วง 0.5 – 0.9 aw ด้วยสารละลายเกลืออิ่มตัวหรือสารละลายกรดซัลฟูริก

1.3.4 การทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคที่ต่อผลิตภัณฑ์ที่ใช้สาร Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ที่ 0.2% โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนครั้งละ 50 คน ซึ่ง

เป็นอาจารย์และนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1.4.1 คัดเลือกสูตรการผลิตขนมปังขาวหรือขนมปังหัวโหลกจากสูตรพื้นฐาน 4 สูตร โดยการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ที่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคที่ต่อผลิตภัณฑ์ที่ใช้สาร Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ที่ 0.2% โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete Block Design, RCBD) ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนครั้งละ 20 คน ซึ่งเป็นอาจารย์และนักศึกษาสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยมีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) นำผลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis Of Variance - ANOVA) และวิเคระห์หาค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multipe’s Range test (DMRT)

1.4.2 ศึกษาการใช้สารเคมี ได้แก่ Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ที่ 0.1%, 0.2% และ 0.3% จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปัง

1.4.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และจุลิทรีย์ของขนมปังแต่ละสูตรในสภาวะการเก็บรักษาที่ที่มีการจำลอง Water activity ในช่วง 0.5 – 0.9 aw .ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18 วันและทำตรวจวัดคุณภาพทุก 3 วัน

1.4.3.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

- ตรวจวัดคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture รุ่น (TA-xt2i) โดยวัดค่า Hardness, Springiness, Cohesiveness
- ตรวจวัดค่าปริมาณความชื้น ด้วยตู้อบลมร้อน (AOAC, 2000)
- ตรวจวัดสี โดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ KONICA MINOTA รุ่น CM-3500d ค่าที่ทำการวัด ได้แก่ ค่าสี L*, a*, และ b*

1.4.3.2 การวิเคราะห์ทางจุลินทรีย์

2.3.1 โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (AOAC 17.2.01, 2000)

2.3.2 โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราอาหารเลี้ยงเชื้อ

1.4.3.3 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติและสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ขนมปัง

1.5 สมมุติฐานงานวิจัย

1.5.1 การใช้สารเคมี ได้แก่ Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ที่ 0.1%, 0.2% และ 0.3% จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปังได้นานขึ้น และส่งผลต่อคุณภาพของขนมปังที่แตกต่างกัน

1.5.2 Water acitvity มีผลต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ของขนมปังในช่วงที่เก็บรักษา

1.5.3 Water acitvity ส่งผลต่อคุณภาพด้านกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์ ของขนมปังที่ใช้สารเคมีในการยืดอายุการเก็บรักษาแตกต่างกัน

1.5.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ เช่น การเปลี่ยนของค่า Hardness หรือ การเปลี่ยนแปลงของ Sorption Isotherm เพื่อทราบสภาวะการเก็บรักษาที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ขนมปัง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเลือกใช้ชนิดสารกันเสียที่มีประสิทธิภาพในการยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังสดได้นานที่สุด ซึ่งสามารถนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดอื่นๆ ได้ เช่น ขนมเค้ก วาฟเฟิล เป็นต้น

1.4.2 ทราบสถาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการเก็บรักษาขนมปังสดเพื่อให้มีอายุการเก็บรักษายาวนานขึ้น โดยสามารถเลือกเก็บที่อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิแช่เย็น เป็นต้น

บทที่ 2

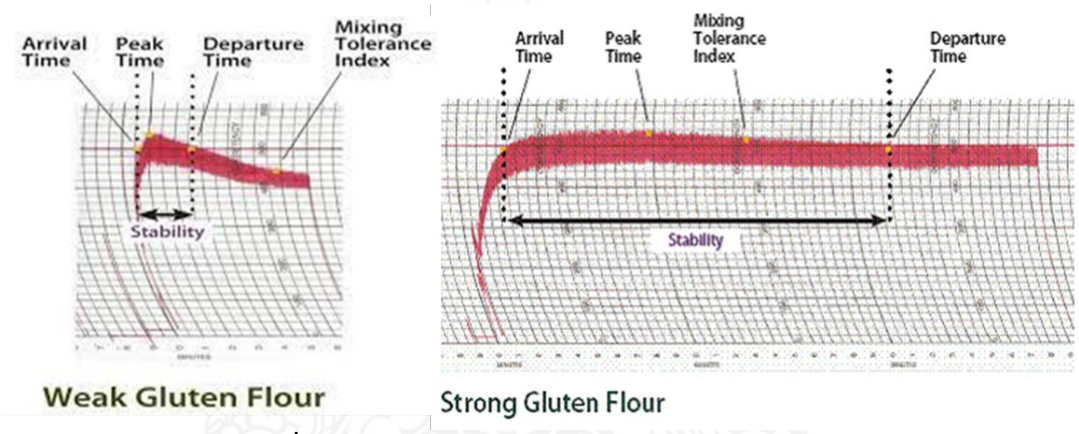
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามของขนมปัง และปัจจัยคุณภาพ

ขนมปังเป็นอาหารหลักของชาวตะวันตกมาตั้งแต่ยุคกรีกโบราณ ซึ่งได้รับการพัฒนาสูตรและรสชาติตลอดมาจนแพร่หลายไปทั่วโลก คนไทยเริ่มรู้จักขนมปังในสมัยอยุธยาเมื่อมีชาวตะวันตกเข้ามาติดต่อค้าขายและพักอาศัยอยู่กันมาก ได้นำแป้งสาลีที่เป็นวัตถุดิบสำคัญของการทำขนมปังเข้ามาด้วย คำว่าขนมปังมาจากคำว่า “แปง” (pain) ในภาษาฝรั่งเศส แต่เรียกว่า “ขนม” นำหน้าเพราะคนไทยไม่ได้กินเป็นอาหารหลักเหมือนข้าว ขนมปังที่คนไทยคุ้นเคยที่สุดตั้งแต่อดีตคือขนมปังแถว หรือที่คนสมัยก่อนเรียกว่าขนมปังปอนด์ ขนมปังได้รับการปรับปรุงสูตรหลากหลายในเวลาต่อมา จนกลายเป็นของว่างยอดนิยมในปัจจุบัน เช่น ขนมปังแซนด์วิช ขนมปังฝรั่งเศส ซอฟต์โรล และขนมปังหวาน เป็นต้น (ปรียานุช, 2553)

ขนมปังเป็นอาหารหลักของคนเกือบทั่วโลก โดยเฉพาะในประเทศแถบยุโรปและอเมริกา และมีการผลิตมากมายหลายสูตร แตกต่างกันตามความนิยมของแต่ละประเทศ โดยทั่วไปวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตขนมปังคือ แป้งสาลี เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเกิดโครงสร้างและเก็บกักแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ขนมปังมีคุณภาพดี ซึ่งการผลิตข้าวสาลีประมาณร้อยละ 70 นั้นเป็นการผลิตเพื่อเป็นอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อผลิตขนมปัง และอาหารอบชนิดต่างๆ เช่น เค้ก และคุกกี้ (Dobraszcyk, 2001) ทั้งนี้เพราะแป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด ที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม คือ กลูเตนิน (Glutenin) และไกลอะดิน (Gliadin) ซึ่งเมื่อแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ถูกต้องจะทำให้เกิดสารชนิดหนึ่งเรียกว่า “กลูเตน” (Gluten) มีลักษณะเป็นยาง เหนียว ยืดหยุ่นได้ นอกจากโปรตีนและกลูเตนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของแป้งสาลีแล้ว ในแป้งสาลียังมีเอนไซม์ที่สำคัญคือ บีต้า-อะมิเลส (β-amylase) และแลฟา-อะมิเลส (α-amylase) เอนไซม์เหล่านี้จำเป็นสำหรับทำขนมปัง โดยบีต้า-อะมิเลส จพทำการย่อยเดกซ์ทริน (Dextrin) และสารละลายสตาร์ชส่วนหนึ่งให้เป็นน้ำตาลมอลโทส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่จำเป็นสำหรับยีสต์ในการนำไปใช้เป็นอาหารในระหว่างการหมัก เอนไซม์ชนิดนี้ไม่ทนความร้อน การทำงานจะเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการหมัก โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีในแป้งสาลีที่สำคัญ คือ สตาร์ช และ กลูเตน รวมทั้งองค์ประกอบอื่น เช่น ไขมัน เพนโทเซน น้ำตาล และอื่นๆ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงเมื่อผสมแป้งกับน้ำ ยีสต์ และเกลือ เข้าด้วยกันจนเป็นโด (อรอนงค์, 2523)

นอกจากนี้คุณภาพของแป้งสาลีที่ใช้ในการผลิตขนมปังนั้นมีความแตกต่างกันตามคุณภาพทางเคมี ทางเอนไซม์ และทางกายภาพ (Rasper, 1991) กล่าวคือ ปริมาณความชื้น (ประมาไม่เกินร้อยละ 14) ปริมาณโปรตีน (ประมาณร้อยละ 11-13) วิตามิน ใยอาหาร และสตาร์ช มักใช้เป็นตัวกำหนดคุณภาพทางเคมีระดับของเอนไซม์ในปริมาณที่เหมาะสมเพียงพอในการผลิตแก๊สในระหว่างการหมักและกราอบขนมปังที่ได้ก็จะมีคุณภาพดี แต่หากมีประมาณน้อย หรือมากเกินไปจะทำให้คุณภาพของโดและผลิตภัณฑ์สุดท้ายลดลง (Hallen et al., 2004) สำหรับคุณภาพทางกายภาพนั้นเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการไหล (Rheology) ของแป้งสาลี ซึ่งมีกลูเตนเป็นองค์ประกอบหลักที่มีความสำคัญมากในแป้งสาลี เนื่องจากทำให้โครงสร้างของโดมีความยืดหยุ่น มีแรงต้านต่อแรงกวน หรือแรงเฉือน และมีความสามารถในการกักเก็บแก๊ส (Lazaridou et al., 2007) โดยคุณภาพดังกล่าวนี้สามารถวิเคราะห์ได้โดยเครื่อง Brabender-farinograph (ดังภาพที่ 1)



ภาพที่ 2.1 Farinogram ของค่าคุณภาพต่างๆ ของแป้งสาลี

ที่มา : Madhvi and Hemlata, 2015

2.1.1 ประเภทของขนมปัง

สามารถแบ่งขนมปังตามปริมาณของน้ำตาลและไขมันในสูตรได้เป็น 4 ประเภท คือ (UFM BAKING SCHOOL, 2528)

2.1.1.1 ขนมปังผิวแข็ง (Hard Bread)

ขนมปังชนิดนี้มีน้ำตาลน้อย ประมาณร้อยละ 0-2 และมีไขมันเพียงร้อยละ 0-3 เนื้อขนมปังจึงค่อนข้างแห้ง ผิวภายนอกค่อนข้างแข็ง เช่น ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังขาไก่ เป็นต้น

2.1.1.2 ขนมปังจืด (Loaf Bread)

ขนมปังชนิดนี้มีปริมาณน้ำตาลประมาณร้อยละ 4-8 และมีไขมันประมาณร้อยละ 3-6 เช่น ขนมปังแซนด์วิช ขนมปังหัวกะโหลก เป็นต้น

2.1.1.3 ขนมปังกึ่งหวาน (Soft Bun)

ขนมปังชนิดนี้มีปริมาณน้ำตาลประมาณร้อยละ 10-14 และไขมันประมาณร้อยละ 6-12 เนื้อขนมปังจึงนุ่มเนียน นิยมทำเป็นรูปทรงกลม อาจมีไส้หรือไม่มีไส้ก็ได้ ไส้ที่นิยมมักมีรสคาว เช่น ขนมปังไส้ไก่ แฮมเบอร์เกอร์ เป็นต้น

2.1.1.4 ขนมปังหวาน (Sweet Bough)

ขนมปังชนิดนี้ค่อนข้างหวานเพราะมีปริมาณน้ำตาลสูง ประมาณร้อยละ 16-22 และไขมันประมาณร้อยละ 12-24 นิยมใช้ทำขนมปังไส้หวานต่างๆ เช่น ขนมปังผลไม้ ขนมปังมะพร้าว เป็นต้น (ปรียานุช, 2553)

2.1.2 หลักและวิธีการทำขนมปัง (ดวงฤทัยและคณะ, 2555)

การทำขนมปังมรกรรมวิธีในการทำเช่นเดียวกับการผสมโดทั่วๆ ไป โดยเริ่มการผสมโด สำหรับขนมปังที่ให้ผลดีที่สุดก็คือ การผสมโดถึงจุดที่โดมีความหนืออ่อนปานกลาง โดยดูได้จากการที่โดไม่ติดที่ข้างและที่ก้นของอ่างผสม แล้วผสมต่ออีกประมาณ 3 นาที ก็เพียงพอแล้ว ถ้าผสมแบบเสตรทโด หรือผสมครั้งเดียว ควรตีเนย เกลือ และไขให้เข้ากันจนเป็นครีมก่อนที่จะเติมส่วนผสมที่เหลือลงไป ส่วนการผสมแบบ สปันจ์โด ควรใส่ไขมันหลังจากที่เติมแป้งลงไปแล้วเกิดโดขึ้นแล้วบางส่วน

การหมักโดที่ทำได้โดยวิธีสปันจ์-โด จะแตกต่างจากวิธีเสตรท-โด ถ้าใช้วิธีการหมักโดที่ทาได้โดยวิธีสปันจ์-โด จะแตกต่างจากวิธีเสตรทโด ถ้าใช้วิธีสปันจ์-โด ส่วนของสปันจ์จะถูกนำออกจากเครื่องผสมที่อุณหภูมิ 76°F แล้วทิ้งไว้ในห้องหมักนาน 2-3 ชั่วโมง สปันจน์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอีก 8-11 °F ในระหว่างที่หมัก อุณหภูมิของห้องจะยังคงอยู่ที่ 80°F เป็นการยากที่จะบ่งถึงความยาวนานของการหมักที่แน่นอน เนื่องจากมีสาเหตุหลายประการที่เกี่ยวข้อง เช่น กำลังของแป้งที่ใช้ ปริมาณของยีสต์ที่ใส่ลงไป ความหนืดของโดและอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามช่วงของการหมักก็จะอยู่ในระหว่าง 2-3 ชั่วโมง นอกจากนั้นชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโดที่หมักได้ที่แล้ว ก็จะต้องการเวลาในการหมัก สปันจ์ต่างกัน เช่น ชินเนมอนโรล และผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่คล้ายคลึงกัน มักมียอดแหลมตรงกลางเกิดขึ้นในระหว่างที่อบ เมื่อเป็นเช่นนี้ โดที่จะนำมาทำควรหมักให้เร็วขึ้น สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีไส้มาก เช่น คอฟฟี่เค้ก ต้องการโดที่มีช่วงหมักของสปันจ์นานกว่า

สปันจ์ที่หมักขึ้นดีแล้วจะถูกนำมาเข้าเครื่องผสม เพื่อผสมขั้นที่สองกับส่วนผสมที่เหลือผสมต่อจนได้โดที่มีความเรียบเนียน มีอุณหภูมิ 80 °F แล้วจึงนำมาพักต่ออีก 20-45 นาที หรือนานกว่านั้น การผสมและการพักหลังผสมแล้วจะใช้เวลานานขึ้น ถ้าแป้งที่ใช้ในการผสมเป็นแป้งแข็ง เมื่อพักโดได้ที่แล้ว ก็นามาตัดชั่งแล้วม้วนเข้าพิมพ์ หรือทาเป็นรูปต่างๆ ตามความต้องการ

สาหรับวิธีเสตรทโดนั้นต่างจากสปันจ์-โด โดยเสตรทโดใช้เวลาในการหมักสั้นกว่า คือใช้เวลาในการหมักเพียง 1 ½ ถึง 2 ชั่วโมง สาหรับสูตรที่เข้มข้น ชนิดของแป้งที่ใช้ และผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต โดยปกติระยะเวลาของการหมักจนถึงระยะเวลาในการปั้นรูป ใช้เวลาประมาณ 1 ½ ชั่วโมง

2.1.3 ขั้นตอนการทำขนมปัง (วิภาวัน จุลยา, 2549)

วิธีทำก้อนแป้งสาหรับทาผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยีสต์ มีดังนี้ คือ

2.1.3.1 วิธีผสมครั้งเดียว (straight dough method) ใช้ก้อนทั่วไป เพราะสะดวกในการทำโดยการผสมส่วนผสมต่างๆ ที่จะใช้พร้อมกันทุกอย่าง นวดจนแป้งเนียน หมักเพียงครั้งเดียว ขึ้นเป็น 2 เท่า วิธีนี้จำเป็นต้องมีการไล่ลม หรือลดปริมาณของก้อนแป้ง เมื่อหมักไปได้ประมาณ 80% ของเวลาที่ใช้หมัก

2.1.3.2 วิธีผสม 2 ครั้ง (sponge and dough method) วิธีนี้มีการผสมและการหมัก 2 ครั้ง ครั้งแรกผสมแป้งส่วนหนึ่งประมาณ 70%-80% ของน้ำหนักแป้งที่ใช้ ไม่จำเป็นต้องผสมจนก้อนแป้งเรียบเนียน ซึ่งเรียกขั้นนี้ว่า “สปันจ์” หมักประมาณ 2-3 ชม. เมื่อหมักสปันจ์ได้ที่แล้ว จึงผสมครั้งที่ 2 กับแป้งส่วนที่เหลือและส่วนผสมทั้งหมด เช่น ไข่ นม ฯลฯ กับเติมน้ำอีกประมาณ 55% ของน้ำหนักแป้งที่เหลือจนเข้ากันดี เรียกส่วนผสมนี้ว่า สปันจ์-โด

2.1.3.3 วิธีทุ่นเวลา (no-time dough) วิธีนี้ใช้ในการหมักน้อย เพราะสามารถลดเวลาการหมักลงประมาณ 2 ชม. คือหลังจากผสมแล้วไม่ต้องนำไปหมัก เพียงแต่พักไว้ประมาณ 15 นาที จึงนำมารีดและปั้นเป็นรูปใส่พิมพ์และพักตัวครั้งสุดท้ายประมาณ 1-2 ชม. ที่อุณหภูมิ 43 °C การผสมวิธีนี้ต้องใช้สารเคมีเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น ใช้ยีสต์มากกว่าปกติ คือใช้ประมาณ 2.5% ของน้าหนักแป้ง

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตขนมปัง

2.2.1 แป้งสาลี

ข้าวสาลี (wheat) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Triticum spp.* มีปลูกตั้งแต่สมัยโบราณในประเทศอิหร่าน อียิปต์ กรีก และประเทศในทวีปยุโรป ต่อมาได้ขยายพื้นที่ไปตามส่วนต่างๆ ของโลก ข้าวสาลีที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์ที่ใช้ทำขนมปัง (*Triticum aestivum*) พันธุ์ที่ใช้ทำมักกะโรนี (*Triticum durum*) และพันธุ์ที่ใช้ทำขนมเค้ก (*Triticum compactum*) แป้งสาลีมีขนาดเม็ดแป้ง 1-40 ไมครอน เป็นแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสคือร้อยละ 24-27 โดยมีค่า degree of polymerization (DP) ตั้งแต่ 800-1600 และมีอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนซ์อยู่ในช่วง 48-62 องศาเซลเซียส

2.2.1.1 แป้งสาลีแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) ข้าวสาลีชนิดหนักหรือแข็ง (hard or strong wheat) เป็นข้าวที่มีโปรตีนสูง มีน้ำหนักมากเมื่อผ่านการสีและโม่แล้ว แป้งจะมีลักษณะหยาบ ร่วน หนัก สีคล้ำ

2) ข้าวสาลีชนิดเบาหรืออ่อน (solf wheat) เป็นข้าวที่มีโปรตีนต่ำ มีน้ำหนักเมื่อผ่านการสีและโม่แล้ว แป้งจะมีลักษณะละเอียด เบา มีสีขาวกว่าชนิดแรก

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งสาลี

องค์ประกอบทางเคมี	**ปริมาณ (ร้อยละ)**
คาร์โบไฮเดรต	64
ความชื้น	14
โปรตีน	12.5
ไขมัน	1.65
เยื่อใย	2.5
เถ้า	1.75
น้ำตาลและกัม	3.6

ที่มา: กล้าณรงค์ และเกื้อกูล (2550)

2.2.1.2 ชนิดของแป้งสาลี

แป้งสาลีโดยทั่วไปในท้องตลาดจัดแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

1) แป้งขนมปัง มีความเหนียวสูง เป็นแป้งที่มีเปอร์เซ็นโปรตีนสูง ร้อยละ 12-14.5 โม่จากข้าวสาลีชนิดเปลือกแข็ง (daek morthern spring) (mard red winter) ถ้านำแป้งชนิดนี้มาล้างกลูเตนจะได้ตั้งแต่ร้อยละ 36-42 แป้งชนิดนี้ดูดซึมน้ำได้มากกว่าชนิดอื่น ใช้ทำพวกขนมปังทุกชนิด ขนมปังหวาน ขนมปังแซนด์วิช ขนมปังเปลือกแข็งและขนมปังที่ใช้ยีสต์ ทุกชนิด ลักษณะของแป้งขนมปังเนื้อแป้งจะหยาบ เมื่อถูด้วยนิ้วมือทั้งสองนิ้วจะรู้สึกคล้ายกรวดเล็กๆ สีของแป้งจะออกเป็นสีครีม เมื่อใช้ฝ่ามือบีบจะไม่รวมกันเป็นก้อนง่าย ตัวที่ช่วยให้ขึ้นฟู (leavening agent) ใช้กับยีสต์เท่านั้น

2) แป้งอเนกประสงค์ เป็นแป้งที่มีโปรตีนสูงปานกลาง อยู่ระหว่างร้อยละ 9-11 เป็นแป้งที่ได้จากการผสมข้าวสาลีชนิดแข็งกับชนิดอ่อนเข้าด้วยกันในสัดส่วนที่เหมาะสม ใช้ในการทำขนมหลายๆ ชนิด เช่น ขนมปังจืด ขนมปังหวาน ขนมเค้กบางชนิด ปาท่องโก๋ บะหมี่ ถ้าใช้ทำขนมปังเวลาที่ใช้ในการนวดแป้งจะน้อยกว่าทำจากแป้งขนมปังโดยตรง นอกจากนี้ยังใช้ทำขนมไทยได้ เช่น ขนมอาลัว ขนมดอกจอก ครองแครง กรอบเค็ม ลักษณะของแป้งชนิดนี้มี

คุณสมบัติทั้งของแป้งเค้กและแป้งขนมปังรวมตัวกัน ตัวที่ช่วยให้ฟูอาจจะใช้ยีสต์หรือสารเคมีอื่นๆ เช่น ผงฟู หรือ เบคกิ้งโซดา

3) แป้งเค้ก เป็นแป้งที่มีเปอร์เซ็นโปรตีนต่ำ ประมาณร้อยละ 7-8 โม่จากข้าวสาลีชนิดเปลือกอ่อน คือ พวก U.S.western white, solf red winter white แป้งเค้กแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.1) ชนิดโลเรโซ (low ratio) เป็นแป้งเค้กชนิดธรรมดา มีความขาวกว่าแป้ง 2 ชนิดข้างต้น เหมาะสำหรับทำขนม ซาลาเปา สปันจ์เค้ก บิสกิตหรือขนมไทย เช่น สาลี่ ปุยฝ้าย กลีบลำดวน

3.2) ชนิดไฮเรโซ (high ratio) เป็นแป้งชนิดพิเศษที่มีการปรับคุณภาพเพื่อให้ดูดซึมน้ำและน้ำตาลได้มากกว่าปกติเพื่อให้ได้เนื้อเค้กที่ฟูเบา เนื้อละเอียด ไม่ยุบตัว เหมาะกับการทำเค้กชนิดที่มีปริมาตรน้ำตาลในสูตรมาก เช่น บัตเตอร์เค้ก ชิฟฟอนเค้ก ลักษณะของแป้งชนิดนี้ เนื้อแป้งจะเนียนละเอียด เมื่อบีบแป้งเข้าด้วยกันจะมีลักษณะเป็นก้อนได้ง่าย สีของแป้งจะขาวกว่าแป้งขนมปังและแป้งอเนกประสงค์ ตัวที่ช่วยให้ฟูใช้ได้ทั้งผงฟูและเบคกิ้งโซดา

2.2.1.3 คุณลักษณะของแป้งสาลี

1) สีของแป้ง แป้งที่ดีควรมีสีขาว แป้งขนมปังจะมีสีขาวคล้ำกว่าแป้งอเนกประสงค์และแป้งเค้ก

2) กำลังของแป้ง หมายถึงพลังที่แป้งสามารถอุ้มแก๊สที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักได้ดี เพื่อให้ขนมขึ้นฟูและมีปริมาตรดี

3) ความทนต่อสภาพต่างๆ ของแป้ง หมายถึงลักษณะของแป้งที่มีความสามารถทนต่อสภาพการผสมนานๆ ทนต่อการรีด และขบวนการอื่นๆ โดยที่กลูเตนไม่ฉีกขาด ความทนต่อสภาพต่างๆ สูงจะทำให้หมักได้นาน และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรดี (ดวงฤทัย และคณะ, 2555)

แป้งสาลีจัดเป็นส่วนผสมที่สำคัญของการทำขนมปัง แป้งสาลีที่ดีควรมีโปรตีนสูง ซึ่งช่วยเสริมโครงสร้างของขนมปังและดูดซึมน้ำได้ดี เพราะเมื่อโปรตีนในแป้งสาลีผสมกับน้ำและนวดจนได้ที่จะมีลักษณะเป็นยางเหนียวๆ ยืดหยุ่น หรือที่เรียกว่า “กลูเตน” ทำหน้าที่กักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมักแป้ง กลูเตนที่ดีต้องทนต่อการรีด การหมัก และการผสมเป็นเวลานานโดยไม่ฉีกขาด กลูเตนจะมีคุณภาพดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของโปรตีนในแป้งเป็นสำคัญ (ปรียานุช, 2553)

2.2.2 ยีสต์

เป็นรากลุ่มหนึ่งที่ดำรงชีวิตอยู่ในสภาพเซลล์เดียวเป็นส่วนใหญ่ มีการขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อหรือโดยการแบ่งตัวออกเป็นสองเซลล์คล้ายบักเตรี มีขนาดเล็กมากมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ต้อง

ส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ ยีสต์นี้มีอยู่ตามธรรมชาติ เป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดการหมัก และยังเป็นอาหารที่มีคุณค่าอีกด้วย เพราะเป็นแหล่งของไวตามินและเอนไซม์ที่สำคัญ ยีสต์เป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญมากสำหรับการทำผลิตภัณฑ์ที่ใช้หมักด้วยยีสต์ เช่น ขนมปังชนิดต่างๆ โดนัท ซาลาเปา ยีสต์เป็นตัวที่ทำให้แป้งหมักที่มีความหนักเปลี่ยนเป็นเบาตัว มีความยืดหยุ่นและมีรูอากาศ ซึ่งเมื่อนำไปอบแล้วจะเป็นอาหารที่มีคุณค่าและย่อยง่าย สำหรับการทำขนมปังนั้น ยีสต์จะทำหน้าที่ตั้งแต่เริ่มผสมนวดแป้ง จนกระทั่งแป้งที่นวดได้ถูกนำไปอบ และจะหยุดทำหน้าที่เมื่อถูก ความร้อนจากตู้อบหรือจากแหล่งอื่นที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ให้สุก

ยีสต์ต้องการอาหารเช่นเดียวกับพืชหรือสิ่งมีชีวิตอื่นๆ น้ำตาลเป็นอาหารที่จำเป็นสำหรับยีสต์ในการทำให้ยีสต์เกิดพลังงาน แร่ธาตุและสารประกอบไนโตรเจน ก็เป็นอาหารที่สำคัญของยีสต์ด้วยเช่นกัน อาหารเหล่านี้จะได้มาจากแป้ง นม และส่วนผสมอื่นๆ (ดวงฤทัย และคณะ, 2555)

2.2.2.1 ประเภทของยีสต์

1) ยีสต์สด (compressed yeast) เป็นยีสต์ที่ผลิตขึ้นโดยการเลี้ยงและนำมาอัดเป็นก้อน โดยมีอาหารของยีสต์ที่เปียกชื้นเป็นก้อนแข็งห่อด้วยกระดาษตะกั่วหรือพลาสติกที่กันน้ำได้ ยีสต์สดความชื้นประมาณ 70% การทำงานของยีสต์จะช้าลงเมื่ออุณหภูมิต่ำ ดังนั้นยีสต์สดถ้าจะเก็บไว้นานเกิน 1 วัน ควรเก็บในตู้เย็นเก็บนานเป็นสัปดาห์ใช้อุณหภูมิ 50 "F เก็บนานเป็นเดือนใช้อุณหภูมิ 30 oF หลังจากนั้นจะเริ่มเสื่อมคุณภาพทีละน้อย ๆ การแช่เยือกแข็งยีสต์สด จะทำให้ยีสต์มีคุณภาพอยู่ได้นานขึ้น แต่การแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า -3 "C จะทำลายคุณภาพของยีสต์ ทำให้ยีสต์ตายในที่สุด และถ้าอุณหภูมิสูงยีสต์สดจะถูกทำลายได้ภายใน 24 ชั่วโมง ยีสต์สดที่อ่อนตัวแล้วไม่ควรนำมาใช้

ควรทำให้ยีสต์สดแตกแล้วละลายในน้ำก่อนที่จะเติมลงไปในแป้ง น้ำที่ใช้ละลายยีสต์ ควรมีอุณหภูมิ 80 "F แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาทีก่อนนำไปใช้ น้ำที่ใช้ละลายยีสต์ไม่ควรมีอุณหภูมิสูงกว่า 95 "F เพราะจะทำให้ยีสต์ตายได้ และไม่ควรเติมเกลือลงไปในสารละลายที่มียีสต์ละลายอยู่

ยีสต์สดนิยมใช้ในหลายประเทศที่มีการผลิตยีสต์สดใช้เอง สาหรับประเทศไทยไม่นิยมใช้ยีสต์สด เนื่องจากความไม่สะดวกในการใช้และเก็บรักษา แต่ยีสต์สดมีราคาถูกและให้กลิ่นของยีสต์ที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย

2) ยีสต์แห้งชนิดเม็ด (dry yeast) ยีสต์แห้งชนิดเม็ด หรือยีสต์แห้งที่ต้องละลายน้ำก่อนใช้ (active dry yeast) ได้จากการนายีสต์สดไม่ผ่านขบวนการทาให้แห้งที่อุณหภูมิต่าที่ควบคุมไว้ 95-104 "F โดยมีความชื้นลดลงเหลือประมาณ 80% มีลักษณะเป็นเม็ดกลมเล็กๆ และแข็ง ถ้าเก็บในที่แห้งและเย็นจะเก็บได้นานเป็นเดือนบรรจุในกระป๋องหรือขวดที่ปิดสนิท อาจมีบรรจุในซอง

พลาสติกขนาดเล็กเพื่อสะดวกในการนามาใช้แต่ละครั้ง วิธีการใช้ยีสต์ชนิดนี้ต้องนามาละลายน้ำอุ่นที่อุณหภูมิประมาณ 38 "F นานประมาณ 10-15 นาที โดยการเติมน้ำตาลเล็กน้อยเมื่อยีสต์ขึ้นดีแล้ว จึงนำไปผสมกับส่วนผสมอื่น ปัจจุบันยีสต์ชนิดนี้ไม่นิยมใช้เพราะใช้ยากกว่ายีสต์แห้งชนิดผง

3) ยีสต์แห้งชนิดผง (instant dry yeast) ยีสต์แห้งชนิดผงหรือยีสต์แห้งแบบไม่ต้องละลายน้ำ (instant yeast) เป็นยีสต์แห้งที่มีลักษณะเป็นเส้นสั้นๆ เล็กๆ บางชนิดเกือบเป็นผง บรรจุไม่ห่อกระดาษอลูมิเนียม โดยบรรจุแบบสุญญากาศจับดูภายนอกจะแข็ง แต่เมื่อเปิดห่อดูแล้วจะร่วนเทออกได้ไม่เป็นก้อน ยีสต์ชนิดนี้มีความสามารถในการหมักสูง เกิดปฏิกิริยาในก้อนแป้งโดยเร็วกว่ายีสต์แห้งชนิดเม็ด

สำหรับการใช้ยีสต์ทั้ง 3 ชนิดนี้จะให้ผลใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากยีสต์ทั้ง 3 ชนิดนี้มีกำลังในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกัน คือ ยีสต์สดจะมีกำลังในการหมักต่ำสุด ยีสต์เม็ดจะรองลงมาและยีสต์ผงมีกำลังหมักสูงสุด ดังนั้นปริมาณการใช้ยีสต์ทั้ง 3 ชนิดนี้เมื่อเทียบกันแล้วจะมีอัตราการใช้ดังนี้ ยีสต์สด : ยีสต์แห้งชนิดเม็ด : ยีสต์แห้งชนิดผง เท่ากับ 2.5 : 1 : 0.5 คือถ้าในสูตรใช้ยีสต์สด 250 กรัม จะใช้ยีสต์แห้งชนิดเม็ด 100 กรัม และยีสต์แห้งชนิดผง 50 กรัม

2.2.3 น้ำตาล

น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึกละลายได้ดีในน้ำ มีรสหวาน ใช้มากในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี มีหน้าที่เพิ่มความหวานให้แก่ผลิตภัณฑ์ เป็นอาหารของยีสต์ทำให้การหมักเกิดขึ้นได้เร็ว ทำให้ผิวนอกของผลิตภัณฑ์มีสีสวย เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ กลิ่น และรสของผลิตภัณฑ์ ช่วยเก็บความชื้น ทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์นุ่มอยู่ได้นาน เพราะถ้าใช้น้ำตาลมากเวลาอบจะสั้นเนื่องจากเกิดสีเหลืองของผิวขนมเร็วขึ้น ความชื้นออกได้น้อย ขนมจึงนุ่มและสดอยู่ได้นาน แต่ขนมปังจะมีความเหนียวลดลง (ดวงฤทัย และคณะ, 2555)

2.2.5.1 ประเภทขอบน้ำตาล

1) น้ำตาลทรายขาว (Granulated Sugar) ใช้กันมากในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี น้ำตาลทรายมีขนาดความละเอียดต่างๆ กัน มีตั้งแต่เป็นผงละเอียดมาก ธรรมดา และหยาบ น้ำตาลที่ใช้ได้ผลดี ควรมีความละเอียดและขาว เพราะจะผสมเข้ากับส่วนผสมอื่นๆ ได้ดี ถ้าน้ำตาลทรายที่มีขนาดผลึกใหญ่และหยาบจะผสมกับเนยได้ไม่ดี เพราะผลึกที่ใหญ่จะละลายไม่หมดและจะคงอยู่ในรูปเมล็ด ผลึกของน้ำตาลจะไม่ละลายโดยความร้อนจากตู้อบและน้ำตาลที่อยู่ใกล้ๆ ผิวของขนมจะเกิดเป็นจุดขึ้น นอกจากนั้นผลึกน้ำตาลที่หยาบจะไปขูดกับดีบุกที่เคลือบเครื่องผสมหรือชามผสมทำให้เกิดสีเทาขึ้นในผลิตภัณฑ์ โอกาสที่จะใช้น้ำตาลทรายมีมาก เช่น ใช้ในการโรยบนคุกกี้ ใช้ทำไส้ขนมและน้ำเชื่อม

2) น้ำตาลไอซิ่ง (Icing Sugar) น้ำตาลชนิดนี้เป็นผงละเอียดที่มีแป้งข้าวโพดผสมอยู่ ประมาณร้อยละ3 เพื่อต้องกันการจับตัวเป็นก้อนหรือป้องกันการเป็นผลึกของน้ำตาล ส่วนมากใช้น้ำตาลไอซิ่งและผสมกับแป้งทำเค้กสำเร็จรูป ความละเอียดของน้ำตาลชนิดนี้ช่วยให้ผสมง่ายขึ้น

3) น้ำตาลทรายแดง (Yello or Brown Suger) น้ำตาลชนิดนี้จะมีพวกคาราเมล แร่ธาตุ และความชื้นปนอยู่ด้วย และยังเป็นน้ำตาลที่ไม่บริสุทธิ์หรือเรียกว่าน้ำตาลดิบ น้ำตาลชนิดนี้ใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการกลิ่น รส และสีของน้ำตาลทรายแดง ส่วนใหญ่ใช้ในการทำคุกกี้และเค้กบางชนิด ไม่ใช้ในการทำเค้กที่มีความเบาตัว ถ้าจำเป็นต้องใช้ต้องเพิ่มความระมัดระวังให้มากในการที่จะผสม (จำลองลักษณ์, 2552)

2.2.4 เกลือ

เป็นส่วนผสมที่ใช้น้อยที่สุดในการทำขนมปัง เกลือที่มีคุณภาพดีควรละลายง่าย และได้สารละลายที่ใส เกลือช่วยเน้นและแก้ไขกลิ่นรสของส่วนผสมอื่นๆที่มีอยู่ในโด ถ้าใช้สูตรเข้มข้นซึ่งต้องเติมปริมาณของยีสต์สูงขึ้น ปริมาณของเกลือควรเพิ่มขึ้นด้วยเพื่อควบคุม อัตราการหมักให้เป็นไปอย่างเหมาะสม แต่ ถ้าเพิ่มมากเกินไปก็จะทำให้ยีสต์หยุดการทำงานได้ซึ่งจะทำให้การหมักชะงักลง สำหรับปริมาณเกลือที่ใช้ทั่วไปใช้ในช่วงร้อยละ 1-2 แต่สำหรับสูตรเข้มข้น อาจใช้เกลือได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 1.75 หรือไม่สูงกว่าร้อยละ 3 (ดวงฤทัย และคณะ, 2555)

เป็นสารประกอบประเภทไอออน (ionic compound) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการทำให้เป็นกลางระหว่างกรดกับด่าง หรือปฏิกิริยาระหว่างโลหะกับกรด

$$\text{กรด} + \text{ด่าง} \longrightarrow \text{เกลือ} + \text{น้ำ}$$

$$\text{โลหะ} + \text{กรด} \longrightarrow \text{เกลือ} + \text{ไฮโดรเจน}$$

สมบัติของเกลือ เกลือมีจุดหลอมเหลวสูง สามารถตกผลึกได้ เกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาการทำให้เป็นกลาง เมื่อละลายน้ำ สารละลายที่ได้จะมีสมบัติเป็นกลาง คือ มีค่าpH เป็น 7 สำหรับเกลือที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างด่างแก่กับกรดอ่อน เมื่อละลายน้ำ สารละลายเกลือที่ได้จะมีสมบัติเป็นด่าง เช่น โซเดียมคาร์บอเนตเป็นเกลือที่เกิดจากโซเดียวไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นด่างแก่กับกรดคาร์บอนิก ซึ่งเป็นกรดอ่อน ทำให้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตในน้ำมีสมบัติเป็นด่าง และการละลายของเกลือในตัวทำละลายจะแตกต่างกัน เกลือที่ละลายได้ดีในน้ำจะเป็นเกลือของโซเดียมและโพแทสเซียม แต่เกลือของแคลเซียมไม่ละลายในน้ำหรือละลายได้เพียงเล็กน้อย (นิธิยา, 2557)

2.2.5 ไข่ (egg)

ไข่เป็นส่วนผสมที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบโดยเฉพาะพวกเค้กและขนมปังหวาน ไข่ที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมอบในประเทศไทย นิยมใช้ไข่ไก่ ซึ่งหมายถึงไข่ถึงฟองที่อยู่ในเปลือกโดยจะมีความชื้นประมาณ 75% นอกจากนี้ยังจาแนกไข่ออกเป็นไข่ขาวและไข่แดง

ไข่ขาว จะมีน้ำอยู่ประมาณ 86% มีโปรตีนที่เรียกว่ามิวซิน (mucin) ซึ่งจะเป็นตัวที่ทาให้ไข่ขาวมีลักษณะเป็นเมือกลื่น ส่วนโปรตีนอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า โอวัลบูมิน (ovalbumin) จะช่วยทาให้ไข่ขาวคงตัวแข็งเมื่อถูกความร้อนและเมื่อตีไข่ขาวแรงและเร็ว

ไข่แดง จะมีน้ำอยู่ประมาณ 50% และมีสารไขมันที่เรียกว่า เลซิติน ซึ่งสารดังกล่าวจะทาให้ไข่แดงมีคุณสมบัติเป็นอิมัลซิไฟเออร์ และเป็นตัวทาให้เกิดการเสื่อมเสียเมื่อเก็บไปไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง

2.2.6 นม (milk)

2.2.6.1 นมโดยทั่วไปที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมปัง มีดังนี้คือ

2.6.1.1 นมสด เป็นของเหลวที่มีทั้งชนิดมีไขมันเค็ม ซึ่งได้แก่ นมสดบริสุทธิ์ (whole milk) นมสดที่เอาไขมันออกแล้ว หรือที่เรียกว่าหางนมสด (skim milk) และบัตเตอร์มิลล์ (butter milk)

2.6.1.2 นมข้นจืด (evaporated milk) ได้แก่ นมสดที่นำมาระเหยเอาความชื้นออก แล้วนำส่วนที่เหลือไปโฮโมจิไนซ์ มีทั้งชนิดนมข้นหวานที่ทำจาก นมสดบริสุทธิ์ ซึ่งนำมาระเหยแล้วเติมน้ำตาลลงไปประมาณ 41% นมข้นจืดชนิดนี้มีไขมันเต็มส่วนและไม่มีไขมัน (หางนม) ได้จากการนำนมสดมาระเหยแต่ไม่เติมน้ำตาลรู้จักกันในชื่อของ นมระเหย

2.6.1.3 นมผง (dry milk products) คือ การเอาน้านมสด หางนม บัตเตอร์มิลค์ ครีมเวย์ หรือ ผลิตภัณฑ์นมที่เป็นของเหลวมาทาให้แห้งจนได้ปริมาณของแข็ง 97% สามารถทำโดยวิธีการทาแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dry) หรือการทาแห้งแบบพ่นฝอย (spray dry) อาจจะทำในสภาวะที่เป็นสูญญากาศหรือไม่ก็ได้

2.2.6.2 หน้ำที่ของนม

นมจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำซึ่งมีอยู่ประมาณ 12.5–90% ขึ้นอยู่กับชนิดของนม จะทำหน้าที่ดังนี้

1. ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความน่ารับประทาน
2. ช่วยรวมส่วนผสมอื่นๆ เข้าด้วยกัน
3. ช่วยละลายน้ำตาลซึ่งเป็นตัวทำให้ผลิตภัณฑ์อ่อนนุ่ม
4. ช่วยให้แป้งเกิดโครงสร้างเมื่อรวมกับน้ำ
5. นมเมื่อรวมกับส่วนผสมอื่นอาจจะได้ทั้งความนุ่มและความแข็งก็ได้

2.6.3 หน้าที่ของนมผงต่อขนมปัง

1. เพิ่มความสามารถในการดูดซึม ทำให้ก้อนแป้งมีความยืดหยุ่นตัวขนมปังจึงมีขนาดใหญ่ขึ้น

2. ความทนทานต่อการนวดแป้งที่มีส่วนผสมของนม จะทนได้ดีต่อการผสมที่ใช้เวลานานเกินไป และจะกลับคืนสู่สภาพเดิมอย่างรวดเร็วก่อนที่จะใส่พิมพ์

3. ทนต่อการหมักได้นานขึ้น นมจะทำให้เกิดกรดระหว่างการหมักได้ช้าลง ดังนั้น จึงสามารถใช้เวลาหมักได้นาน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรดี กลิ่นหอม เพราะกลิ่นหรือรสเปรี้ยวลดน้อยลง

4. ทำให้สีผิวของขนมสวยขึ้น ปริมาณของโปรตีน แล็กโทส เคซีนในนม เป็นตัวสร้างสีเหลืองทองให้เกิดขึ้นกับผิวของขนมปังที่อบเสร็จแล้ว

5. ทำให้ได้ขนมปังที่เนื้อนุ่ม ละเอียด สะดวกต่อการหั่น

6. เพิ่มคุณค่าทางอาหาร เนื่องจากในนมมีโปรตีน เกลือแร่ วิตามิน ซึ่งทาให้ขนมปังมีกลิ่นรสและมีคุณภาพในการรับประทานดีขึ้น

7. รสชาติของขนมอร่อยขึ้น

2.2.7 ไขมัน

การใช้ไขมันในการทำขนมปัง เพื่อให้ขนมปังมีความนุ่มมากยิ่งขึ้น ช่วยให้รูพรุน ในขนมปังสม่ำเสมอ และยังทำให้ขนมปังมีความมันเงา ลักษณะของขนมปังมีสี รสชาติ และกลิ่น ที่หอมของไขมันหรือเนยแต่ละชนิดที่ใช้ทำในขนมปัง (จำลองลักษณ์, 2552)

2.2.7.1 เนยสด (Butter) ทำจากส่วนที่เป็นไขมันของนมวัว ประกอบไปด้วยไขมันร้อยละ 80 มีสีเหลือง มีกลิ่น รสหวาน มีลักษณะแข็งที่อุณหภูมิห้อง เนยสดนั้นใช้ได้ดีที่สุดในการให้กลิ่นรส แต่จะมีคุณสมบัติย่อยในการตีครีม คือ เนยสดจะตีเป็นครีมไม่ดี และขาดความเป็นเนื้อเดียวกัน เค้กที่ทำจากเนยสดล้วนๆ โดยทั่วไปจะมีปริมาณต่ำ เนื้อเค้กหยาบ แต่มีรสชาติหอมน่ารับประทาน

2.2.7.2 มาร์การีน (Margarine) มีมากมายหลายชนิดตามความสามารถในการละลาย การใช้ประโยชน์โดยทั่วไปจัดเป็น 3 ชนิดคือ

1) มาร์การีนอ่อน โดยปกติแล้วต้องเก็บในตู้เย็น เพราะมีจุดละลายต่ำ เมื่อทิ้งไว้ในอุณหภูมิปกติ มีความอ่อนตัวสามารถตักป้ายบนแผ่นขนมปังรับประทานได้ มีกลิ่นรสคล้ายเนยสด

2) มาร์การีนสำหรับทำขนม (Bake's Margarine) มาร์การีนชนิดนี้ใช้เหมือนกับชอร์ตเทนนิ่งหรือเนยขาว มีจุดละลายสูง มีช่วงสภาพการยืดหยุ่นที่กว้าง มีเนื้อละเอียดเนียน ใช้ผสมทำเค้กแทนสดได้

3) เพสตรีมาร์การีน (Pastry Margarine) มาร์การีนชนิดนี้ปกติจะผลิตออกมา 2 แบบคือ เดนนิชเพสตรีมาร์การีนและพัฟฟ์เพสตรีมาร์การีน

2.2.7.3 ชอร์ตเทนนิ่ง (Shortening) การใช้ชอร์ตเทนนิ่ง (เนยขาว) ที่มีคุณภาพดีเป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะเป็นการเน้นคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่อบด้วยชอร์ตเทนนิ่ง จำแนกออกเป็นชนิดต่างๆ ตามการใช้ประโยชน์

1) ชอร์ตเทนนิ่งอเนกประสงค์ เป็นไขมันที่ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ทั่วๆ ไป มีความคงตัวสูง ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่หลายอย่าง เช่น ขนมปังหวาน อาหารว่างต่างๆ

2) ชอร์ตเทนนิ่งที่มีความคงตัวสูง (Hight Stability Shortening) เป็นไขมันชนิดพิเศษที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์พวกแครกเกอร์ สวีทบิสกิต

3) ไฮ-เรโชชอร์ตเทนนิ่ง เป็นไขมันแข็งที่ผสมพวกสารอิมัลซิไฟด์ลงไป ทำให้ไขมันมีคุณสมบัติพอเศษในการที่จะอุ้มน้ำได้ในสัดส่วนที่สูง เพื่อใช้เป็นตูดขนมเค้กที่มีอัตราส่วนของน้ำตาลต่อแป้งและส่วนอื่นๆ สูง

4) ชอร์ตเทนนิ่งที่ใช้สำหรับขนมปัง (Bread and sweet Dugh Shortening) ใช้สำหรับทำโดของขนมปังจืดและขนมปังหวานโดยเฉพาะ

2.2.8 น้ำ

เป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญของผลิตภัณฑ์เบเกอรี เพราะน้ำช่วยให้ส่วนผสมต่างๆ ของผลิตภัณฑ์เข้ากันได้ดีในการทำขนมปัง น้ำทำหน้าที่รวมตัวกับโปรตีนในแป้งเพื่อให้เกิดกลูเตนและช่วยทำให้ยีสต์กระจายตัวทำงานในระหว่างการหมักโด เป็นตัวควบคุมความเหนียวและอุณหภูมิของโด น้ำยังช่วยให้ผงฟูทำปฏิกิริยาเปลี่ยนสภาพจากแป้งดิบเป็นแป้งสุก เมื่อได้ความร้อนขณะที่อบ และช่วยป้องกันไม่ให้เนื้อด้านในของเบเกอรีเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล ทำให้เก็บได้นานขึ้น น้ำที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี (นภัสรพี และสวามินี, 2563)

2.2.9 สารเสริมประเภทต่างๆ

สารเสริมคุณภาพ (bread improved) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ช่วยทุ่นเวลาในการทาขนมปัง (dough method หรือ quick dough) ประกอบด้วย อาหารสาหรับยีสต์ และยังช่วยให้เนื้อขนมปังนิ่มละเอียดและสีขาวขึ้น เก็บไว้ได้นานกว่าปกติ ขนาดวิธีใช้ 2 ช้อนชา ต่อแป้ง 1 กิโลกรัม โดยนำสารเสริม

คุณภาพ ซึ่งเป็นผงสีขาวผสมลงกับแป้งได้เลย จะช่วยลดเวลาในการหมักแป้งในช่วงแรก ซึ่งปกติ 1-11/2 ชม. เหลือเพียง 10 นาที

2.9.1 ยู 99 สารเสริมใช้ในขนมปัง ช่วยเร่งและปรับสภาพกลูเต็น ย่นเวลาการหมัก ได้ขนมที่มีขนาดใหญ่

2.9.2 เอสพี (ผงฟูแบบฟอสเฟต) ลักษณะทั่วไป เป็นครีมใส สีน้ำตาลอ่อน มีกลิ่นหอม ใช้กับเค้กหรือขนมที่ต้องการการขึ้นฟู ด้วยฟองอากาศ ช่วยให้เกิดฟองได้ปริมาณมาก ช่วยให้ประหยัดแรงงานและเวลาในการผสม เพราะผสมส่วนผสมทุกอย่างได้พร้อมกันหมด เมื่อผสมแล้ว ไม่จำเป็นต้องอบทันที ส่วนผสมจะอยู่ตัวได้ถึง 3 ชั่วโมงและส่วนผสมจะกระจายตัวได้ดี ขนมจะเก็บไว้จะนุ่นนาน ปริมาณที่ใช้ 1.5-2.0% ของน้ำหนักทั้งหมด

2.9.3 เอ็มแพล็ก เป็นส่วนผสมที่ได้จากอาหารในธรรมชาติ คือ จาก นมถั่วเหลือง เกลือ ช่วยให้ขนมละเอียด นุ่ม และช่วยให้เก็บได้นาน อาจใช้ควบคุมกับสารเสริมคุณภาพได้ ปริมาณการใช้และคุณสมบัติที่มีต่อขนมแต่ละชนิด

ขนมปังทั่วไป ใช้ปริมาณ 0.5% ของน้ำหนักแป้ง ช่วยให้เนื้อขนมปังละเอียดและเก็บไว้ได้สดนาน ขนมปังหวานและเดนพิชเพสตรี้ ใช้ 0.5% - 1.0% ช่วยให้ขนมเก็บได้สดนานและลดปริมาณเนยลงได้ถึง 20% และเนยที่ลดลงทุก 1 กิโลกรัม ให้เติมน้ำลงในสูตรเพิ่มอีก 740 กรัมโดนัทยีสต์ใช้ 0.5% - 0.75% ของน้ำหนักแป้ง ช่วยให้ขนาดใหญ่ขึ้น และสม่ำเสมอกัน และช่วยให้สดนาน ขนมที่ฟูโดยผงฟู ช่วยให้น้ำกับไขมันรวมตัวกันได้ดีขึ้น อายุการเก็บนานขึ้นช่วยให้ขนมมีขนาดใหญ่ สม่ำเสมอ นุ่มขึ้น ใช้ 0.1-0.2% ของน้ำหนักทั้งหมด

2.9.4 แพ็ตโก้-3 สารเสริมใช้กับขนมปังหรือเค้ก ให้เนื้อขนมนุ่มละเอียด มีขนาดเพิ่มขึ้น และคงความสดได้นาน

2.9.5 Ec 25 K เป็นอีมัลซิไฟเออร์(emulsifiyer)ตัวหนึ่ง ช่วยในการเสริมคุณภาพที่ดีของขนมเค้กที่มีไขมัน เป็นส่วนผสมหลักทุกชนิด มีลักษณะเป็นครีมสีขาวออกเหลือง เมื่อใช้ในเค้กประมาณ 12-15% ของน้ำหนักไขมันในสูตร ช่วยทำให้เกิดการรวมตัวที่ดีของเหลว และไขมัน ในส่วนผสมของเค้ก ไม่แยกชั้น ขนมมีปริมาณมากขึ้น เนื้อฟู เบา ละเอียด และนุ่ม

2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการเก็บรักษาของขนมปัง

2.3.1 การแข็งตัวของขนมปัง (Bread stealing)

การแข็งตัวของขนมปัง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและทางกายภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเปลือกและเนื้อขนมปังระหว่างการเก็บรักษา และค่อยๆ ลดการยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากไม่ถือว่าผลิตภัณฑ์มี "ความสด (fresh)" อีกต่อไป ซึ่งสิ่งเหล่านี้มักมาพร้อมกับการสูญเสีย

ความกรอบ (crispness) แต่เพิ่มความแน่น (firmness) ของส่วนเปลือกขนมปัง และเกิดรอยแตกร้าว (crumbliness) หรือแตกเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย (สูญเสียการเกาะติดกัน) นอกจากนี้ยังเกิดการสูญเสียหรือการเปลี่ยนแปลงของรสชาติและกลิ่นของขนมปังได้ (Cauvain and Young, 2007) อันที่จริงการแข็งตัวของขนมปังส่วนใหญ่ถูกตรวจพบได้ทางประสาทสัมผัสโดยการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส รสชาติ และกลิ่นของขนมปัง

กระบวนการแข็งตัวของขนมปังโดยรวมประกอบด้วย 2 ปรากฏการณ์ คือ 1) ผลการแข็งตัวที่เกิดจากการถ่ายเทความชื้นจากเนื้อไปยังเปลือกขนมปังระหว่างการเก็บรักษา และ 2) การแข็งตัวภายในของเนื้อขนมปังซึ่งสัมพันธ์กับการตกผลึกของแป้งอีกครั้ง (re-crytallization) ระหว่างการเก็บรักษา (Pateras, 1998) ในกรณีแรกเปลือกขนมปังจะดูดซับความชื้นจากส่วนเนื้อขนมปังภายในซึ่งมีความชื้นประมาณ 45% จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าในช่วงระยะเวลาการเก็บรักษา 100 ชั่วโมง ความชื้นของเปลือกอาจเพิ่มขึ้นเป็น 28% (Pateras, 1998) ในทางกลับกัน การเกิดการตัวของส่วนเนื้อขนมปังเป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนกว่าและมีความเข้าใจน้อยกว่า และมักเกิดความล้มเหลวในการทำความเข้าใจกลไกของกระบวนการนี้เป็นอุปสรรคสำคัญต่อการพัฒนาวิธีการป้องกันการแข็งตัวของขนมปัง

ในปัจจุบันมีการเสนอและอภิปรายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวมากมาย เช่น บทบาทของการคืนตัวของแป้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งของการคืนตัวอะไมโลเพกติน แม้ว่าจะไม่ได้ส่งผลโดยตรงต่อการแข็งตัวของขนมปัง, บทบาทของโปรตีนกลูเตน และปฏิกิริยาระหว่างแป้งกับกลูเตน

นอกจากนี้อุณหภูมิในการเก็บรักษา, การเคลื่อนตัวของความชื้น, การกระจายความชื้นของส่วนเนื้อและส่วนเปลือกขนมปัง และการกระจายความชื้นระหว่างส่วนประกอบต่างๆ ในขนมปังถือเป็นปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่ออัตราการแข็งตัวของขนมปัง สารยับยั้งการแข็งตัวของขนมปังที่นิยมใช้ ได้แก่ อะไมเลส และ เอ็นไซม์ที่ถูกย่อย, ไลเปส, ไลพอกซีเจเนส, เอ็นไซม์ดัดแปลงโพลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง, โปรตีเอส, ลิพิดที่ออกฤทธิ์บนพื้นผิว (surface-active lipids) และเอนไซม์อื่นๆ

สำหรับขนมปังที่ปราศจากกลูเตน (GF) นั้น การแข็งตัวของขนมปังเป็นหนึ่งในปัญหาที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากขนมปังนั้นใช้แป้งเป็นหลัก (Melini et al., 2017) นอกจากนี้ ขนมปังที่ปราศจากกลูเตนมักจะมีความหนาแน่นของไขมันมากกว่าขนมปังที่มีกลูเตน (Miranda et al., 2014) ดังนั้นขนมปังดังกล่าวจึงมีแนวโน้มที่จะเกิดออกซิเดชันของไขมัน ทำให้เกิดรสชาติที่ผิดเพี้ยน อาจทำคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปัง GF เกิดความบกพร่องได้

2.3.2 การเน่าเสียของขนมปัง (Bread Spoilage)

ส่วนผสมของขนมปังเป็นสิ่งที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเพิ่มจำนวนในขั้นต่างๆ ของการผลิตขนมปัง การแปรรูป การบรรจุหีบห่อและการเก็บรักษา เชื้อรา ยีสต์

และแบคทีเรียเป็นสาเหตุหลักของการเน่าเสียในขนมปังเนื่องจาก จุลินทรีย์สามารถเติบโตได้ภายใต้สภาวะที่หลากหลาย รวมถึงในที่ที่จุลินทรีย์อื่นๆ ไม่สามารถแข่งขันได้ และสามารถอยู่รอดได้ในสภาพแวดล้อมของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (Cauvain, 2015) การเจริญเติบโตของเชื้อราเป็นสาเหตุที่พบบ่อยที่สุดของการเน่าเสียของขนมปัง เชื้อรามักเกิดการปนเปื้อนหลังการแปรรูป ขนมปังที่เพิ่งนำออกจากเตาใหม่ๆ นั้น จะไม่พบเชื้อราและสปอร์ในขนมปัง เนื่องจากเชื้อราเหล่านี้จะถูกปิดการใช้งานด้วยความร้อนระหว่างกระบวนการอบ อย่างไรก็ตามก้อนขนมปังสามารถถูกปนเปื้อนด้วยเชื้อราได้ในระหว่างการรอให้เย็น การหั่น การบรรจุ และการเก็บรักษา เนื่องจากสภาพแวดล้อมภายในร้านเบเกอรี่ไม่ได้ปลอดฆ่าเชื้อและมีแนวโน้มที่จะเป็นแหล่งของการปนเปื้อน (Pateras, 1998) การเจริญของเชื้อราบนขนมปังนั้นจะเกิดขึ้นช้า และถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศต่ำกว่า 90% มันจะไม่เจริญเติบโต แต่อย่างไรก็ตาม เชื้อราสามารถเติบโตอย่างรวดเร็วในบรรยากาศที่ชื้นและโดยเฉพาะอย่างยิ่งบนก้อนขนมปังที่ห่อหุ้มด้วยบรรจุภัณฑ์ เมื่อขนมปังถูกห่อหลังออกออกเตาอบขณะที่ยังร้อนหยดน้ำจะควบแน่นที่พื้นผิวด้านในของสิ่งห่อหุ้มและส่งเสริมการเติบโตของเชื้อรา ขนมปังที่หั่นเป็นแผ่นจะไวต่อการเน่าเสียของเชื้อรามากกว่าเนื่องจากมีพื้นผิวที่กว้างขึ้นทำให้มีโอกาสปนเปื้อนจากเชื้อรามากขึ้น มีหลายปัจจัยที่อาจส่งผลต่ออัตราการเติบโตของเชื้อรา ได้แก่ ชนิดของแป้ง วิธีการแปรรูป การบรรจุ และสภาวะการเก็บรักษา

Rhizopus nigricans ที่มีเส้นใยเหมือนฝ้ายสีขาวและจุดสีดำของสปอร์, *Penicillium expansum* หรือ *P. stolonifer* มีสปอร์สีเขียว และ *Aspergillus niger* ที่มีโคโนนีเป็นสีเขียวถึงดำเป็นเชื้อราที่มักเกี่ยวข้องกับการเน่าเสียของขนมปัง ดังนั้นจึงเรียกว่า “ราขนมปัง” (Pateras, 1998) ดังแสดงตารางที่ 2.2 ในขนมปังที่ผลิตด้วยแป้งข้าวสาลีมักตรวจพบการเจริญของเชื้อรา *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Mucorales* และ *Neurospora* ด้วย *Penicillium spp.* เป็นราขนมปังที่พบมากที่สุด ในขนมปังดำ *Rhizopus (nigricans) stolonifer* เป็นเชื้อราที่ทำให้เน่าเสียได้มากที่สุด และปรากฏเป็นเส้นใยสีขาวและมีรังสปอร์สีดำ

เชื้อราบางชนิดสามารถผลิตสารพิษได้ ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงอย่างต่อสุขภาพของผู้บริโภค

แม้ว่าการเน่าเสียของขนมปังจะเกิดจากเชื้อราเป็นส่วนใหญ่ แต่แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ได้เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงสำหรับคุณภาพและความปลอดภัยของขนมปัง แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ได้มักจะปรากฏที่ส่วนนอกของเมล็ดธัญพืช และในอากาศของสภาพแวดล้อมของเบเกอรี่ ดังนั้นส่วนผสมและ/หรืออุปกรณ์เบเกอรี่จึงเป็นแหล่งของการปนเปื้อนแรกแบคทีเรีย (Lavermicocca et al., 2016) จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุหลักของการเน่าเสียในขนมปังคือ คือ บาซิลลัส ซับทิลิส สามารถสร้างสปอร์แบบเอนโดสปอร์จึงเหลือรอดจากการอบได้ จากนั้นสปอร์จะงอกและเติบโตภายใน 36–48 ชั่วโมงภายในก้อนขนมปังจนมีลักษณะเป็นก้อนสีน้ำตาลที่อ่อนนุ่ม ลักษณะเป็นเส้นๆ มีกลิ่นคล้ายสับปะรดสุก หรือแตงสุก เนื่องแบคทีเรียสามารถปลดปล่อยสารระเหยออกมา เช่น ไดอะซิติล อะซิโตอิน อะ

ซีตัลดีไฮด์ และไอโซวาเลอร์-อัลดีไฮด์ (Pateras, 1998) แบคทีเรียยังผลิตอะไมเลสและโปรตีเอสที่ย่อยสลายเนื้อขนมปัง

แบคทีเรียสายพันธุ์อื่นๆ เช่น *Bacillus pumilus, Bacillus amyloliquefaciens, Bacillus megaterium, Bacillus licheniformis* และ *Bacillus cereus* ก็ถูกตรวจพบในขนมปังเช่นกัน (Lavermicocca et al., 2016) (ตารางที่ 2.2) จากการศึกษาล่าสุดโดย Valerio และคณะ (2012) พบว่า *B. amyloliquefaciens* อาจเป็นสายพันธุ์หลักที่เกี่ยวข้องกับการเน่าเสียของขนมปังด้วย

ตารางที่ 2.2 จุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุสำคัญของการเน่าเสียของในขนมปัง

	Spoilage Agents	Properties of Colony
เชื้อรา (Moulds)	*Penicillium spp.*	สีฟ้า/เขียว โคโลนีแบน และแผ่ขยายค่อนข้างช้า
	Aspergillus niger	สีดำ มีขนฟู มีสปอร์ที่มองเห็นได้ชัดเจน
	Aspergillus flavus	สีเขียวมะกอก
	Aspergillus candidus	สีครีม
	Aspergillus glaucus	สีเขียวอ่อน
	Cladosporium spp	สีเขียวมะกอกเข้ม โคโลนีแบน แผ่ขยายช้า
	Neurospora stophila	สีชมพูแซลมอน เป็นขนฟูฟ่อง กระจายตัวได้เร็ว
	Rhizopus nigricans	มีสีเทาดำ มีขนฟูและกระจายตัวเร็วมาก
	Mucor spp.	มีสีเทา
แบคทีเรีย (Bacteria)	*Bacillus subtilis or Bacillus licheniformis*	รูปร่างไม่แน่นอน สีขาวขุ่น
ยีสต์ (Yeasts)	*Hyphopichia burtonii* *Pichia anomala* *Scopsisfi buligera*	เจริญช้าบนผิวขนมปัง โคโลนีกระจายตัวต่ำ และมีสีขาว
	Pichia burtonii	โตเร็วมากบนขนมปัง
	Zygosaccharomyces bailii *Torulaspora delbrueckii* *Pichia membranifaciens* *Candida parapsilosis*	เรียบ กลม นูน และมีสีขาวถึงสีครีม

ที่มา : Melini and Melini, 2018

การเน่าเสียของขนมปังจากยีสต์เป็นการเน่าเสียจากจุลินทรีย์ที่พบน้อยที่สุด และยีสต์มีความคล้ายกับเชื้อราคือไม่สามารถอยู่รอดได้ในกระบวนการอบ การปนเปื้อนจะเกิดขึ้นระหว่างการทำความ

เย็น และในกรณีของขนมปังในระดับอุตสาหกรรมมักเกิดการปนเปื้อนขึ้นโดยเฉพาะระหว่างขั้นตอนการหั่นขนมปังเป็นแผ่น

2.4 วิธีที่ใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาของขนมปัง

การยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมปังสามารถทำได้หลากหลายวิธี ดังต่อไปนี้

2.4.1 การใช้วิธีทางกายภาพ (physical treatments)

อุตสาหกรรมขนมอบมีการใช้วิธีทางกายภาพในการยืดอายุการเก็บรักษา เช่น การใช้แสงยูวี (UV light), รังสีอินฟาเรด (IR radiation), การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave heating), หรือ การใช้เทคแรงดังสูง (Ultra high pressure technique)

แสงยูวีเป็นวิธีการที่ใช้ต้านแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพ โดยมีความยาวคลื่นที่มีประสิทธิภาพสูงสุดคือ 260 นาโนเมตร แสงยูวีถูกใช้เพื่อควบคุมการเกิดสปอร์ของเชื้อราบนขนมปัง และในการใช้งาน การฉายรังสี UV สามารถทำได้โดยตรงบนพื้นผิวของบรรจุภัณฑ์ที่ห่อหุ้มผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ไว้ ซึ่งช่วยให้ยืดอายุการเก็บรักษาได้ อย่างไรก็ตามหากกล่าวถึงความสามารถในการแทรกซึมของรังสีอาจไม่ทั่วถึง และการฉายแสงยูวีสำหลายอาหารที่มีพื้นที่ผิวหลากหลาย เนื่องจากสปอร์ของเชื้อรามีแนวโน้มว่าจะมีอยู่ในผนังเซลล์ของโพรงอากาศภายในพื้นผิวขนมปังทำให้สปอร์ถูกปกป้องจากการฉายรังสีได้ (Cauvain and Young, 2007)

การให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ ช่วยให้ความร้อนแก่ขนมปังได้อย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอโดยไม่มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างพื้นผิวนอกและภายในก้อนขนมปัง โดยทั่วไปการให้ความร้อน 30-60 วินาที ช่วยให้ทำขนมปังที่บรรจุในหีบห่อปราศจากเชื้อราได้ อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้วิธีการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟนี้ถูกจำกัดการใช้งานเนื่องจากอาจทำให้เกิดปัญหาการควบแน่นซึ่งอาจส่งผลเสียต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ (Cauvain and Young, 2007)

การใช้รังสีอินฟราเรดสามารถทำลายสปอร์ของเชื้อราได้ โดยมีข้อดีคือ ไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพและลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ หรือความสมบูรณ์ของวัสดุบรรจุภัณฑ์ (Cauvain and Young, 2007) นอกจากนี้ การยืดอายุการเก็บรักษาด้วยคลื่นอินฟราเรดยังช่วยลดปัญหาเนื่องจากการควบแน่นหรือการขยายตัวของอากาศ ส่วนข้อเสียคือค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูง (Cauvain and Young, 2007)

2.4.2 การใช้วิธีทางกายภาพ (chemical treatments)

สารเคมีที่ใช้กันบูดสามารถใช้เป็นอีกทางเลือกในการยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังได้ กรดอินทรีย์ที่เป็นอ่อน (เช่น กรดโพรพิโอนิก และกรดซอร์บิก) ใช้เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของ

จุลินทรีย์ที่ไม่พึงประสงค์ และด้วยเหตุนี้จึงยืดอายุการเก็บรักษาขนมปัง อย่างไรก็ตามสหภาพยุโรปได้กำหนดข้อจำกัดในการใช้งานสารเคมีเหล่านี้ไว้ และภายใต้การควบคุมโดย Regulation (EC) No. 1333/2008 ของรัฐสภายุโรปและคณะมนตรีเมื่อวันที่ 16 ธันวาคม 2008 ว่าด้วยวัตถุเจือปนอาหาร

โดยทั่วไป เกลือโพแทสเซียม โซเดียม หรือแคลเซียมของกรดโพรพิโอนิกและกรดซอร์บิกเป็นรูปแบบที่ใช้กันมากที่สุด เนื่องจากมีความสามารถในการละลายน้ำได้สูงกว่าและจัดการได้ง่ายกว่ากรดที่มีฤทธิ์กัดกร่อน (Magan, 2003) สำหรับการเติมซอร์เบตและโพรพิโอเนตมีกำหนดให้ใช้ได้ไม่เกิน 0.2% (w/w) และ 0.3% (w/w) ตามลำดับ (EEC, 2008) ทั้งในขนมปังสไลซ์แบบบรรจุหีบห่อและขนมปังไรย์ ในกรณีของขนมปังไม่สไลซ์ที่ก่อนบรรจุ อนุญาตให้ใช้โพรพิโอเนตสูงสุด 0.1% เท่านั้น สังเกตได้ว่าการเติมซอร์เบตหรือโพรพิโอเนตที่ความเข้มข้นสูงใช้เพื่อให้ออกฤทธิ์ต้านเชื้อรา แต่มีแนวโน้มที่จะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของขนมปังได้ นอกจากนี้ การใช้สารกันบูดเหล่านี้เป็นเวลานานในการต่อต้านเชื้อราที่เน่าเสียอาจนำไปสู่การพัฒนาความต้านทานต่อเชื้อราที่มีต่อสารกันบูดได้

การทดลองคัดกรองในหลอดทดลองแสดงให้เห็นว่าไม่แนะนำให้เติมโพรพิโอเนตในขนมปังซาวโดว์แป้งไรย์เนื่องจากส่งผลให้เชื้อ *P. roqueforti* เกิดการดื้อยาได้ (Suhr et al., 2004) และการใช้โพรพิโอเนตมีผลเพียงเล็กน้อยในการยับยั้งเชื้อราเมื่ออยู่ในขนมปังที่มี pH 6 (Axel et al., 2017). ส่วนการเติมซอร์เบต ดูเหมือนว่าจะมีประสิทธิภาพมากกว่าโพรพิโอเนตในการยับยั้งการเน่าเสียของขนมปัง แต่ไม่ค่อยได้ใช้ในการทำขนมปังเพราะมีผลกระทบด้านลบต่อปริมาณขนมปัง (Lavermicocca et al., 2000)

การเติมเอทานอลเป็นวิธีการดั้งเดิมอีกวิธีหนึ่ง และเป็นวิธีที่ดีกว่าการใช้สารกันบูดเคมีอื่นๆ มีรายงานความเข้มข้นของเอทานอลตั้งแต่ 0.2% ถึง 12% เพื่อเพิ่มอายุการเก็บของขนมปัง (Dao and Dantigny, 2011) นอกจากนี้ การเติมลงบนผิวขนมปัง (0.5% w/w) ยังช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของซอร์เบตและโพรพิโอเนต (Katsinis et al., 2008) นอกจากนี้ Berni และ Scaramuzza (2013) ได้สังเกตเห็นประสิทธิภาพของเอทานอลในการยับยั้ง *Crysonilia sitophila* หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า "ราแดงขนมปัง" และ *H. burtoni* หรือที่เรียกว่า "ราชอล์ก" บนขนมปังที่บรรจุและหั่นเป็นชิ้นที่เติมเอทานอลความเข้มข้นของต่ำมาก (0.8%) และปานกลาง (2.0%) ตามลำดับ ที่น่าสนใจคือยังไม่มีข้อจำกัดใดๆ ในการใช้เอทานอลเป็นสารกันบูดในอาหาร แม้ว่าจะต้องระบุไว้บนฉลากบริโภคก็ตาม เนื่องจากเอทานอลถือเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราในผลิตภัณฑ์ขนมปังและ/หรือเบเกอรี่โดยทั่วไปได้

2.4.3 การใช้แป้งเปรี้ยว (Soudough)

ในอดีตขนมปังธรรมดาและขนมปังปรุงแต่งกลิ่นรสที่มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานนั้นเกิดจากธรรมชาติของขนมปังเอง โดยใช้กระบวนการหมักนานแบบดั้งเดิม นั่นคือ แป้งเปรี้ยว จาก

ข้อมูลดังกล่าวผู้ผลิตขนมอบระดับอุตสาหกรรมได้เริ่มพิจารณาวิธีการหมักแบบดั้งเดิมนี้เพื่อใช้แทนสารกันบูดทางเคมี และสามารถรับประกันฉลากสะอาด (clean label) ได้ ดังนั้น Sourdough จึงกลายเป็นรูปแบบการถนอมอาหารทางชีวภาพที่เป็นที่ยอมรับ และบทบาทของ Lactic acid bacteria ในฐานะสารชีวภาพและสารยับยั้งการเน่าเสียของขนมปัง ได้รับความสนใจและการศึกษาทางวิทยาศาสตร์อย่างกว้างขวาง

มีการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ที่แสดงให้เห็นว่า sourdough ช่วยชะลอการแข็งของขนมปัง (staling), ป้องกันขนมปังจากการเน่าเสีย และส่งผลช่วยยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังได้ (Corsetti et al., 2000; Moroni et al., 2009) *Lactobacillus acidophilus* ATCC 20079, *Lactobacillus amylovorous* DSM 19280, *Lactobacillus brevis* R2Δ, *Lactobacillus fermentum* Te007, *Lactobacillus hammesii*, *Lactobacillus paracasi* D5, *Lactobacillus paralimentarius* PB127, *Lactobacillus pentosus* G004, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus reuteri* R29, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus rossiae* LD108, *Lactococcus* BSN, *Pediococcus acidilactici* KTU05-7, *Pediococcus pentosaceus* KTU 05-8 and KTU 05-10, รวมทั้ง *Leuconostoc citreum* C5 และ HO12 เป็นสายพันธุ์ LAB บางสายพันธุ์ที่มีฤทธิ์เป็นสารกันบูดชีวภาพที่น่าสนใจเมื่อใช้เป็นเชื้อตั้งต้นในการทำขนมปัง (Axel et al., 2016)

อย่างไรก็ตาม การใช้ sourdough ที่หมักด้วย LAB ในตัวมันเอง ช่วยให้มีผลในการถนอมอาหารในระดับต่ำ พบว่าการทำให้เป็นกรดโดยการหมัก sourdough ยับยั้งการงอกของเอนโดสปอร์และการเจริญเติบโตของ *Bacillus spp.* ที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของก้อนขนมปัง อย่างไรก็ตาม ค่า pH ที่ลดลงและความเป็นกรด ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับการผลิตกรดแลคติกและกรดอะซิติก เป็นพารามิเตอร์ที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังได้ในระดับที่จำกัด และ/หรือมีผลอย่างมากต่อการยับยั้งเชื้อราไม่มากนัก (Axel et al., 2017)

ความสามารถในการต้านแบคทีเรีย ต้านจุลชีพ และต้านเชื้อราที่ แลคติกแอซิกแบคทีเรีย (lactic acid bacteria, LAB) ที่ใช้ผลิต sourdough ได้แสดงให้เห็นว่ามีความเกี่ยวข้องกับสารประกอบออกฤทธิ์ที่จุลินทรีย์กลุ่มนี้ผลิตและ/หรือปลดปล่อย ซึ่งเป็นส่วนเสริมของสารกันเสียทางเคมี หรือสามารถใช้ทดแทนสารกันเสียได้ สารเมแทบอไลต์ที่ออกฤทธิ์ต้านเชื้อราเป็นหลักเป็นสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เช่น ไซคลิก, ไดเปปไทด์, กรดไฮดรอกซิล-แฟตตี, ฟีนิลและอนุพันธ์ของฟีนิลที่ถูกแทนที่ (เช่น 3-ฟีนิลแลกติก 4-ไฮดรอกซีเพนิลแล็กติก และกรดเบนโซอิก), ไดอะซีติล, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, คาโปรเอต, รีเทอริน และเปปไทด์ที่ออกฤทธิ์ฆ่าเชื้อราได้ เป็นต้น

บทบาทของยีสต์นอกเหนือจากยีสต์ขนมปัง (เช่น *S. cerevisiae*) เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องกล่าวถึงเช่นกัน อันที่จริงการใช้งานยีสต์ถือเป็นทางเลือกที่ดีในการถนอมขนมปัง ตัวอย่าง เช่น

Wickerhamomyces anomalus LCF1695 เป็นสารตั้งต้นแบบผสมร่วมกับเชื้อแลคติกแอซิกแบคทีเรีย *Lb. plantarum* 1A7 (Coda et al., 2011); sourdough หมักด้วยเชื้อตั้งต้นแบบผสมผสาน ได้แก่ *M. guilliermondii* LCF1353, *W. anomalus* LCF1695 และ สายพันธุ์ *Lb. plantarum* 1A7 ให้ผลลัพธ์ที่ดีในแง่ของการยืดอายุการเก็บของขนมปัง (Coda et al., 2008)

นอกจากสารต้านเชื้อราที่สร้างโดยแบคทีเรียที่สร้างกรดแลคติกแล้ว ยังพบว่าสารเปปไทด์มีผลในการยับยั้งที่ได้มาจากสารตั้งต้นได้อีกด้วย เช่น น้ำสกัดจากถั่วผสมกับ sourdough หมักด้วย *Lb. brevis* AM7 มีสารประกอบยับยั้งตามธรรมชาติ 3 ส่วนประกอบ คือ เฟสโซลิน 2 ส่วน และเลกติน 1 ส่วน กิจกรรมที่เกิดขึ้นร่วมกันของส่วนประกอบดังกล่าวช่วยชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อราได้นานถึง 21 วัน ซึ่งนำไปสู่อายุการเก็บรักษาขนมปังที่เทียบได้กับที่พบในการใช้ Ca propionate (0.3% w/w) (Melini and Melini, 2018)

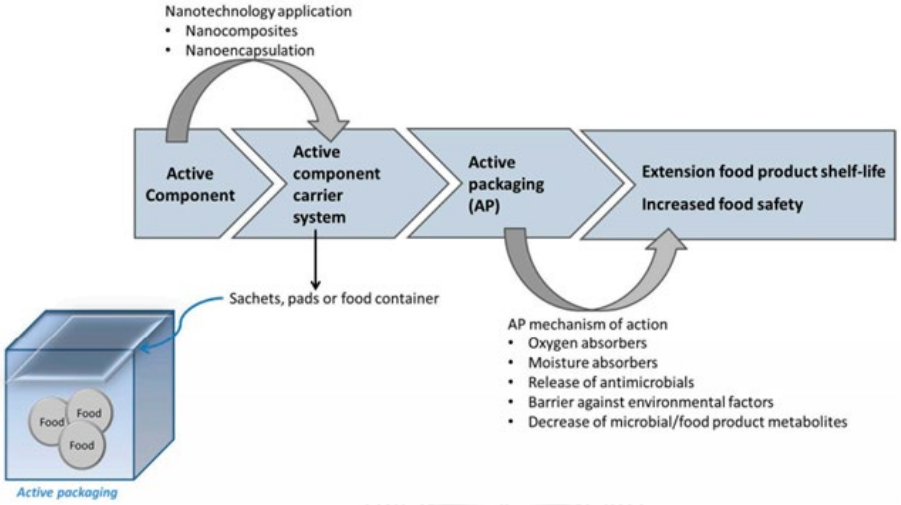
2.4.4 การใช้บรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟ (Active Packaging)

จากการพัฒนาข้อบังคับด้านบรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟและบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะโดยคณะกรรมาธิการยุโรป (European Commission. Commission Regulation (EC) No 450/2009) บรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟสามารถกำหนดเป็นบรรจุภัณฑ์ที่มีจุดประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของอาหารที่บรรจุหีบห่อ หรือเพื่อรักษาและ/หรือปรับปรุงสภาพของบรรจุภัณฑ์โดยการปล่อยหรือดูดซับสาร เข้าหรือออกจากอาหารหรือบริเวณโดยรอบ นอกเหนือจากบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะแล้ว บรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟยังเป็นของระบบบรรจุภัณฑ์ที่เป็นนวัตกรรมใหม่ที่ควรจะโต้ตอบกับอาหาร และไม่เพียงแต่เป็นเกราะป้องกันแบบพาสซีฟที่ปกป้องและถนอมอาหารบรรจุหีบห่อจากความเสียหายทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ เช่นเดียวกับบรรจุภัณฑ์ทั่วไป

ปัจจุบันมีระบบบรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟประเภทต่างๆ โดยทั่วไปสามารถจัดประเภทเป็นระบบดูดซับและปล่อยสาร (Ahvenainen, 2003) โดยแบบระบบดูดซับจะกำจัดสารประกอบที่ไม่ต้องการได้ เช่น ออกซิเจน ออกไปจากสภาพแวดล้อมของบรรจุภัณฑ์ ในขณะที่ระบบปล่อยสารจะปลดปล่อยสารประกอบ เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ สารกันบูด และสารต้านจุลชีพ ไปยังอาหารที่บรรจุหีบห่อหรือในส่วนอากาศในบรรจุภัณฑ์ ตัวดูดซับและตัวปล่อยสารสามารถมาในรูปแบบของซองฉลาก หรือฟิล์ม ซองทั่วไปจะวางในรูปแบบอิสระในส่วนช่องว่างหรืออากาศในบรรจุภัณฑ์ ขณะที่ฉลากจะติดแน่นที่ฝา ควรป้องกันการสัมผัสกับอาหารโดยตรง เนื่องจากการทำงานของระบบอาจเกิดความบกพร่องและอาจเกิดการรั่วไหลไปยังอาหารได้ นาโนเทคโนโลยียังช่วยให้สามารถออกแบบสารโพลีเมอร์ที่ทำหน้าที่ขัดขวางออกซิเจนได้ดีขึ้นเช่นกัน (Ahvenainen, 2003)

ตัวดูดซับออกซิเจนต้องเป็นไปตามเกณฑ์เฉพาะจึงจะมีประสิทธิภาพและใช้เงานได้ในเชิงพาณิชย์ ตัวดูดซับออกซิเจนในอัตราที่เหมาะสม ควรมีขนาดกะทัดรัดและมีขนาดสม่ำเสมอ ไม่

เป็นพิษ และไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์ การเลือกตัวดูดซับออกซิเจนจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของอาหาร เช่น ขนาด รูปทรง น้ำหนัก และ water activity ของอาหาร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในอาหาร อายุการเก็บรักษาที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ และการซึมผ่านของวัสดุบรรจุภัณฑ์ไปยังออกซิเจน (Galic et al., 2009)



ภาพที่ 2.2 การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีและกลไกการออกฤทธิ์ของบรรจุภัณฑ์แบบแอคทีฟในการยืดอายุขนมปังและอายุการเก็บรักษาขนมปังปราศจากกลูเตน และเพิ่มความปลอดภัยของอาหาร
ที่มา : Melini and Melini (2018)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรดอ่อนหลายชนิดได้รับการอนุมัติให้ใช้ในอาหารภายใน EC ซึ่งบางชนิดถูกกำหนดให้เป็นวัตถุกันเสียตามกฎหมาย (Stratford et al, 2013) ซึ่งรวมถึงกรดซอร์บิก (2,4-hexadienoic acid), กรดเบนโซอิก, กรดโพรพิโอนิก และกรดซัลไฟต์ เหล่านี้ร่วมกับกรดอะซิติกที่ใช้เป็นกรดในผักดอง น้ำสลัด และมายองเนส มักเรียกกันว่าสารกันบูดที่เป็นกรดอ่อน การวิจัยเกี่ยวกับสารกันเสียต้านทานการเจริญของยีสต์ Saccharomyces cerevisiae เป็นส่งใหญ่ ซึ่งเพิ่งได้รับการตรวจสอบโดย Piper (2011)

"ทฤษฎีกรดอ่อนแบบคลาสสิก" ของการยับยั้งจุลินทรีย์โดยสารกันบูดถูกกำหนดโดยส่วนใหญ่โดยพารามิเตอร์ของเคมีกายภาพ กรดอ่อนในสารละลายในน้ำจะแยกตัวออกบางส่วนทำให้เกิดสมดุลแบบไดนามิกระหว่างกรดโมเลกุลกับแอนไอออน/โปรตอนที่มีประจุ ที่ pH ต่ำ ความสมดุลจะสนับสนุนกรดโมเลกุลมากขึ้น ในขณะที่ pH เป็นกลาง ประจุลบจะมีอิทธิพลเหนือกว่า กรดอ่อนระดับโมเลกุลของสารกันบูดสามารถละลายในไขมันได้ ซึ่งแตกต่างจากประจุลบที่มีประจุ และที่ pH ต่ำสามารถเจาะเซลล์โดยการแพร่กระจายอย่างง่ายผ่านลิปิดของเมมเบรนในพลาสมาไปยังไซโตพลาสซึม

การแพร่กระจายเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยสมบูรณ์ภายใน 1-3 นาที (กรดอะซิติก Conway and Downey, 1950; benzoic acid, Macris, 1975; sulphite, Stratford and Rose, 1986) การหยุดขนส่งที่เห็นได้ชัดหลังจาก 3 นาทีนั้นเป็นการแลกเปลี่ยนไดนามิกสูงของกรดอ่อน การไหลออกและการไหลเข้าทางเมมเบรน (Stratford and Rose, 1986) สารกันบูดที่มีความเข้มข้นต่ำถูกทำให้เข้มข้นหลายเท่าภายในไซโตพลาสซึมเนื่องจากการแตกตัวเป็นไอออน นำไปสู่การกล่าวอ้างในช่วงต้นว่าการซึมผ่านของกรดอ่อนนั้นเป็นการขนส่งแบบแอคทีฟ ในความเป็นจริง โมเลกุลของกรดอ่อนจะเข้าสู่ pH เป็นกลางของไซโตพลาสซึม แยกตัวออกเป็นแอนไอออนที่มีประจุ ซึ่งไม่สามารถแพร่กระจายออกจากเซลล์ได้ ไซโตพลาสซึมที่เป็นกลางทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับค่า pH สำหรับสารกันบูด การแตกตัวของกรดอ่อนยังปล่อยโปรตอนในสัดส่วนที่เท่ากัน และสารกันบูดที่มีความเข้มข้นสูงจะปล่อยโปรตอนที่เพียงพอเพื่อทำให้เป็นกรดของไซโตพลาสซึมจำนวนมาก เมแทบอลิซึมของเซลล์จะถูกยับยั้งโดยการทำให้เป็นกรด (Krebs et al., 1983; Pearce et al., 2001) การกำจัดเซลล์ออกจากสารกันบูดทำให้เกิดการไหลออกของกรดอ่อน ๆ แบบกระจายในทันที และส่งผลให้ pH ของไซโตพลาสซึมเพิ่มขึ้น ทฤษฎีกรดอ่อนแบบคลาสสิกได้รับการเสนออย่างอิสระ และการตรวจสอบความเป็นกรดของไซโตพลาสซึมสำหรับกรดอะซิติก (Neal et al., 1965), กรดเบนโซอิก (Krebs et al., 1983) และซัลไฟต์ (Pilkington and Rose, 1988; Stratford, 1983) .

จากการศึกษาของ Lavermicocca และคณะ (2000) พบว่าแบคทีเรียกรดแลคติก Sourdough ถูกเลือกสำหรับการออกฤทธิ์ต้านเชื้อราโดยการสอบวิเคราะห์การงอกของโคโลนี *Lactobacillus plantarum* 21B ที่มีเชื้อจุลินทรีย์เข้มข้น 10 เท่าซึ่งแยกได้จากเมล็ดแป้งสาลีงอกที่ถูกย่อย สามารถยับยั้ง *Eurotium repens* IBT18000, *Eurotium rubrum* FTDC3228, *Penicillium corylophilum* IBT6978, *Penicillium roqueforti* IBT18687, *Penicillium expansum* IDMyches2, Asto FTDC3227 และ IDM1, *Aspergillus flavus* FTDC3226, *Monilia sitophila* IDM/FS5 และ *Fusarium graminearum* IDM623 ได้เกือบทั้งหมด จากการเพาะเลี้ยงที่ไม่เข้มข้นของ *L. plantarum* 21B ที่แยกได้จากไฮโดรไลเสตของแป้งสาลีโฮลวีตมีฤทธิ์ในการยับยั้งที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งการเจริญของเชื้อนี้จะมีผลฆ่าเชื้อราได้ การเติมแคลเซียมโพรพิโอเนตที่ 3 มก./มล. ไม่มีผลในการฆ่าเชื้อราภายใต้สภาวะการทดสอบเดียวกัน ในขณะที่โซเดียมเบนโซเอตทำให้เกิดการยับยั้งคล้ายกับ *L. plantarum* 21B หลังจากการสกัดด้วยเอทิลอะซิเตตและการวิเคราะห์ด้วยโครมาโตกราฟีและสเปกโทรสโกปี พบสารประกอบต้านเชื้อราชนิดใหม่ เช่น กรดฟีนิลแลกติกและกรด 4-ไฮดรอกซีฟีนิลแลกติกในการเพาะเลี้ยงของ *L. plantarum* 21B โดยกรดฟีนิลแลกติกมีความเข้มข้นสูงสุดและมีฤทธิ์สูงสุดในส่วนกรองได้จากการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย ซึ่งกรดชนิดนี้จะยับยั้งเชื้อราทั้งหมดที่ทดสอบที่ความเข้มข้น 50 มก./มล. ยกเว้น *P. roqueforti* IBT18687 และ *P. corylophilum* IBT6978 (ความเข้มข้นในการยับยั้ง 166 มก./มล.) *L. plantarum* 20B แสดงการออกฤทธิ์ต้านเชื้อ

ราได้ดีเช่นกัน การศึกษาเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่ากรดฟีนิลแลกติกและ 4-ไฮดรอกซี-ฟีนิลแลกติกที่พบอยู่ในสิ่งกรองสำหรับเพาะเชื้อแบคทีเรียของสายพันธุ์ *L. plantarum* 20B เช่นเดียวกัน ส่วนการเจริญเติบโตของ *A. niger* FTDC3227 เกิดขึ้นหลังจาก 2 วันในขนมปังที่ใช้ยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* 141 ในการผลิตเพียงชนิดเดียว หรือขนมปังที่ใช้ยีสต์ *S. cerevisiae* ร่วมกับ *Lactobacillus brevis* 1D ซึ่งเป็นแบคทีเรียกรดแลคติกสายพันธ์ที่ถูกไม่ได้คัดเลือกในการผลิตกรดแบบ พบว่าส่งผลให้การเริ่มเกิดเชื้อราบนขนมปังถูกชะลอออกไปเป็นเวลา 7 วันจากวันแรกของการผลิตขนมปังเมื่อใช้ *S. cerevisiae* ร่วมกับ *L. plantarum* 21B สายพันธ์ที่ถูกคัดเลือก

เชื้อราสามารถปนเปื้อนและเป็นสาเหตุให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ และอาจทำให้เกิดปัญหาสุขภาพตามมาได้ การใช้สารกันบูดและยาฆ่าเชื้อชนิดเดียวกันเป็นเวลานานกับเชื้อราที่เน่าเสียอาจนำไปสู่การพัฒนาความต้านทานหรือการดื้อของเชื้อราต่อสารเคมีเหล่านั้น จากงานวิจัยของ Levinskaite (2012) ได้ศึกษาศึกษาความอ่อนแอของเชื้อราในสกุล *Penicillium* 3 สายพันธุ์ ที่แยกได้จากอาหาร สารกันบูดประเภทกรดอินทรีย์และสารฆ่าเชื้อบางชนิด โดยคำนึงถึงการพัฒนา 2 ด้าน ได้แก่ การงอกของสปอร์และการเจริญเติบโตของเส้นใย ได้ทำการศึกษาความไวต่อสารกันบูดของ *Penicillium spinulosum*, *P. expansum* และ *P. verruculosum* ได้แก่ กรดเบนโซอิก โซเดียมแลคเตท โพแทสเซียมซอร์เบต ตลอดจนสารฆ่าเชื้อ เช่น Topax DD, Suma Bac D10, Biowash และ F210 Hygisept สารกำจัดเชื้อราเหล่านี้ถูกใช้ที่ความเข้มข้น 0.1, 1.0 และ 10% ในบรรดาสารกันบูด กรดเบนโซอิกและ โพแทสเซียมซอร์เบตมีฤทธิ์ยับยั้งได้ดีที่สุด ทั้งต่อการงอกของสปอร์และการเจริญเติบโตของเส้นใย กรดเบนโซอิกที่ความเข้มข้น 0.1% ลดการงอกของสปอร์ 33-55% และการเจริญเติบโตของไมซีเลียล 54-97% ในขณะที่ที่ความเข้มข้น 1% สามารถยับยั้งการงอกของสปอร์ได้ 74-85% และการเจริญเติบโตของไมซีเลียล 97-100% ผลของสารฆ่าเชื้อที่ความเข้มข้น 0.1% ต่อการงอกของสปอร์คือ 25-84% และต่อการเติบโตของโคโลนีคือ 68-97% ในขณะที่ความเข้มข้น 1.0% ทำให้การงอกของสปอร์ลดลงถึง 53-91% และการยับยั้งการเจริญเติบโตของโคโลนีได้ถึง 89-100 %. ในกรณีส่วนใหญ่ ความเข้มข้นเดียวกันที่เติมลงในอาหารเลี้ยงเชื้อมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราแบบเส้นใยได้ดีกว่าการยับยั้งการงอกของสปอร์ สังเกตได้ว่าเชื้อราตอบสนองต่อสารกันบูดไม่เท่ากัน แสดงถึงความไวต่อสารกันบูดเป็นลักษณะของเชื้อราแต่ละชนิด

สารกันบูดประเภทกรดอ่อนที่ใช้กันทั่วไปในการป้องกันการเน่าเสียของเชื้อราในอาหารที่มีค่า pH ต่ำ ได้แก่ กรดซอร์บิกและกรดอะซิติคแอซิด ซึ่ง “ทฤษฎีกรดอ่อนแบบดั้งเดิม” กล่าวว่ากรดอ่อนสามารถยับยั้งสิ่งมีชีวิตไม่ให้เน่าเสียโดยการแพร่กระจายของกรดผ่านเมมเบรนเยื่อเลือกผ่าน การแตกตัวภายในเซลล์เป็นโปรตอนและแอนไอออน และการทำให้เป็นกรดของไซโตพลาสซึม ผลจาก *Saccharomyces cerevisiae* 25 สายพันธุ์ ยืนยันว่าการยับยั้งด้วยกรดอะซิติกที่ความเข้มข้นของโมลาร์สูงกว่ากรดซอร์บิก 42 เท่า ซึ่งขัดแย้งกับทฤษฎีกรดอ่อนซึ่งกรดทั้งหมดที่มีค่า pKa เท่ากันจะ

ยับยั้งที่ความเข้มข้นเท่ากัน โดย Flow cytometry แสดงให้เห็นว่า pH ภายในเซลล์ลดลงเหลือ pH 4.7 ที่ความเข้มข้นของการยับยั้งการเจริญเติบโตของกรดอะซิติก ในขณะที่ที่ความเข้มข้นในการยับยั้งของกรดซอร์บิก ค่า pH จะลดลงเหลือ pH 6.3 เท่านั้น พลาสมาเมมเบรน H+-ATPase protonpump (Pma1p) ถูกยับยั้งอย่างรุนแรงโดยกรดซอร์บิกที่ความเข้มข้นของการยับยั้งการเจริญเติบโต แต่ถูกกระตุ้นด้วยกรดอะซิติก นอกจากนี้ H+-ATPase ยังถูกยับยั้งโดยความเข้มข้นของกรดซอร์บิกที่ต่ำลง แต่ในเวลาต่อมาพบว่าการฟื้นตัวและการออกฤทธิ์ที่สูงขึ้นหากกรดซอร์บิกถูกกำจัด ระดับของ PMA1transcripts เพิ่มขึ้นในช่วงสั้นๆ จากการเติมกรดซอร์บิก แต่ไม่นานก็กลับสู่ระดับปกติ สรุปได้ว่าการยับยั้งกรดอะซิติกของ *S. cerevisiae* เนื่องจากการเป็นกรดภายในเซลล์ตาม "ทฤษฎีกรดอ่อนแบบคลาสสิก" อย่างไรก็ตาม กรดซอร์บิกดูเหมือนจะเป็นสารประกอบต้านจุลชีพที่ออกฤทธิ์กับเมมเบรน โดยพลาสมาเมมเบรน H+-ATPase โปรตอนปั๊มเป็นเป้าหมายหลักของการยับยั้ง ซึ่งการทำความเข้าใจกลไกการออกฤทธิ์ของกรดซอร์บิกนี้สามารถนำไปปรับปรุงวิธีการถนอมอาหารได้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 แป้งสาลี ตราห่าน

3.1.2 ยีสต์ ตรา Saf-Instant สีทอง

3.1.3 ผงฟู ตรา อิมพีเรียล

3.1.6 นมผง ชาวไทย

3.1.7 เกลือ ตรา ปรุงทิพย์

3.1.8 น้ำตาล ตรา มิตรผล

3.1.9 เนยขาว ตราอลาวรี่

3.1.11 น้ำเปล่า

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ ADAM รุ่น LBH

3.2.2 เครื่องนวดโด 2 แขน

3.2.3 พิมพ์ขนมปังแถว ขนาด 3x5x2 นิ้ว (กว้างxยาวxสูง)

3.2.4 ตู้อบขนมปัง

3.2.5 อ่างผสม

3.2.6 จาน/ชาม

3.2.7 ตะแกรงร่อนแป้ง

3.2.8 ตะแกรงพักขนม

3.2.9 ถาดอบขนม

3.2.10 อ่างสแตนเลส

3.2.11 ถุงซิปล็อคขนาด 23x35 นิ้ว

3.2.9 ฟิล์มถนอมอาหาร

3.3 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพ

3.3.1 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

3.3.1.1 เครื่องวัดเนื้อสัมผัส Texture Analyser รุ่น TA.Xlus

3.3.1.2 วัดความหนาแน่น และปริมาตรจำเพาะ ได้แก่ กระบอกวัดปริมาตรขนาด 10±0.2 มิลลิลิตร และ 100±1 มิลลิลิตร, สปาตูล่า, งาดำ (ตราไร่ทิพย์) และคีมคีบ

3.3.1.3 เครื่องวัดสี (Spectrophometer) ยี่ห้อ KONICA MINOLTA รุ่น CM3500d โปรแกรมเวอร์ชัน CM-S100 W1.700.0001

3.3.2 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

3.3.2.1 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Binder รุ่น FD115

3.3.2.2 เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น ME204

3.3.2.3 ภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (Moisture Can)

3.3.2.4 โถดูดความชื้น (Desiccator)

3.3.2.5 เครื่องวัดปริมาณโปรตีน

ชุดย่อย (Digestion Unit) ยี่ห้อ BUCHI รุ่น K-435

ชุดดูดจับไอกรด BUCHI Scrubber B-414

กลั่น BUCHI Distillation B-324

3.3.2.5 เครื่องแก้วต่างๆ

3.3.3 อุปกรณ์วิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

3.3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.3.4.2 แบบประเมินผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผล

3.4.1 แบบสอบถาม

3.4.2 เครื่องคอมพิวเตอร์: โปรแกรมสำเร็จรูป

3.4 สารเคมี

3.4.1 โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulphate; Na_2SO_4) ยี่ห้อ Ajax

3.4.2 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate; $CuSO_4$.$5H_2O$) Ajax

3.4.3 เซเลเนียมไดออกไซด์ (selenium dioxide; SeO_2H_2O) Ajax

3.4.4 กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc. Sulfuric; H_2SO_4) J.T.Baker

3.4.5 กรดบอริก (boric acid ; H_3BO_3) Merck

3.4.6 เมธิลเรด (Methyl red; $C_{15}H_{15}N_3O_2$) Panrcac

3.4.7 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) Merck

3.4.8 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl) Mallinckrodt

3.4.9 ปิโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum ether) Mallinckrodt

3.4.10 เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (C_2H_5OH) กรมสรรพสามิต

3.5 ระเบียบวิธีวิจัย

3.5.1 การศึกษาการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วย Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid มี 5 ขั้นตอนหลัก คือ

3.5.1.1 ศึกษากรรมวิธีและสูตรมาตรฐาน ในการทำขนมปังขาว

ทำการศึกษาค้นคว้าคัดเลือกสูตรการทำขนมปัง โดยทำการทดลองใช้สูตรขนมปังขาว 4 สูตร) โดยมีสูตรพื้นฐานในการผลิตขนมปังดังตารางที่ 3.1 แล้วทำการคัดเลือก สูตรที่ผ่านการการยอมรับ จากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสทางด้านสี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความชอบโดยรวม ให้ผู้ทดสอบชิม จำนวน 50 คน ให้คะแนนแบบ 9 Point Hedonic Scale วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดย วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT และมีขั้นตอนการผลิตขนมปัง ดังแผนภาพที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการผลิตขนมปังขาว

วัตถุดิบ	**ส่วนผสมปริมาณที่ใช้ (กรัม)**			
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4
แป้งสารลีตราห่าน	1000	1000	1000	1000
น้ำตาลทราย	50	90	70	50
เกลือ	10	15	10	10
ยีสต์	15	20	15	8
เนยขาว	100	80	120	50
น้ำเปล่า	650	840	-	600
นมผง	-	80	85	-
ผงฟู	-	10	-	-
นมสด	-	-	480	30
ไข่ไก่	-	-	-	50

ที่มา: สูตรที่ 1 (นวรัตน์ เอี่ยมพิทักษ์กิจ, 2546) สูตรที่ 2 (วิภาวัน จุลยา, 2549)
สูตรที่ 3 (UFM BAKING SCHOOL, 2528) สูตรที่ 4 (จริยา เดชกุลชร, 2540)

ร่อนแป้งและของแห้ง

↓

นำน้ำเย็นผสม กับนมหรือน้ำตาลทราย

↓

นำส่วนผสมของแห้ง และของเหลวใส่ลงในเครื่องนวด พร้อมกับเนยสดเครื่องนวดโดแบบ 2 แขนเป็นเวลา 15 นาที จนเนื้อเนียน

↓

รวบแป้งโดให้ตึงแล้วพักแป้งเป็นเวลา 10 นาที

↓

ตัดแบ่งโดก้อนละ 110 กรัม รีดแบน และพับเป็น 3 ส่วน แล้วพักไว้อีก 10 นาที

↓

นำมารีดเป็นเส้นอีกครั้ง แล้วม้วนเป็นแท่ง และเรียงลงในพิมพ์ขนมปังที่ทาเนยไว้

↓

อบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส 15 นาที

↓

นำขนมปังออกจากพิมพ์ทันทีและทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

แผนภูมิที่ 3.1 กรรมวิธีการผลิตขนมปังขาว
ที่มา: ดัดแปลงจาก จุฑามาศ และวรลักษณ์ (2559)

3.5.2 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วย Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid

ทำการผลิตขนมปังโดยใช้สูตรที่คัดเลือกจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในข้อ 3.4.1.1 และเติมสารกันเสียซึ่งได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต (calcium propionate) กรดแอซีติก (acetic acid) และ กรดซอร์บิก (sorbic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมด โดยขนมปังที่ไม่ได้เติมสารกันเสียจะถูกใช้เป็นตัวอย่างควบคุม (control sample) จากนั้นนำขนมปังที่ผลิตทั้ง 10 ตัวอย่าง มาทำการตรวจสอบคุณภาพ ดังนี้

3.5.2.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่

1. ค่าสีของขนมปังโดยเครื่องวัดค่าสี (Spectrophotometer) โดยตัดขอบของขนมปังออกด้านละประมาณ 1 เซนติเมตร ให้เหลือแต่ส่วนเนื้อของขนมปัง จากนั้นปั่นตัวอย่างขนมปังด้วยโถปั่นเอนกประสงค์ ยี่ห้อ VITAMIX รุ่น DRINK MACHINE HIGH PERFORMANCE COMMERCIAL BLENDER โดยใช้ความเร็วสูงที่สุด เป็นเวลา 10 วินาที จนได้เนื้อขนมปังที่ละเอียด

นำไปวัดค่าสี โดยใส่ตัวอย่างลงใน Target (ภาชนะที่ใส่ตัวอย่าง) ทำการวัดค่าสีซึ่งแสดงผลในรูปค่าความสว่าง คือ (L*) ค่าสีแดง คือ (a*) ค่าสีเหลือง คือ (b*)

2. ปริมาณจำเพาะของขนมปัง โดยวิธีการดัดแปลงจาก AACC (2000) (ภาคผนวก ค)

3. ความหนาแน่นของขนมปัง (Shogren et al., 2003) (ภาคผนวก ค)

4. วิเคราะห์หาค่าความชื้น (ภาคผนวก ค)

5. วัดเนื้อสัมผัส Texture Analyser รุ่น TA.Xlus เป็นการจำลองการใช้ฟันบดอาหาร วัดค่าด้านความแข็ง (Hardness) และความแตกเปราะ (Fracturabity) ของขนมปังแท่งปราศจากกลูเตน โดยใช้หัววัด 3-Point Bending Rig (HDP/3PB) กำหนดสภาวะในการทำงานของเครื่อง Texture Analyzer ได้แก่ Pre-Test Speed 1.0 mm/s, Test Speed 1.0 mm/s, Post-Test Speed 10.0 mm/s, Distance 20 mm/s (ภาคผนวก ค)

3.5.3.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยตัดหัวท้ายขนมปังออกด้านละ 0.5 เซนติเมตร หั่นตัวอย่างให้มีความหนา 2 เซนติเมตร ทำการใส่ในถุงพลาสติก PE แบบปิดสนิท และจัดเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง ทดสอบด้านลักษณะที่ปรากฏของโพรงอากาศ ความหนาของเปลือก สีเนื้อของขนมปัง สีของเปลือกขนมปัง กลิ่น กลิ่นรส รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อค (Randomized Completely Block Design, RCBD) วิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-point hedonic scale) (ภาคผนวก ข) ซึ่งใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน50 คน โดยเป็นอาจารย์และนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร แล้วนำผลมาวิเคราะห์หาความแปรปรวน (Analysis of Veriance - ANOVA) และวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test (DMRT)

3.5.3 ศึกษาการอายุการเก็บรักษาของขนมปัง

ทำการผลิตขนมปังโดยใช้สูตรที่คัดเลือกจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสในข้อ 3.5.1.1 และเติมสารกันเสียซึ่งได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต (calcium propionate) กรดแอซีติก (acetic acid) และ กรดซอร์บิก (sorbic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักวัตถุดิบทั้งหมด จากนั้นทำการตรวจสอบคุณภาพด้านจุลชีววิทยา โดยดัดแปลงวิธีการหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั่วไปน้ำนมด้วยเทคนิค Petrifilm จากวิธีมาตรฐาน Official Method of Analysis of AOAC International. 2012.19th Method 986.33 (ภาคผนวก ง) โดยทำการตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และราในขนมปังทุกวันเป็นเวลา 12 วัน และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนม: ขนมปัง (มผช. ๗๔๗/๒๕๕๕) (ภาคผนวก จ)

3.5.4 การทำนายและออกแบบสภาวะการเก็บรักษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.5.3.1 ความสามารถในการดูดซับน้ำ (Sorption isotherm)

ทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำโดยวิธีที่ดัดแปลงจาก (Anderson & Guraya, 2006) โดยนำขนมปังไปเก็บรักษาในกล่องปิดสนิทที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวบรรจุอยู่ซึ่งเป็นสภาวะจำลองที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity, aw) ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เป็นเวลา 4 สัปดาห์ จากนั้นนำตัวอย่างขนมปังไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้นด้วยวิธีการใช้ตู้อบลมร้อน (AOAC, 2000) แล้วนำค่าความชื้นที่ได้จากสภาวะจำลองที่มีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity, a_w) ต่างๆ (แกน X) มาสร้างกราฟความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้ (แกน Y)

3.5.3.2 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสภาวะการเก็บรักษา

นำกราฟ Sorption Isotherm ทำการคำนวณด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้แก่ GAB (Guggenheim–Anderson–de Boer) และ BET (Brunauer–Emmett–Teller) เพื่อหาค่าความชื้นและค่าวอเตอร์แอคติวิตี้วิกฤติ เพื่อใช้ในการออกแบบสภาวะการเก็บรักษาขนมผิง

3.5.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางเคมีกายภาพใช้แผนการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติแบบ completely randomized design (CRD) ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ (replications) ใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ SPSS version 23.0 ทำการวิเคราะห์ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลอง (treatment) ด้วยวิธี LSD (least significance difference) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวิเคราะห์ผลทางประสาทสัมผัสใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance: ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี duncan's new multiple ranges test (DMRT) ด้วยโปรแกรม SPSS version 16.0 การวิเคราะห์ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสใช้ แผนการทดลองแบบ RCBD โดยกำหนดให้ผู้ชิมเป็น block

3.6 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3.7 ระยะเวลาในการวิจัย

เดือนธันวาคม พ.ศ.2563 – เดือนกันยายน พ.ศ.2564

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 การพัฒนาสูตรและกรรมวิธีการผลิตภัณฑ์ขนมปังปอนด์ หรือขนมปังขาว

4.1.1 ทดลองและคัดเลือกสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมปังหัวกะโหลกหรือขนมปังปอนด์ โดยใช้พิมพ์รูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบมีฝาปิด โดยทำการผลิตขนมปังปอนด์สูตรมาตรฐานจำนวน 4 สูตร ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งผลการทดสอบทางประสาทด้านลักษณะปรากฏ สี รสชาติ กลิ่นรส ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของผลิตภัณฑ์ขนมปังสูตรต่างๆ ได้แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมปังสูตรต่างๆ

คุณลักษณะ	คะแนนความชอบ				
	สูตรควบคุม	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
ลักษณะปรากฏ	6.60±1.37^{b}	6.55±1.32^{b}	7.53±1.17^{a}	7.40±1.12^{a}	7.08±1.15^{a}
สี	6.65±1.29^{c}	6.73±1.20^{bc}	7.60±1.25^{a}	7.57±1.11^{a}	7.15±1.22^{ab}
รสชาติ	6.95±0.96^{a}	6.80±1.02^{a}	7.22±1.22^{a}	7.13±1.16^{a}	6.90±1.30^{a}
กลิ่นรส	6.98±1.07^{b}	7.07±0.97^{ab}	7.47±1.17^{a}	7.22±1.24^{ab}	7.28±1.11^{ab}
ลักษณะเนื้อสัมผัส	7.25±0.97^{ab}	6.95±1.16^{b}	7.45±1.17^{a}	7.28±1.25^{ab}	7.05±1.29^{ab}
ความชอบโดยรวม	7.17±1.01^{ab}	7.05±0.96^{b}	7.53±1.03^{a}	7.22±1.21^{ab}	7.07±1.06^{b}

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ที่มา: สูตรที่ 1 (นวรัตน์ เอี่ยมพิทักษ์กิจ, 2546) สูตรที่ 2 (วิภาวัน จุลยา, 2549)
สูตรที่ 3 (UFM BAKING SCHOOL, 2528) สูตรที่ 4 (จริยา เดชกุลชร, 2540)

โดยคุณภาพที่เหมาะสมได้พิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสี ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) และคุณภาพทางประสาทสัมผัส ซึ่งในแต่ละค่าคุณภาพทำการศึกษาโดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 point hedonic scale วางแผนการทดสอบตัวอย่างแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Randomized Complete block

Design, RCBD) และวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test (DMRT) ซึ่งได้คัดเลือกสูตรและปรับปรุงวิธีการผลิตจนได้สูตรซุปผักชายาที่ได้รับการยอมรับ และวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการและความปลอดภัยเพื่อการบริโภค ส่วนซุปผักหวานและเห็ด อยู่ระหว่างการคัดเลือสูตรและวิเคราะห์คุณภาพ

การศึกษากรรมวิธีการผลิต และสูตรมาตรฐานของขนมปังปอนด์ โดยใช้สูตรขนมปัง 4 สูตร คือ สูตรที่ 1 (นวรัตน์ เอี่ยมพิทักษ์กิจ , 2546) สูตรที่ 2 (วิภาวัน จุลยา,2549) สูตรที่ 3 (UFM BAKING SCHOOL, 2528) และสูตรที่ 4 (จริยา เดชกุลชร, 2540) และคัดเลือกสูตรที่ผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับโดยทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม ซึ่งผู้ทดสอบชิมให้คะแนนความชอบขนมปังสูตรที่ 2 (วิภาวัน จุลยา, 2549) มากที่สุด ดังนั้นจึงเป็นสูตรขนมปังที่ใช้ในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

4.1.2 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมปังปอนด์สูตรที่ 2 โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความชื้น เถ้า โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และพลังงาน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ตามวิธี A.O.A.C (1995) และคำนวณหาปริมาณสารอาหาร จากตารางแสดงคุณค่าทางอาหาร กรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข (2546) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าอาหารทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ขนมปังสูตรที่ 2

องค์ประกอบทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการ	ปริมาณที่วัดได้ของแต่ละผลิตภัณฑ์ (%)
ความชื้น	35.33
เถ้า	3.14
โปรตีน	10.36
ไขมัน	2.67
คาร์โบไฮเดรต	48.5
เยื่อใย	3.95
พลังงาน (กิโลแคลรี่)	259.47

4.2 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์ขนมปังด้วย แคลเซียมโพรพิโอเนต (calcium propionate) กรดแอซีติก (acetic acid) และ กรดซอร์บิก (sorbic acid)

การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของขนมปังที่มีการเติมสารเคมี ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต (calcium propionate), กรดแอซีติก (acetic acid) และ กรดซอร์บิก (sorbic acid) เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ได้แก่

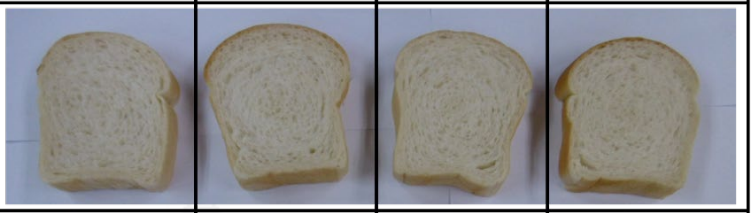
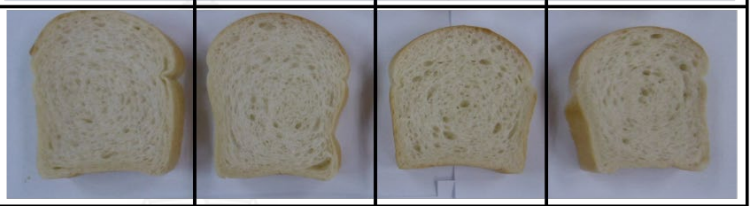
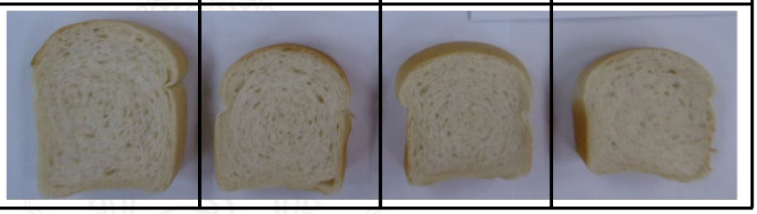
4.2.1 ลักษะทางกายภาพของขนมปัง

ผลการเปรียบขนาดของก้อนขนมปัง และภาพตัดขวางของก้อนขนมปังในตารางที่ 4.3 และ 4.4 แสดงให้เห็นว่าขนมปังที่ผลิตโดยเติมสารกันเสียแคลเซียมโพรพิโอเนต (calcium propionate) ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และ 0.2 และขนมปังที่เติมกรดแอซิติกร้อยละ 0.1 มีขนาดของก้อนขนมปัง ใกล้เคียงกับขนมปังตัวอย่างควบคุม ส่วนขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตร้อยละ 0.3, กรดแอซีติกร้อยละ 0.2 และ 0.3 และขนมปังที่เติมกรดซอร์บิกมีขนาดของก้อนขนมปังเล็กกว่าตัวอย่างควบคุมตามลำดับ ซึ่งขนมปังที่เติมกรดซอร์บิกร้อยละ 0.3 มีขนาดเล็กที่สุด

ตารางที่ 4.3 ลักษณะก้อนของขนมปังที่มีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ

สารกันเสีย	ตัวอย่างควบคุม	ความเข้มข้นของสารกันเสียที่เติมในขนมปัง		
		ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3
แคลเซียมโพรพิโอเนท (Calcium propionate)				
กรดแอซีติก (Acetic acid)				
กรดซอร์บิก (Sorbic acid)				

ตารางที่ 4.4 ลักษณะเนื้อด้านในของขนมปังที่มีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ

สารกันเสีย	ตัวอย่างควบคุม	ความเข้มข้นของสารกันเสียที่เติมในขนมปัง		
		ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3
แคลเซียมโพรพิโอเนท (Calcium propionate)				
กรดแอซีติก (Acetic acid)				
กรดซอร์บิก (Sorbic acid)				

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขนมปังมีการขึ้นฟูที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ก้อนขนมปังมีขนาดที่แตกต่างกันเมื่อเติมสารกันเสียแต่ละชนิด การทำขนมปังเป็นมีขั้นตอนพื้นฐาน 2 ขั้นตอนที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ได้แก่ ขั้นตอนการหมัก ซึ่งการผลิตก๊าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่เชื่อมโยงกับกิจกรรมของยีสต์จะแสดงออกมาในโครงสร้างแป้งที่มีรูพรุนพร้อมกับการพัฒนาปริมาณแป้งในระหว่างการอบโดยที่กิจกรรมของยีสต์สิ้นสุดลงและโครงสร้างขนมปังได้จะถูกทำให้เกิดโครงสร้างในระหว่างการอบ อุณหภูมิภายในจะสูงถึง 100 ℃ และสัดส่วนปริมาตรของขนมปังจะมีค่าสุดท้ายระหว่าง 0.8 ถึง 0.9 (Shehzad et al., 2011) ในขณะที่กลูเตนและเม็ดแป้งถูกทำให้เสียหายได้ (Franci and Igore, 2011) ซึ่งโครงสร้างสุดท้ายของขนมปังมักขึ้นอยู่กับส่วนผสมของแป้ง กิจกรรมของยีสต์ อุณหภูมิในการหมัก และการเกิดฟองก๊าซ (Lassoued et al., 2007) จากที่กล่าวมาจะเห็นว่าการเติมกรดซอร์บิก (sorbic acid) สามารถยับยั้งกิจกรรมของยีสต์ได้ดีที่สุดส่งผลให้ขนมปังมีการขึ้นฟูน้อยที่ รองลงมาคือ กรดแอซีติก (acetic acid) และ แคลเซียมโพรพิโอเนต (calcium propionate) ตามลำดับ

4.2.2 ผลของการเติมสารกันเสียที่มีต่อปริมาณความชื้น ปริมาตารจำเพาะ และความหนาแน่นของขนมปัง

การเติมสารเคมี ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต (calcium propionate), กรดแอซีติก (acetic acid) และ กรดซอร์บิก (sorbic acid) เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของขมปัง จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 พบว่าขนมปังสูตรควบคุมและขนมปังที่เติมสารกันเสียทุกสูตรมีค่าความชื้นมีแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) ความหนาแน่นของขนมปังมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับปริมาตรจำเพาะ กล่าวคือเมื่อปริมาตรจำเพาะของขนมปังลดลง ความหนาแน่นของขนมปังจะมีค่ามากขึ้น จากการทดลองพบว่า ขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตร้อยละ 0.1, 0.2, 0.3 และกรดแอซีติกร้อยละ 0.1 มีค่าปริมาตรจำเพาะและความความหนาแน่นไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p>0.05$) ซึ่งสูตรการผลิตขมปังมีส่วนผสมและน้ำที่เติมเท่ากัน นอกจากนี้วิธีในการผลิตและขั้นตอนการอบถูกควบคุมให้เหมือนกันทุกสูตรการผลิตส่งให้ผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.5 ปริมาณความชื้น ปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นของขนมปังที่มีการเติม Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารกันเสีย		
	ความชื้น (%)	ปริมาตรจำเพาะ (cm^3/g)	ความหนาแน่น (g/cm^3)
ตัวอย่างควบคุม	34.70 ± 0.83^{ns}	4.43 ± 0.04^{a}	0.25 ± 0.03^{a}
Calcium propionate 0.1%	33.54 ± 1.87^{ns}	4.42 ± 0.09^{a}	0.25 ± 0.01^{a}
Calcium propionate 0.2%	34.97 ± 1.82^{ns}	4.42 ± 0.06^{a}	0.25 ± 0.02^{a}
Calcium propionate 0.3%	34.71 ± 1.64^{ns}	4.41 ± 0.06^{a}	0.25 ± 0.02^{a}
Acetic acid 0.1%	32.91 ± 1.87^{ns}	4.41 ± 0.04^{a}	0.26 ± 0.02^{a}
Acetic acid 0.2%	34.65 ± 1.65^{ns}	4.28 ± 0.05^{b}	0.28 ± 0.01^{b}
Acetic acid 0.3%	33.25 ± 1.13^{ns}	4.15 ± 0.07^{c}	0.30 ± 0.01^{c}
Sorbic acid 0.1%	34.10 ± 1.17^{ns}	3.83 ± 0.03^{d}	0.33 ± 0.01^{d}
Sorbic acid 0.2%	36.00 ± 0.75^{ns}	3.63 ± 0.03^{e}	0.34 ± 0.01^{e}
Sorbic acid 0.3%	34.69 ± 1.14^{ns}	3.30 ± 0.08^{f}	0.36 ± 0.02^{f}

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$); ns หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ในขณะที่การเติมกรดแอซีติกที่ร้อยละ 0.2, 0.3 และกรดซอร์บิก 0.1, 0.2, 0.3 ส่งผลให้ขนมปังมีค่าปริมาตรจำเพาะลดลงและความความหนาแน่นเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เมื่อระดับของการเติมสารกันเพิ่มขึ้นค่าความหน่าแน่นของขนมปังจะเพิ่มขึ้น โดยขนมปังที่เติมกรดซอร์บิกที่ระดับ 0.3 จะมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด และมีปริมาตรจำเพาะต่ำที่สุด ซึ่งมีความสอดคล้องขนาดของก้อนขนมปังที่แสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

โดแป้งเป็นระบบที่มีหลายเฟสและหลายองค์ประกอบ ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วย โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต น้ำและอากาศ ส่วนผสมของแป้ง ตลอดจนสภาวะของการแปรรูป ซึ่งเป็นปัจจัยที่กำหนดโครงสร้างมหภาคของขนมอบ ในทางกลับกันก็มีหน้าที่ทำให้เกิดต่อลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส รสชาติ และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ เพื่อให้เกิดการสร้างโครงสร้างของขนมอบ ส่วนผสมจะถูกผสม และนวด โดถูกทำขึ้นฟู และอบ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจะเกิดขึ้นระหว่างวิธีการทำขนมปัง (Ali et al, 1997) ในขั้นตอนการผสม ส่วนผสมจะเปลี่ยนเป็นส่วนผสมที่มีความหนืดซึ่งเป็นผลมาจากการก่อตัวของเครือข่ายโปรตีนสามมิติ ซึ่งเม็ดแป้งจะถูกแยกออกจากกันอย่างสม่ำเสมอ ในระหว่างการนวดแป้งจะมีฟองอากาศอยู่ภายในแป้งและถือว่าเป็นนิวเคลียสช่วงต้นของฟองแก๊สซึ่งจะก่อตัวขึ้นในระหว่างการบ่ม ในระหว่างการพักโด เมแทบอลิซึมของยีสต์จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยได้ทางเคมีเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และเอทิลแอลกอฮอล์เป็นผลิตภัณฑ์หลักสำเร็จรูป เนื่องจากปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกี่ยวข้องซึ่งผสมกันกับน้ำได้ จึงส่งผลต่อธรรมชาติคอลลอยด์ของโปรตีนข้าวสาลีและเปลี่ยนความตึงเครียดระหว่างผิวหน้าภายในแป้ง นอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งบางส่วนละลายในเฟสที่เป็นน้ำของแป้ง จะเคลื่อนไปยังนิวเคลียสเริ่มต้นของฟองอากาศที่เกิดขึ้นระหว่างการนวดทำให้เกิดการเจริญเติบโต การเจริญเติบโตของเซลล์แก๊สขึ้นอยู่กับขนาดเซลล์และองค์ประกอบของโด การผลิตก๊าซควบคุมโดยประสิทธิภาพของยีสต์ ดังนั้นปริมาณของก้อนขนมปังที่ต้องการจพสัมพันธ์กับการหมักยีสต์ที่จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อแป้งมีสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของยีสต์และการสร้างก๊าซ และในขณะเดียวกันก็มีกลูเตนเมทริกซ์ที่สามารถกักเก็บก๊าซได้สูงสุด (Sahlstro¨m et al., 2004) ดังนั้นการที่ขนมปังที่เติมแคเซียมโพรพิโอเนตมีปริมาตรจำเพาะสูงแสดงให้เห็นว่ายีสต์มีการเจริญเติบโตของยีสต์และการสร้างก๊าซคาร์บอนไดออกไซออกไซด์ได้มากกว่าขนมปังสูตรที่เติมกรดซอร์บิกซึ่งมีปริมาตรจำเพาะน้อย ส่งผลให้ขนมปังมีขนาดก้อนที่เล็กกว่าและความหนามากขึ้น เนื่องจากมีปริมาณก๊าซที่แทรกในเนื้อขนมปังน้อยลง

4.2.3 ผลของการเติมสารกันเสียที่มีต่อสีของขนมปัง

คุณภาพด้านสีของขนมปังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีต่อการเลือกซื้อขนมปังของผู้บริโภค ในการวิจัยนี้ได้ทำการวัดสีของเนื้อขนมปัง ผลการตรวจสอบค่าสีของนมปังที่มีการเติมสารกันเสียชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าขนมปังสูตรสูตรควบคุมและขนม

ปังสูตรที่เติมระดับการเติมกรดซอร์บิคมีค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง สูงที่สุด รองลงมาคือขนมปังสูตรที่เติมกรดแอซิติก แคลเซียมโพรพิโอเนท และขนมปังตัวอย่างควบคุมตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มระดับการเติมสารกันเสียมีผลทำให้ค่าความสว่างเพิ่มขึ้น ($p<0.05$) ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าการหมักสามารถทำลายสีของแป้งสาลี เพิ่มความขาว เป็นที่อาจเกิดจากปริมาณไขมัน และน้ำตาลอิสระด์เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความขาวของแป้ง เช่น มันเทศและข้าวโพด (Yuliana et al., 2017) เป็นที่ทราบกันว่าข้าวสาลีอุดมไปด้วยแคโรทีนอยด์ และสีของเนื้อมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแคโรทีนอยด์ สีเหลืองอัมพันของแป้งซาโมลีน่า (semolina) เกิดจากรงควัตถุสีของแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ที่อยู่ในเมล็ดข้าวสาลี โดยปริมาณแคโรทีนนอยด์ในแป้งสาลีชนิดเมล็ดแข็ง (durum wheat) พบประมาณ 6.2 ± 0.13 mg/kg (Beleggia et al., 2011; Brandolini et al., 2015)

ตารางที่ 4.6 ค่าสี (L*, a*, b*) ของขนมปังที่มีการเติม Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารกันเสีย		
	L*	a*	b*
ตัวอย่างควบคุม	68.58±1.81^{d}	3.05±0.07^{f}	6.49±0.82^{d}
Calcium propionate 0.1%	69.08±2.23^{d}	3.11±0.07^{cdef}	6.63±1.01^{d}
Calcium propionate 0.2%	69.55±2.28^{cd}	3.11±0.08^{def}	6.44±0.60^{d}
Calcium propionate 0.3%	70.88±1.42^{bc}	3.10±0.08^{ef}	6.63±0.33^{d}
Acetic acid 0.1%	70.69±1.70^{bc}	3.18±0.09^{cd}	7.44±0.86^{c}
Acetic acid 0.2%	70.17±1.19^{cd}	3.16±0.06^{cde}	7.82±0.72^{c}
Acetic acid 0.3%	70.86±1.16^{bc}	3.19±0.08^{c}	8.47±0.66^{b}
Sorbic acid 0.1%	71.12±1.32^{bc}	3.35±0.08^{b}	8.83±0.62^{b}
Sorbic acid 0.2%	72.11±2.59^{b}	3.52±0.12^{a}	9.84±0.79^{a}
Sorbic acid 0.3%	73.73±1.23^{a}	3.58±0.07^{a}	9.85±0.51^{a}

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

การที่ขนมปังมีเนื้อที่ขาวของอาจมีความสัมพันธ์กับการทำให้แป้งบริสุทธิ์ขึ้นโดยการหมักของยีสต์ และการย่อยสลายของสารแคโรทีนอยด์ จุลินทรีย์ไฮโดรไลซ์ไขมันและน้ำตาลอิสระทำให้เกิดเป็นแอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ ซึ่งสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่เกี่ยวข้องกับ

เอนไซม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพในระหว่างกระบวนการอบ นอกจากนี้การหมักอาจทำให้เกิดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความขาวของตัวอย่างแป้งหมัก (Gong et al., 2019) นอกจากนี้ Sefa-Dedeh et al. (2003) ได้เสนอแนะว่าการหมักสามารถลดความเข้มของสีของข้าวโพดที่ผสมอาหารแล้วซึ่งมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับเม็ดสีแคโรทีนอยด์ ด้วยเหตุนี้แสดงให้เห็นว่าขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตมีกิจกรรมของจุลินทรีย์สูงที่สุด ทำให้เกิดการย่อยสลายของไขมัน น้ำตาลอิสระและแคโรทีนอยด์จึงส่งผลให้เนื้อของขนมปังมีความขาวหรือความสว่างสูงกว่าขนมปังที่เติมกรดแอซีติกและกรดซอร์บิกตามลำดับ

4.2.4 ผลของการเติมสารกันเสียที่มีต่อสีของขนมปัง

ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเลือกซื้อขนมปังของผู้บริโภค การเติมสารกันเสีย ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต กรดแอซีติก และกรดซอร์บิก ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ค่าความแข็ง จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 พบว่าขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตมีค่าความแข็ง (hardness) และ ค่าความเคี้ยวได้ (chewiness) สูงที่สุด รองลงมาคือ ขนมปังที่เติมกรดซอร์บิค แคลเซียมโพรพิโอเนต และขนมปังสูตรควบคุมตามลำดับ ส่วนค่าความยืดหยุ่น (springiness) มีแนวโน้มตรงกันข้าม โดยขนมปังสูตรควบคุมและขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตมีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ ขนมปังสูตรที่เติมกรดแอซีติก และกรดซอร์บิกตามลำดับ และค่าความเคี้ยวได้แสดงถึงเนื้อสัมผัสที่หนืบของขนมปัง และค่าที่สูงกว่าบ่งชี้ว่าเนื้อสัมผัสที่แข็งกระด้าง ในทางกลับกันค่าความยืดหยุ่นแสดงถึงคุณภาพการเคี้ยวของขนมปัง และค่าที่สูงกว่าหมายถึงขนมปังที่เคี้ยวได้ง่ายกว่า (Valle et al., 2014) ส่วนค่าความเคี้ยวได้ (chewiness) แสดงให้เห็นถึงความนุ่มและความเหนียวของอาหารแข็ง และได้รับผลกระทบจากความแข็ง ความเหนียวแน่นและความสปริงตัว อันที่จริงมันลดลงพร้อม ๆ กันเมื่อความแข็งและความยืดหยุ่นของขนมปังลดลง (Gong et al., 2019) ผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าสารกันเสียมีผลอย่างมากต่อคุณภาพเนื้อสัมผัสของขนมปังที่ผลิตโดยการหมักด้วยยีสต์ ค่าความแข็ง และความค่าความเคี้ยวได้เพิ่มขึ้นตามปริมาณสารกันเสียที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความยืดหยุ่นลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) เนื่องจากการลดลงของปริมาตรจำเพาะของขนมปังและความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นจากการลดลงของการเจริญเติบโตและการสร้างก๊าซของยีสต์ โดยค่าความแข็งต่ำของขนมปังที่หมักด้วยยีสต์อาจเป็นผลมาจากการดัดแปลงโมเลกุลขององค์ประกอบทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการหลัก ทำให้ความสามารถในการละลายของโมเลกุลเหล่านี้เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการกระทำของจุลินทรีย์ (Chinma et al., 2014)

ตารางที่ 4.7 ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังที่มีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารกันเสีย		
	Hardness (g)	Chewiness (g)	Spriginess (g)
ตัวอย่างควบคุม	226.74±57.41^{d}	83.85±11.39^{e}	0.9689±0.0050^{a}
Calcium propionate 0.1%	232.17±54.48^{d}	76.18±8.17^{e}	0.9618±0.0085^{ab}
Calcium propionate 0.2%	210.44±59.46^{d}	78.96±18.14^{e}	0.9611±0.0750^{ab}
Calcium propionate 0.3%	276.63±65.93^{d}	87.65±19.87^{de}	0.9567±0.0094^{ab}
Acetic acid 0.1%	305.08±66.23^{cd}	104.36±22.80^{cde}	0.9502±0.0111^{abc}
Acetic acid 0.2%	414.84±45.37^{bc}	119.64±19.18^{bcd}	0.9411±0.0163^{abc}
Acetic acid 0.3%	459.18±54.07^{b}	141.26±18.21^{ab}	0.9312±0.0313^{bc}
Sorbic acid 0.1%	445.50±65.37^{b}	134.04±20.23^{abc}	0.9315±0.0196^{bc}
Sorbic acid 0.2%	465.72±71.74^{b}	163.09±19.06^{a}	0.9198±0.0169^{c}
Sorbic acid 0.3%	597.04±69.65^{a}	164.65±19.90^{a}	0.9213±0.0132^{c}

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.3 การศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของขนมปังที่มีการเติมสารเคมี Calcium propionate Acetic acid และ Sorbic acid เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษา

4.3.1 การศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของขนมปังระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)

โดยขนมปังที่ปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคต้องมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1 x 10^{4} cfu/g และจำนวนยีสต์กับราไม่เกิน 100 cfu/g อ้างอิงตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่อง เกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน : ขนมปัง (มผช. ๗๔๗/๒๕๕๕) ซึ่งขนมปังที่ผลิตทุกสูตรได้ถูกบรรจุในถุงพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 12 วัน โดยผลการทดลองได้แสดงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนยีสต์และราในตารางที่ 4.8 และจำนวนยีสต์และราในตารางที่ 4.9 ตามลำดับ พบว่าตัวอย่างควบคุมมีอายุสั้นที่สุดสามารถเก็บได้ 4 วัน ส่วนขนมปังที่เติมสารเคมี แคลเซียมโพรพิโอเนต กรดแอซีติก และกรดซอร์บิก ที่ร้อยละ 0.1 มีอายุการเก็บรักษา 8, 6, และ 4 วัน ตามลำดับ ขนมปังที่เติมสารเคมี แคลเซียมโพรพิโอเนต กรดแอซีติก และกรดซอร์บิก ที่ร้อยละ 0.2 มีอายุการเก็บรักษา 10, 7, และ 5 วัน ตามลำดับ และ ขนมปังที่เติมสารเคมี แคลเซียมโพรพิโอเนต กรดแอซีติก

และกรดซอร์บิก ที่ร้อยละ 0.1 มีอายุการเก็บรักษา 12, 9, และ 6 วัน ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าของขนมปังที่เติมสารเคมีช่วยยืดอายุการเก็บรักษาได้ยาวกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เติมสารเคมี โดยการเติมแคลเซียมโพรพิโอเนต ช่วยให้สามารถเก็บรักษาได้นานที่สุด และการเพิ่มความเข้มข้นของสารกันเสียส่งผลให้อายุการเก็บรักษาของขนมปังยาวนานขึ้น

ภาพที่ 4.1 การบรรจุผลิตภัณฑ์ขนมปังในถุงพลาสติกใสระหว่างการศึกษาอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าจำนวนยีสต์และเชื้อราในช่วงเวลาต่างๆ กัน การเติมสารกันเสียแคลเซียมโพรพิโอเนตนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุดในการควบคุมการเจริญเติบโตของยีสต์และเชื้อรา การเจริญเติบโตของยีสต์และเชื้อราปรากฏขึ้นหลังจากเก็บรักษา 12 วัน รองลงมาคือขนมปังที่เติมกรดแอซิติกและกรดซอร์บิกตามลำดับ ซึ่งการเติมสารเคมีที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 มีผลในการยับยั้งการเจริญของยีสต์และเชื้อราได้ดีกว่าการเติมสารเคมีร้อยละ 0.1 และ 0.2 อย่างไรก็ตามการเติมสารกันเสียนี้ไม่มีการเจริญเติบโตหรือการปรากฏตัวของเชื้อราเพิ่มเติม จนกระทั่งบันทึกโคโลนีของยีสต์และราที่การเก็บรักษา 12 วัน ที่อัตรา 92 CFU/กรัม จำนวนสูงสุดของโคโลนีของเชื้อราในตัวอย่างควบคุมมีจำนวนสูงที่สุด ผลลัพธ์เหล่านี้สอดคล้องกับผลการศึกาของ ผลลัพธ์ของ Tarar et al (2010) ซึ่งรายงานว่าเชื้อราส่วนใหญ่ที่แยกได้จากขนมปังในการศึกษานี้เป็น *Arpergillus flavus* ตามด้วย *A. fumigatus*, *Penicillium spp*., *Rhyizopus* นอกจากนี้ Latif และคณะ (2005) ยังได้ศึกษาเชื้อราประเภทต่างๆ (*Aspergillus, Penicillium* และ *Actinomycetes*) ในขนมปังเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขนมปังที่มีการเติมแคลเซียมโพรพิโอเนต (Calcium propionate) กรดแอซีติก (Acetic acid) และ กรดซอร์บิก (Sorbic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)

วันที่	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)									
	ตัวอย่างควบคุม	แคลเซียมโพรพิโอเนต			กรดแอซีติก			กรดซอร์บิก		
		ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3
1	26	< 10	< 10	< 10	5	< 10	< 10	21	8	< 10
2	93	< 10	< 10	< 10	45	16	< 10	84	59	16
3	3.7×10^2	21	< 10	< 10	1.6×10^2	79	13	8.1×10^2	1.5×10^2	78
4	8.9×10^3	76	15	< 10	2.7×10^2	2.7×10^2	73	7.3×10^3	7.9×10^2	2.4×10^2
5	1.7×10^4	1.3×10^2	68	6	6.7×10^3	8.7×10^2	2.2×10^2	2.2×10^4	4.6×10^3	8.2×10^2
6	7.3×10^4	9.3×10^2	1.1×10^2	31	2.5×10^4	2.1×10^3	9.2×10^2	6.9×10^4	2.3×10^4	4.2×10^3
7	1.9×10^5	2.4×10^3	4.5×10^2	86	8.6×10^4	9.5×10^3	1.5×10^3	1.2×10^5	7.6×10^4	1.6×10^4
8	9.2×10^5	6.7×10^3	6.8×10^2	1.2×10^2	2.3×10^5	3.6×10^4	8.6×10^3	5.4×10^5	3.1×10^5	4.6×10^4
9	2.7×10^6	1.6×10^4	2.1×10^3	7.3×10^2	7.5×10^5	8.4×10^5	2.3×10^4	7.2×10^5	8.9×10^5	9.7×10^4
10	TNTC	5.8×10^4	7.6×10^3	1.8×10^3	7.4×10^6	6.3×10^6	7.5×10^4	2.3×10^6	1.1×10^6	1.3×10^5
11	TNTC	8.2×10^4	1.7×10^4	3.4×10^3	TNTC	1.7×10^6	1.4×10^5	TNTC	5.6×10^6	7.8×10^5
12	TNTC	2.6×10^5	6.5×10^4	8.6×10^3	TNTC	TNTC	6.7×10^5	TNTC	TNTC	1.4×10^6

หมายเหตุ TNTC แสดงถึงมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์มากจนไม่สามารถนับจำนวน (Too number too count)

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราของขนมปังที่มีการเติมแคลเซียมโพรพิโอเนต (Calcium propionate) กรดแอซีติก (Acetic acid) และ กรดซอร์บิก (Sorbic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส)

วันที่	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)									
	ตัวอย่างควบคุม	แคลเซียมโพรพิโอเนต			กรดแอซีติก			กรดซอร์บิก		
		ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3
1	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
2	12	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	10	3	< 10
3	42	< 10	< 10	< 10	8	< 10	< 10	47	15	6
4	89	2	< 10	< 10	36	6	< 10	90	48	21
5	2.3×10^2	19	8	< 10	93	28	4	1.5×10^2	87	64
6	5.8×10^2	48	13	< 10	1.1×10^2	67	21	6.2×10^2	1.1×10^2	93
7	1.5×10^3	82	21	4	5.5×10^2	92	61	1.0×10^3	5.9×10^2	1.4×10^2
8	7.2×10^3	97	42	8	9.2×10^2	1.4×10^2	89	4.3×10^3	8.9×10^2	5.2×10^2
9	2.6×10^4	1.6×10^2	71	16	1.3×10^3	7.3×10^2	1.1×10^2	7.2×10^3	1.9×10^3	9.5×10^2
10	TNTC	6.7×10^2	94	35	5.8×10^3	2.3×10^3	6.5×10^3	9.6×10^3	2.4×10^3	1.8×10^3
11	TNTC	9.6×10^3	2.2×10^2	68	8.9×10^3	7.1×10^3	9.3×10^2	2.4×10^4	8.3×10^3	4.7×10^3
12	TNTC	TNTC	5.7×10^2	92	TNTC	TNTC	2.4×10^3	TNTC	2.2×10^4	8.4×10^3

หมายเหตุ TNTC แสดงถึงมีจำนวนยีสต์กับราที่ไม่สามารถนับจำนวน (Too number too count)

4.3.2 การศึกษาคุณภาพทางจุลชีววิทยาของขนมปังระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็น (10 องศาเซลเซียส)

เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นเป็นเวลา 30 วัน โดยผลการทดลองได้แสดงจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและจำนวนยีสต์และราในตารางที่ 4.10 และจำนวนยีสต์และราในตารางที่ 4.11 ตามลำดับ พบว่าขนมปังทุกสูตรและตัวอย่างควบคุมมีปริมาณของเชื้นจุลินทรีย์ในช่วง 2 - 1.1 x 10^2 cfu/g และส่วนปริมาณยีสต์และราของขนมปังสูตรควบคุมอยุ่ในช่วง 2-9 cfu/g ในขณะไม่พบการเจริญของเชื้อราบนขนมปังทั้งจากการสังเกตุด้วยตาเปล่าและการทดสอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อไม่พบโคโลนีของเชื้อราเช่นเดียวกัน โดยซึ่งปลอดภัยสำหรับผู้บริโภคโดยมีจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดไม่เกิน 1 x 10^4 cfu/g และจำนวนยีสต์กับราไม่เกิน 100 cfu/g อ้างอิงตามประกาศกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ เรื่องเกณฑ์คุณภาพทางจุลชีววิทยาของอาหารและภาชนะสัมผัสอาหาร ฉบับที่ 3 และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน: ขนมปัง (มผช. ๗๔๗/๒๕๕๕ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิตู้เย็นขนมปังที่อุณหภูมิตู้เย็นสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อรา แต่ขนมปังมีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นหรือความนุ่มลดลง

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alpers et al. (2021) ที่รายงานว่าการเก็บรักษาขนมปังในถุงพลาสติกที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 วัน ไม่พบการเจริญของเชื้อราทั้งจากการสังเกตุด้วยตาเปล่าและการทดลองด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อในขณะพบการเจริญของเชื้อราที่ผิวของขนมปังที่เก็บที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งผู้วิจัยกลุ่มนี้ได้เสนอแนะเพิ่มเติมเกี่ยวกับค่าความแข็ง (firmness) ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิตู้เย็นระหว่างกับรักษาเป็นเวลา 10 วัน เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าอุณหภูมิต่ำจะเร่งอัตราการแข็งตัวของแป้งเจล (Colwell et al., 1969) สำหรับเจลแป้งที่มีความเข้มข้นเหมือนขนมปัง การคืนตัวของแป้ง (retrogradation) จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ glass transition (Tg, −5 องศาเซลเซียส) และต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลว (melting point) (Tm, 60 องศาเซลเซียส) (Gray and Bemiller, 2003) กระบวนการตกผลึกซ้ำระหว่างการคืนตัวของแป้งเกี่ยวข้องกับกระบวนการสร้างนิวเคลียสและกระบวนการถัดไป ซึ่งมีรายงานว่าอัตราสูงที่สุดสำหรับอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับ Tg และ Tm ตามลำดับ Slade and Levine (1987) สรุปจากการทดลองของพวกเขาว่าอัตราการคืนตัวของแป้งที่เกิดขึ้นร่วมกับกระบวนการสร้างนิวเคลียส มีค่าสูงขึ้นสำหรับอุณหภูมิตู้เย็น ดังนั้นการเก็บรักษาขนมปังที่อุณหภูมิตู้เย็นจะเร่งให้แข็งตัวขึ้น (Slade and Levine, 1897)

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของขนมปังที่มีการเติมแคลเซียมโพรพิโอเนต (Calcium propionate) กรดแอซีติก (Acetic acid) และกรดซอร์บิก (Sorbic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ ที่อุณหภูมิตู้เย็น (10 องศาเซลเซียส)

วันที่	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)									
	ตัวอย่างควบคุม	แคลเซียมโพรพิโอเนต			กรดแอซีติก			กรดซอร์บิก		
		ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3
1	16	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
5	23	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
10	38	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
15	51	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
20	68	12	< 10	< 10	4	< 10	< 10	6	< 10	< 10
25	94	27	8	< 10	19	5	2	18	8	< 10
30	1.1×10^2	38	22	5	32	15	9	31	26	11

หมายเหตุ TNTC แสดงถึงมีจำนวนเชื้อจุลินทรีย์มากจนไม่สามารถนับจำนวน (Too number too count)

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ปริมาณยีสต์และราของขนมปังที่มีการเติมแคลเซียมโพรพิโอเนต (Calcium propionate) กรดแอซีติก (Acetic acid) และ กรดซอร์บิก (Sorbic acid) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ อุณหภูมิตู้เย็น (10 องศาเซลเซียส)

วันที่	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (cfu/g)									
	ตัวอย่างควบคุม	แคลเซียมโพรพิโอเนต			กรดแอซีติก			กรดซอร์บิก		
		ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3
1	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
5	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
15	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
20	2	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
25	4	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
30	9	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

หมายเหตุ TNTC แสดงถึงมีจำนวนยีสต์กับราที่ไม่สามารถนับจำนวน (Too number too count)

จากภาพในตารางที่ 4.12, 4.13, และ 4.14 เปรียบเทียบให้เห็นว่าขนมปังมีการเจริญเติบโตของเชื้อเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการเก็บรักษายาวนานขึ้นในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา 12 วัน เชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถมองเห็นได้จะเป็นกลุ่มของเชื้อราที่มีการสร้างเส้นใยบริเวณผิวของเปลือกขนมปัง ซึ่งมีเส้นใยสีขาว สีดำ และสีเหลืองอมเขียว ดังแสดงภาพที่ 4.2

จากข้อมูลทางจุลชีววิทยา ลักษณะสำคัญที่สุดของขนมปังประเภทต่างๆ คือมีความชื้นสูง (ประมาณ 40%) และ water activity ต่ำ (ประมาณ 0.94-0.97) ดังนั้น ขนมปังจึงมีโอกาสถูกเชื้อราทำให้เกิดการเน่าเสียได้ และมีอายุการเก็บรักษาสั้นเพียง 3-7 วัน เว้นแต่จะมีการดำเนินการพิเศษ การเจริญหรือการขึ้นราของขนมปังเกิดขึ้นเมื่อขนมปังถูกเก็บไว้ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์สูงและอุณหภูมิสัมพัทธ์สูง สีของราที่ขึ้นบนขนมปังจะแตกต่างกันไปตั้งแต่สีขาว สีเหลืองทอง สีเทาอมเขียว ไปจนถึงสีดำขึ้นอยู่กับชนิดและระดับของการสร้างสปอร์ (Vagelas et al., 2011) ซึ่งขนมปังที่มีกลิ่นของราไม่สามารถนำไปบริโภคได้ การเน่าเสียของขนมปังที่เกิดจากเชื้อราในขนมปังเป็นปัญหาทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจได้ ความสูญเสียอันเนื่องมาจากการเน่าเสียโดยเชื้อราแตกต่างกันขึ้นอยู่กับฤดูกาล ชนิดของผลิตภัณฑ์ และวิธีการแปรรูป การศึกษาการเน่าเสียของของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่โดยเชื้อราได้ถูกศึกษาเป็นจำนวนมาก และมีหลายสายพันธุ์ที่เกี่ยวข้อง สายพันธ์ที่พบมากที่สุดคือสายพันธุ์ *Eurotium*, *Aspergillus* และ *Penicillium* ส่วนสายพันธุ์อื่นที่อาจพบได้ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ได้แก่ *Cladosporium*, *Mucor* และ *Rhizopus* แต่สายพันธุ์เหล่าต้องเจริญในสภาวะที่มีค่า water activity สูง จึงไม่ค่อยถูกพบว่ามีการทำให้ขนมปังเน่าเสียได้ (Saranraj, and Sivasakthivelan, 2015)

ตารางที่ 4.12 ขนมปังมีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบหลังการผลิต 4 วัน

สารกันเสีย	ความเข้มข้นของสารกันเสียที่เติมในขนมปัง			
	ตัวอย่างควบคุม	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3
แคลเซียมโพรพิโอเนท (Calcium propionate)				
กรดแอซีติก (Acetic acid)				
กรดซอร์บิก (Sorbic acid)				

ตารางที่ 4.13 ขนมปังมีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบหลังการผลิต 8 วัน

สารกันเสีย	ความเข้มข้นของสารกันเสียที่เติมในขนมปัง			
	ตัวอย่างควบคุม	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3
แคลเซียมโพรพิโอเนท (Calcium propionate)				
กรดแอซีติก (Acetic acid)				
กรดซอร์บิก (Sorbic acid)				

ตารางที่ 4.14 ขนมปังมีการเติม Calcium propionate, Acetic acid และ Sorbic acid ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบหลังการผลิต 12 วัน

สารกันเสีย	ความเข้มข้นของสารกันเสียที่เติมในขนมปัง			
	ตัวอย่างควบคุม	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.2	ร้อยละ 0.3
แคลเซียมโพรพิโอเนท (Calcium propionate)				
กรดแอซีติก (Acetic acid)				
กรดซอร์บิก (Sorbic acid)				

ทุกวันนี้ผู้บริโภคต้องการสารกันเสียที่ได้มาจากแหล่งธรรมชาติ เช่น มัสตาร์ด ชะเอม น้ำมันจากกระเทียม และน้ำผึ้ง เนื่องจากมีความสามารถในการให้อายุการเก็บรักษาตามที่กำหนด และบรรเทาผลกระทบที่เป็นอันตรายของสารเคมีและสารกันเสียสังเคราะห์ ตั้งแต่ปี 1980 อุตสาหกรรมขนมปังทั่วโลกได้ใช้ความพยายามอย่างมากในการลดจำนวนสารเติมแต่งและสารกันเสียสังเคราะห์ และผลิตขนมปังสดจากธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม สารกันบูด เช่น แคลเซียมโพรพิโอเนต ยังคงใช้ในขนมปังอยู่ ขนมปังที่มีสารกันเสียเป็นสารเคมีต้องระมัดระวังในการใช้งานและควรควบคุม เพื่อให้มีความปลอดภัยต่อสุขภาพผู้บริโภค จึงจำเป็นต้องมีการสำรวจหาวิธีสารกันเสียจากแหล่งธรรมชาติที่ให้ผลเทียบเท่ากับสารเคมีได้ และรวมเข้ากับเทคโนโลยีการอบเพื่อหลีกเลี่ยงผลข้างเคียงที่เป็นอันตรายของสารกันบูดทางเคมี และปลอดภัยต่อสุขภาพในระยะยาว (Jayashree et al., 2018) สารกันเสียจากธรรมชาติที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพถือเป็นอนาคตในการเปลี่ยนสารกันบูดเคมีใน อุตสาหกรรมขนมปังและเบเกอรี่ได้

ภาพที่ 4.2 ลักษณะของเชื้อราที่เจริญบนขนมปัง

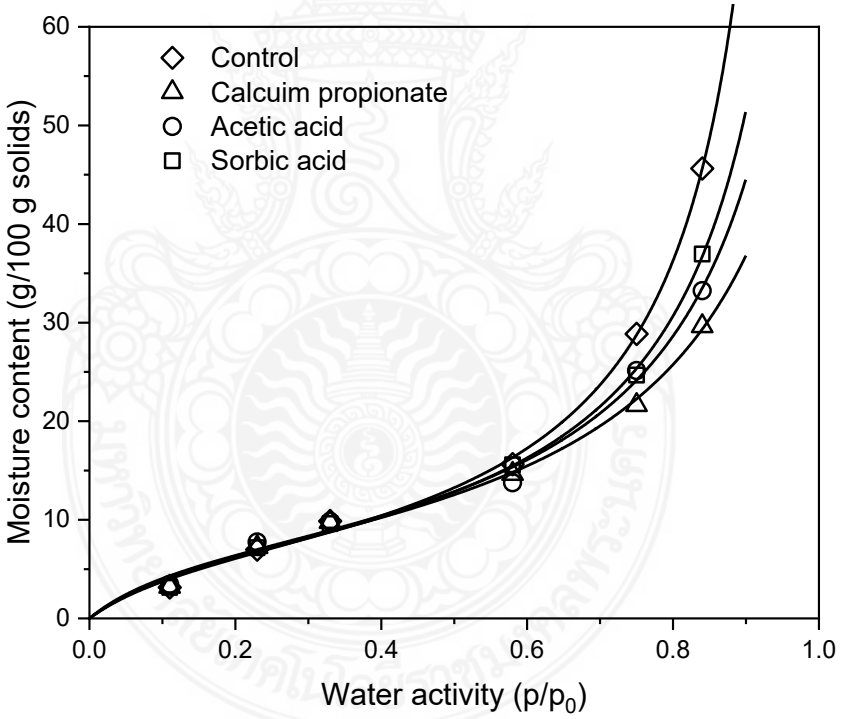
4.4 การทำนายและออกแบบสภาวะการเก็บรักษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การศึกษาคุณภาพทางกายภาพและเคมีของขนมปังที่มีการเติมสารเคมี ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนต (calcium propionate), กรดแอซีติก (acetic acid) และ กรดซอร์บิก (sorbic acid) เพื่อช่วยยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ ได้แก่

4.4.1 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความชื้นและค่า water activity ด้วยกราฟ ซอร์ฟชันไอโซเทร์ม (sorption isotherm)

เมื่อสังเกตลักษณะภายนอกแล้วพบว่าขนมปังเก็บรักษาที่ระดับ water activity 0.58 เริ่มมีสีเข้มชัดเจนขึ้น และที่ระดับ water activity 0.75 ขึ้นไป ขนมปังจะมีลักษณะนิ่ม เหนียว มีสีเข้มขึ้น เนื้อสัมผัสจะนุ่มขึ้นที่บริเวณผิวโดยรอบของขนมปัง ความสามารถในการดูดซับน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดเนื้อสัมผัสที่นิ่มบริเวณผิวของอาหารความชื้นต่ำ (Sasa et al., 2006) เนื่องจากองค์ประกอบในขนมปังที่ละลายน้ำได้ชนิดหลัก คือ กลูเตน ซึ่งจะดูดซับโมเลกุลของน้ำได้ ทำให้เกิดชั้นของเหลวที่ผิวด้านนอกของอาหารเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความชื้นสูง (Mollan and Celik, 1995) การที่ผลิตภัณฑ์มีสีเข้มขึ้นเมื่อเก็บ*รักษา*ที่ระดับ water activity ที่สูงขึ้น อาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งทั้งหมดในตัวขนมลาทำให้อาจ และการหักเหของแสงที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อขนมปังดูดซับได้มากขึ้น

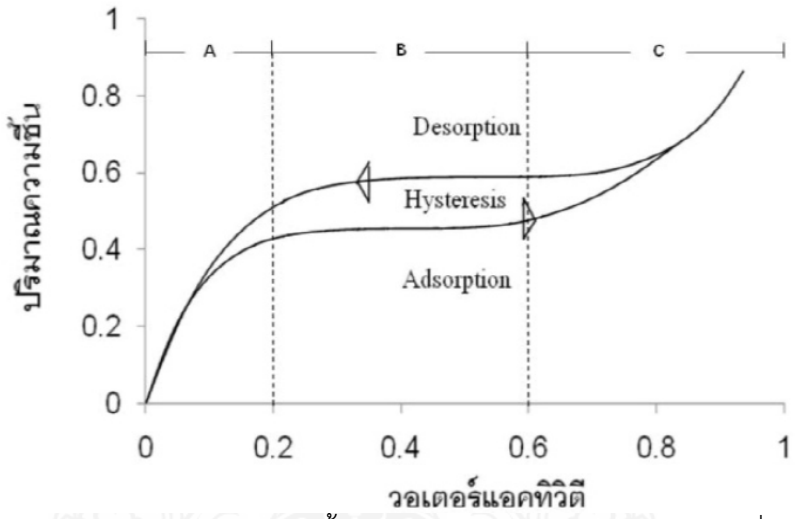
นำผลิตภัณฑ์ขนมปังที่ผลิต ได้แก่ ขนมปังสูตรควบคุม ขนมปังที่มีการเติมสารกันเสีย ได้แก่ แคลเซียมโพรพิเนต กรดแอซีติก และกรดซอร์บิก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ ทั้งหมดตัดเป็นชิ้นขนาด 2.0x2.0x2.0 เซนติเมตร โดยตัดส่วนที่เป็นเปลือก (crust) ของขนมปังออกไป ใส่ในถ้วยพลาสติกและเก็บในกล่องพลาสติกที่ปิดสนิท ที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัว 6 ชนิด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์เข้าสู่สภาวะสมดุล ณ สภาวะจำลองค่า water activity ที่ 0.11, 0.33, 0.58, 0.75 และ 0.84 จากนั้นนำตัวอย่างขนมปังมาวิเคราะห์ค่าปริมาณความชื้นสมดุลของตัวอย่างด้วยตู้อบลมร้อน (AOAC, 2002) ซึ่งพบว่าตัวอย่างขนมปังเข้าสู่สภาวะสมดุลของความชื้นที่เวลา 17 วัน และค่าปริมาณความชื้นสมดุลของตัวอย่างได้ถูกนำมาสร้างกราฟซ็อร์พชันไอโซเทอม (Sorption Isotherm) ที่ค่า water activity ที่ใช้ในการจำลองสภาวะการเก็บรักษาขนมปัง ดังแสดงในภาพที่ 4.3 และทำการทำนายค่าความชื้นสมดุล ณ จุดวิกฤติ ของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขนมปังแต่ละสูตรโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป



ภาพที่ 4.3 กราฟซ็อร์พชันไอโซเทอม (Moisture sorption isotherm) ที่อุณหภูมิห้อง ของขนมปังที่มีการเติมสารกันเสีย ได้แก่ แคลเซียมโพรพิเนต กรดแอซีติก และกรดซอร์บิก ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักรวมวัตถุดิบ โดยเส้นกราฟถูกทำนายด้วย GAB model

4.4.2 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำนายสภาวะการเก็บรักษาของขนมปัง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นิยมใช้ในการ ทำนายซ็อร์พชันไอโซเทอม (Sorption isotherm) คือ แบบจำลอง BET และแบบจำลอง GAB ซึ่งแสดงดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ แบบจำลองทั้ง 2 ประเภทมีรูปแบบสมการใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามแบบจำลอง GAB ต่างกับแบบจำลอง BET ตรงที่มีการเพิ่มค่าคงที่ k ในสมการ แบบจำลอง BET สามารถใช้ทำนายพฤติกรรมการดูดความชื้นของอาหาร ในช่วงค่า a_w ต่ำ กว่า 0.6 ได้ดี ซึ่งครอบคลุมน้ำ ประเภท monolayer water (ช่วง A) และน้ำประเภท multilayer water (ช่วง B) ในรูปที่ 1 ได้ดี



ภาพที่ 4.4 ไอโซเทิร์มการดูด-คายซับความชื้นและการแบ่งช่วงกราฟตามแรงยึดเหนี่ยวของน้ำในอาหาร (ที่มา: ดัดแปลงจาก Barbosa-Canovas and Juliano (2007))

แต่อย่างไรก็ตามช่วงค่า a_w ที่ใช้สำหรับแบบจำลอง BET มิได้ ครอบคลุม MSI ตลอดทั้งเส้นทำ ให้ไม่สามารถ ประยุกต์ใช้แบบจำลอง BET กับผลิตภัณฑ์อาหารทุก ประเภทได้ จึงมีการพัฒนาแบบจำลอง GAB ขึ้นมา โดย แบบจำลอง GAB ครอบคลุมช่วงค่า a_w ที่กว้างกว่า แบบจำลอง BET และใช้ได้ดีกับอาหารหลายประเภท มากขึ้น (Timmermann et al., 2001) มีการใช้ แบบจำลองทั้ง 2 ประเภทสามารถใช้ในการทำนายค่า monolayer moisture content (M_o) ของอาหารได้ ซึ่งค่านี้แสดงปริมาณน้ำที่จะถูกดูดซับได้ที่บริเวณที่เกิด การดูดซับ (adsorption site) ของอาหารชนิดนั้นๆ หรืออาจประมาณน้ำส่วนนี้ว่าเป็น monolayer water อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณความชื้นของอาหารเข้าใกล้ค่า monolayer concentration ปริมาณน้ำส่วนใหญ่ใน อาหารจะอยู่ในรูป monolayer water แต่จะมีน้ำ บางส่วนสามารถเคลื่อนที่ได้เล็กน้อย ซึ่งเชื่อว่าเป็นน้ำ ส่วนที่มีส่วนในการรักษาค่าความดันไอสมดุล ณ ภาวะ นั้นๆ (Tait et al., 1972) เราสามารถนำค่า M_o มาใช้ ในการเปรียบเทียบเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแต่ ละชนิด นอกจากนี้ค่าคงที่ C จากสมการบอกถึง

ค่าคงที่ ของความร้อนที่พื้นผิว (surface heat constant) โดย ค่าคงที่ C จะขึ้นกับพฤติกรรมการดูดความชื้นของ บริเวณที่เกิดการดูดซับ และค่าคงที่ C ที่คำนวณได้จาก แบบจำลองทั้งสองประเภท สามารถใช้บ่งชี้ถึงรูปแบบ ของซอร์ฟชั่นไอโซเทอม (sorption isotherm) ได้ โดยซอร์ฟชั่นไอโซเทอมที่มีค่าคงที่ C ที่คำนวณจาก แบบจำลอง BET หรือแบบ จำลอง GAB อยู่ในช่วง 0-2 จะมีรูปแบบซอร์ฟชั่นไอโซเทอมเป็นแบบ J shape (Type III) ขณะที่ซอร์ฟชั่นไอโซเทอมที่มีค่าคงที่ C มากกว่า 2 ขึ้นไป จะมีรูปแบบ MSI เป็นแบบ sigmoidal shape (Type II) ดังรูปที่ 2 (Labuza and Altunakar, 2007)

$$M = \frac{M_0 C a_w}{(1-a_w)(1+Ca_w-a_w)} \quad (1)$$

$$M = \frac{M_0 C k a_w}{(1-ka_w)(1-ka_w+Cka_w)} \quad (2)$$

เมื่อ M = ปริมาณความชื้นที่ภาวะสมดุล (กรัมน้ำ/100 กรัม ของแข็งแห้ง)

Mo = monolayer moisture content (กรัมน้ำ/100 กรัมของแข็งแห้ง)

C, K = ค่าคงที่ของสมการ

a_w = water activity (p/p_0)

เนื่องจากขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์ อาหารประเภทที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูง ซึ่งได้แก่ แป้ง และน้ำตาล รวมถึงกลูเตนที่มีความสามารถในการดูดน้ำ ขนมปังจึงมีซอร์ฟชั่นไอโซเทอม (sorption isotherm) เป็นแบบ J shape (Type III) ดัง ปรากฏในรูปที่ 4.3 การที่ลักษณะซอร์ฟชั่นไอโซเทอม (sorption isotherm) มีรูปแบบคล้ายตัว “J” ซึ่งสอดคล้องกับ Van den Berg (1981) และ McMinn (1996) ที่สังเกตพฤติกรรมไอโซเทอร์ม Type II ในแป้งมันฝรั่งและแป้งข้าวสาลี และเจลแป้งมันฝรั่งตามลำดับ โดยทั่วไปแล้วแป้งซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของขนมปังประกอบด้วยทั้งบริเวณที่เป็นผลึกและอสัณฐาน ซ็อร์ฟชันไอโซเทอร์มของแป้งเกิดจากพันธะไฮโดรเจนของโมเลกุลของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่มีอยู่ของอาหาร กล่าวคือพันธะเหล่านี้อยู่ในบริเวณอสัณฐานและบนพื้นผิวของส่วนผลึก (Urquhart, 1959) บริเวณที่เป็นผลึกโดยทั่วไปมีความต้านทานต่อการแทรกซึมของตัวทำละลาย ดังนั้นน้ำจึงส่งผลต่อโครงสร้างที่ทำหน้าที่เป็นพลาสติไซเซอร์ (plastizicer) ของบริเวณอสัณฐาน ที่ค่า water activity ต่ำ ผลกระทบของการทำให้เป็นพลาสติกมีขนาดเล็กมาก และการเคลื่อนที่ของบริเวณอสัณฐานถูกจำกัด อย่างไรก็ตาม เมื่อ water activity เพิ่มขึ้น ความชื้นที่ดูดซับจะทำให้เกิดการบวมตัวของไบโอพอลิเมอร์ตามมา ระดับของความเป็นผลึกลดลง และกลุ่มขั้วมีสามารถจับกับ

โมเลกุลของน้ำได้มากขึ้น ในที่สุดพอลิแซ็กคาไรด์ที่พองตัวและมีบางส่วนเกิดเป็นสารละลาย (Al-Muhtaseb et al., 2004)

ไอโซเทอร์มแสดงให้เห็นว่าขนมปังสูตรควบคุมดูดความชื้นมากกว่าขนมปังสูตรอื่นที่มีการเติมสารกันเสีย รองลงมาคือขนมปังที่เติมกรดซอร์บิก กรดแอซีติก และแคลเซียมโพรพิโอเนต ตามลำดับ ความแตกต่างในการดูดความชื้นสามารถอธิบายได้จากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอบ เป็นผลมาจากการขยายตัวของก๊าซภายในที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาตรของแป้งเพิ่มขึ้น และการก่อตัวของพื้นผิวที่แห้งพร้อมๆ กัน โครงสร้างของเปลือกนอกจะหนาแน่น ความแตกต่างที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือการได้รับความร้อนที่เด่นชัดในชั้นนอก ความแตกต่างของอิทธิพลทางความร้อนเหล่านี้แสดงให้เห็นแล้วว่าส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณของโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตอีกด้วย (Lind and Rask, 1991) จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำแตกต่าง

ตารางที่ 4.15 ค่าคงที่แบบจำลองซอร์ปชันไอโซเทอร์มของขนมปังที่มีการเติมสารกันเสียแคลเวียมโพรพิโอเนต กรดแอซีติก และกรดซอร์บิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ที่อุณหภูมิห้อง 25 ± 1°C

ตัวอย่างขนมปัง	GAB model				BET model		
	M_o	C	k	%E	M_o	C	%E
ควบคุม	7.565	7.202	0.998	2.42	7.570	6.764	10.34
แคลเซียมโพรพิโอเนต	8.233	7.957	0.871	2.50	5.484	20.475	11.48
กรดแอซีติก	7.903	8.590	0.919	5.72	5.977	20.411	13.42
กรดซอร์บิก	7.676	7.941	0.949	2.37	6.392	12.195	10.88

จากตารางที่ 4.15 แบบจำลอง GAB มีความเหมาะสมในการทำนายซอร์ปชันไอโซเทอร์มของขนมปังมากกว่าแบบจำลอง BET เนื่องจาก GAB มีค่า %E ที่ต่ำกว่า และผลิตภัณฑ์ขนมปังที่เติมสารกันเสียแคลเซียมโพรพิโอเนตมีค่า *Mo* ที่คำนวณจากแบบจำลอง GAB สูงกว่าขนมปังสูตรที่เติมกรดแอซีติก กรดซอร์บิก และตัวอย่างขนมปังควบคุมตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่า M_o อาจกล่าวได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีการสารกันเสียเสถียรภาพในการเก็บรักษามากกว่าผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีเติมสารกันเสีย แสดงให้เห็นหากเก็บรักษาขนมปังในสภาวะที่มีค่า water activity หรือความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเดียวกันขนมปังสูตรควบคุมที่ไม่ได้เติมสารกันเสียจะดูดซับน้ำจากอากาศได้มากกว่าขนมปังสูตรที่เติมสารกันเสีย และขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโนเนตจะดูดน้ำได้น้อยส่งผลมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น เนื่องมีกิจกรรมของจุลินทรีย์และปฏิฏิริยานั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในอาหาร (นิธิยา,

2557) นอกจากความสามารถในการดูดซับน้ำอาจขึ้นกับ ปริมาณน้ำตาล และโครงสร้างของเนื้อขนมปัง อุณหภูมิและเวลาในการอบ เป็นต้น

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สารกันเสียที่ใช้ในการทำวิจัย ได้แก่ มีผลต่อคุณภาพด้านกายภาพและเคมีของขนมปังโดยแคลเซียม จากการทดลองพบว่าขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิเนตมีปริมาตรจำเพาะและค่าความหนืดสูงที่สุด รองลงมาคือขนมปังที่เติมกรดแอซีกติกและกรดซอร์ แต่ในทางกลับกันขนมปังที่เติมกรดซอร์บิกมีความหนาแน่น ค่าความแข็ง ค่าความเคี้ยวได้ และค่าสี (L*, a*, b*) สูงที่สุด ตามด้วยขนมปังที่เติมกรดแอซีติกและแคลเซียมโพรพิโอเนตตามลำดับ

5.1.2 การตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด และปริมาณยีสต์และรา แสดงให้เห็นว่าขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวที่สุด (12 วัน) ตามด้วยขนมปังที่เติมกรดแอซีติก (8 วัน) และกรดซอร์บิก (6 วัน) ตามลำดับ การเพิ่มความเข้มข้นของสารกันเสียส่งผลให้อายุการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ซึ่งขนมปังสูตรควบคุมจะมีอายุการเก็บรักษาที่สั้นที่สุด (4 วัน) โดยจะสังเกตุเห็นโคโลนีและเส้นใยของเชื้อราบริเวณเปลือกด้านนอกของขนมปัง

5.1.3 การเก็บรักษาขนมปังทุกสูตรและขนมปังสูตรควบคุมที่อุณหภูมิตู้เย็นทำให้ขนมปังมีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้นแต่เนื้อสัมผัสมีความแข็งกระด้าง กว่าการเก็บรักษาขนมปังที่อุณหภูมิห้องและไม่พบการเจริญของเชื้อราบนผิวของขนมปังจากการสังเกตุด้วยตาเปล่าและการทดสอบด้วยอาหารเลี้ยงเชื้อ

5.1.3 สมการ GAB สามารถใช้ในการทำนายสภาวะการเก็บรักษาของขนมปัง ในสภาวะจำลองที่ water acvity 0.11-0.84 ได้ดีกว่าสมการ BET

5.1.4 กราฟซอร์ฟชันไอโซเทร์ม แสดงให้เห้นว่าขนมปังที่เติมแคลเซียมโพรพิโอเนตความเข้มข้นร้อยละ 0.3 มีค่าความชื้นสมดุล (Monolayer moisture content) สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าขนมปังสูตรนี้มีความสามารถในการดูดซับได้น้อยกว่านขมปังสูตร เป็นผลให้อายุเก็บรักษายาวนานขึ้นเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพ และจุลินทรีย์ที่เป็นผลจากปริมาณน้ำในอาหารช้ากว่าขนมปังสูตรอื่น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาอายุการเก็บรักษาขนมปังเพิ่มเติม เช่น การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ หรือการศึกษาอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น เป็นต้น

5.2.1 การศึกษาผลของสารกันเสียที่มีต่อคุณภาพของโดของขนมปังก่อนอบจะเป้นข้อมูลที่แสดงให้เห็นประสิทธิภาพของสารกันเสียในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น ก่อนขั้นการใช้ความร้อนในการอบ

5.2.3 ควรทำการเปรียบการใช้สารกันเสียที่ได้จากธรรมชาติ เช่น การใช้ sourdough น้ำผึ้ง สารสกัดจากขิง น้ำมันงา เป็นต้น กับสารกันเสียที่เป็นสารเคมีเพื่อให้เป็นทางเลือกในการบริโภคอาหารปลอดภัยให้แก่ผู้บริโภค

เอกสารอ้างอิง

คู่มือการแปลผล 3M PetrifilmTM Aerobic Count Plate.

ดวงฤทัย ธำรงโชติ, วิภาวัน จุลยา และ รุ่งทิวา วงค์ไพศาลฤทธิ์. 2555. การพัฒนาขนมปังแซนด์วิชจากแป้งข้าว. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

ธัญญาภรณ์ ศิริเลิศ 2550. การประเมินลักษณะเนื้อสัมผัสในอาหาร. วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มิถุนายน 2549- พฤษภาคม 2550

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2557. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

อรอนงค์ นัยวิกุล. (2532). ข้าวสาลี: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ahvenainen, R. Novel Food Packaging Techniques; Woodhead Publishing: Boca Raton, FL, USA, 2003; ISBN 978-1-85573-675-7.

Ali, A., Shehzad, A., Khan, M. R., Shabbir, M.A., Amjid, M. R., 2012. Yeast, its types and role in fermentation during bread making process- A review. Pakistan Journal of Food Sciences, *22*(3), 171-179.

Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2004). Water sorption isotherms of starch powders. Journal of Food Engineering, 61(3), 297–307.

Alpers, T., Kerpes, R., Frioli, M., Nobis, A., Hoi, K. ., Bach, A., Jekle, M. and Becker, T. (2021). Impact of Storing Condition on Staling and Microbial Spoilage Behavior of Bread and Their Contribution to Prevent Food Waste. Foods, 10, 76. 1-15.

Axel, C.; Brosnan, B.; Zannini, E.; Furey, A.; Coffey, A.; Arendt, E.K. Antifungal sourdough lactic acid bacteria as biopreservation tool in quinoa and rice bread. Int. J. Food Microbiol. 2016, 239, 86–94. [CrossRef] [PubMed]

Axel, C.; Zannini, E.; Arendt, E.K. Mold spoilage of bread and its biopreservation: A review of current strategies for bread shelf life extension. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2017, 57, 3528–3542. [CrossRef] [PubMed]

Barbosa-Canovas, G.V. and Juliano, P. (2007). Desorption phenomena in food dehydration process. In Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications, G.V. Barbosa-Cánovas., A.J. Fontana, Jr., S.J. Schmidt., T.P. Labuza (eds.). IA: Blackwell Publishing Professional. pp. 313-340.

Beleggia, R., Platani, C., Nigro, F., Papa, R. (2011). Yellow pigment determination for single kernels of durum wheat (Triticum durum Desf.). Cereal Chem. 88, 504–508. doi: 10.1094/cchem-02-11-0013

Berni, E.; Scaramuzza, N. Effect of ethanol on growth of Chrysonilia sitophila ('the red bread mould') and Hyphopichia burtonii ('the chalky mould') in sliced bread. Lett. Appl. Microbiol. 2013, 57, 344–349. [CrossRef] [PubMed]

Brandolini, A., Hidalgo, A., Gabriele, S., Heun, M. (2015). Chemical composition of wild and feral diploid wheats and their bearing on domesticated wheats. J. Cereal Sci. 63, 122–127. doi: 10.1016/j.jcs.2015.03.005

Cauvain, S.P.; Young, L.S. Technology of Breadmaking; Springer Science & Business Media: New York, NY, USA, 2007; ISBN 978-0-387-38565-5.

Cauvain, S.P.; Young, L.S. Technology of Breadmaking; Springer Science & Business Media: New York, NY, USA, 2007; ISBN 978-0-387-38565-5.

Coda, R.; Cassone, A.; Rizzello, C.G.; Nionelli, L.; Cardinali, G.; Gobbetti, M. Antifungal activity of Wickerhamomyces anomalus and Lactobacillus plantarum during sourdough fermentation: Identification of novel compounds and long-term effect during storage of wheat bread. Appl. Environ. Microbiol. 2011, 77, 3484–3492. [CrossRef] [PubMed]

Coda, R.; Rizzello, C.G.; Nigro, F.; De Angelis, M.; Arnault, P.; Gobbetti, M. Long-Term Fungal Inhibitory Activity of Water-Soluble Extracts of Phaseolus vulgaris cv. Pinto and Sourdough Lactic Acid Bacteria during Bread Storage. Appl. Environ. Microbiol. 2008, 74, 7391–7398. [CrossRef] [PubMed]

Colwell, B.K.H., Axford, D.W.E., Chamberlain, N. and Elton, G.A.H. (1969). Effect of storage temperature on the aeging of concentrated wheat starch gels. J. Sci. Food Agric., 20, 550–555.

Corsetti, A.; Gobbetti, M.; De Marco, B.; Balestrieri, F.; Paoletti, F.; Russi, L.; Rossi, J. Combined effect of sourdough lactic acid bacteria and additives on bread firmness and staling. J. Agric. Food Chem. 2000, 48, 3044–3051. [CrossRef] [PubMed]

Daniel Madhvi and Pandey Hemlata, A Review on Assessment of Flour Quality Using Rheological Tests. International Journal of Advanced Scientific and Technical Research Issue 5 volume 6, September-October 2015.

Dao, T.; Dantigny, P. Control of food spoilage fungi by ethanol. Food Control 2011, 22, 360–368.

Deak, T. Handbook of Food Spoilage Yeasts, Second Edition. Available online: https://www.crcpress. com/Handbook-of-Food-Spoilage-Yeasts-Second-Edition/Deak/p/book/9781420044935 (accessed on 6 May 2017).

Dobraszczyk, B.J. (2001). Wheat and flour, pp. 100-139. In D.D.V. Dendy and B.J. Dobraszczyk, eds. Cereals Products: Chemistry and Technology. Aspen Publishers, Inc., Maryland.

European Commission. Commission Regulation (EC) No 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food. Off. J. Eur. Union 2009, L 135, 3–11.

Franci B. and S. Igor. 2011. Continuous monitoring of dough fermentation and bread baking by magnetic resonance microscopy, Magnetic Resonance Imaging, 29:434–442.

Gänzle, M.; Gobbetti, M. Physiology and Biochemistry of Lactic Acid Bacteria. In Handbook on Sourdough Biotechnology; Gobbetti, M., Gänzle, M., Eds.; Springer: Boston, MA, USA, 2013; pp. 183–216, ISBN 978-1-4614-5424-3.

Gong, S., Xie, F., Lan, X., Zhang, W., Gu, X., & Wang, Z. (2019). *Effects of Fermentation on Compositions, Color, and Functional Properties of Gelatinized Potato Flours. Journal of Food Science.* doi:10.1111/1750-3841.14837

Gray, J.A., and Bemiller, J.N. (2003). Bread staling: Molecular basis and control. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2, 1–21.

Hellen, E., Ibanoglu, S. and Ainsworth, P. (2004). Effect of femented/geminated cowpea flour addition on the rheological and baking properties of wheat flour. J. Food Eng. 63, 177-184.

Jayashree, T., Vaishali, N. and Moses, K. (2018). Preservatives used for control of fungal spoilage of bread. Int. J. of Life Sciences, Special issue, A9; January, 2018, 6-10.

Katsinis, G.; Rigas, F.; Doulia, D. Synergistic effect of chemical preservatives with ethanol on the microbial shelf life of bread by factorial design. Int. J. Food Sci. Technol. 2008, 43, 208–215.

Labuza, T.P. and Altunakar, B. (2007). Water activity prediction and moisture sorption isotherm. In Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications, G.V. Barbosa-Cánovas., A.J. Fontana, Jr., S.J. Schmidt., T.P. Labuza (eds.). IA: Blackwell Publishing Professional. pp. 109-154.

Lassoued, N., P. Babin, G. Della Valle, M.F. Devaux and A.L. Reguerre. 2007. Granulometry of bread crumb grain: contributions of 2D and 3D image analysis at different scale. Food Research International 40(8):1087–97.

Latif A, Masood, T., and Khan, H.A. (2005).Quality improvement and shelf life extension of bread. J Agric Soc Sci 1(2): 109-113, Official Methods of Analysis of AOAC International.2016.20th Method 986.33.

Lavermicocca, P.; Valerio, F.; De Bellis, P.; Sisto, A.; Leguérinel, I. Chapter 16—Sporeforming bacteria associated with bread production: Spoilage and toxigenic potential. In Food Hygiene and Toxicology in Ready-to-Eat Foods; Kotzekidou, P., Ed.; Academic Press: San Diego, CA, USA, 2016; pp. 275–293, ISBN 978-0-12-801916-0.

Lavermicocca, P.; Valerio, F.; Evidente, A.; Lazzaroni, S.; Corsetti, A.; Gobbetti, M. Purification and characterization of novel antifungal compounds from the sourdough Lactobacillus plantarum strain 21B. Appl. Environ. Microbiol. 2000, 66, 4084–4090. [CrossRef] [PubMed]

Legan, J.D.; Voysey, P.A. Yeast spoilage of bakery products and ingredients. J. Appl. Bacteriol. 1991, 70, 361–371. [CrossRef] [PubMed]

Lind, I. and Rask, C. (1991). Sorption isotherms of mixed minced meat, dough, and bread crust. Journal of Food Engineering 14 (1991) 303-315.

Magan, N.; Arroyo, M.; Aldred, D. Mould Prevention in Bread. In Bread Making: Improving Quality; Woodhead Publishing: Boca Raton, FL, USA, 2003; pp. 500–514.

McMinn, W. A. M. (1996). Transport and thermophysical property variations during the convective drying of starch materials. Ph.D. Thesis, School of Chemical Engineering, Queen's University Belfast, UK.

Melini, F.; Melini, V.; Luziatelli, F.; Ruzzi, M. Current and Forward-Looking Approaches to Technological and Nutritional Improvements of Gluten-Free Bread with Legume Flours: A Critical Review. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2017, 16, 1101–1122. [CrossRef]

Melini, V. and Melini, F., 2018. Strategies to Extend Bread and GF Bread Shelf-Life: From Sourdough to Antimicrobial Active Packaging and Nanotechnology. Fermentation. 4 (9): 1-18.

Miranda, J.; Lasa, A.; Bustamante, M.A.; Churruca, I.; Simon, E. Nutritional differences between a gluten-free diet and a diet containing equivalent products with gluten. Plant Foods Hum. Nutr. 2014, 69, 182–187. [CrossRef] [PubMed]

Moroni, A.V.; Dal Bello, F.; Arendt, E.K. Sourdough in gluten-free bread-making: An ancient technology to solve a novel issue? Food Microbiol. 2009, 26, 676–684. [CrossRef] [PubMed]

Pateras, I.M.C. Bread spoilage and staling. In Technology of Breadmaking; Springer: New York, NY, USA, 1998; pp. 240–261, ISBN 978-1-4613-5922-7.

Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on Food Additives. Available online: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX% 3A32008R1333 (accessed on 27 December 2017).

Sahlstro¨m, S., W. Park, and D. R. Shelton. 2004. Factors influencing yeast fermentation and the effect of LMW sugars and yeast fermentation on hearth bread quality. Cereal Chemistry, 81(3), 328–335.

Saranraj, P. and Sivasakthivelan, P. (2015). Microorganisms Involved in Spoilage of Bread and Its Control Measures In book: Bread and Its Fortification Nutrition and Health Benefits (pp.132 - 149) Edition: 13Chapter: 7, Editors: Cristina M. Rosell, Joanna Bajerska, Aly F. El SheikhaPublisher: CRC Press, Taylor & Fransis Group, New York, USA

Sefa-Dedeh, S., Cornelius, B., & Afoakwa, E. O. (2003). Effect of fermentation on the quality characteristics of nixtamalized corn. Food Research International, 36, 57–64.

Shehzad, A., L. Chaunier, H. Chiron, G. Della Valle, M. Ducasse, D. Lourdin, A- L. Reguerre and L. Saulnier. 2011. Processing doughs for bread with improved nutritional properties to incorporation of dietary fibers. Pakistan Journal of Food Sciences, 21(1-4): 56-66.

Slade, L. and Levine, H. (1987). **Recent Advances in Starch Retrogradation. In Industrial Polysaccharides**: The Impact of Biotechnology and Advanced Methodologies; Gordon & Breach Science Publishers, Inc.: London, UK, pp. 387–430.

Suhr, K.I.; Nielsen, P.V. Effect of weak acid preservatives on growth of bakery product spoilage fungi at different water activities and pH values. Int. J. Food Microbiol. 2004, 95, 67–78. [CrossRef] [PubMed]

Tait, M.J., Ablett, S. and Wood, F.W. (1972). The binding of water on starch, an NMR investigation. J. Colloid Interf Sci. 41(3): 594-603.

T**arar,** O. M., R**ehman,** S., M**ueen**-U**d-,** G., M**urtaza,** M. A. (2010)**. Studies on the shelf life of bread using acidulants and their salts.** Turkish Journal Of Biology**,** 34**,** 133-138**.**

Timmermann, E.O., Chirife, J. and Iglesias, H.A. (2001). Water sorption isotherms of foods and foodstuffs: BET or GAB parameters?. J Food Eng. 48:19-31.

Urquhart, A. R. (1959). Sorption of water by cellulose and starch. In J. Honeyman (Ed.), Recent advances in the chemistry of cellulose and starch (pp. 240–264). London: Heywood & Company.

Vagelas, I., Gougoulias, N., Nedesca, E.-D., Liviu, G. (2011). Bread contamination with fungus. Carpathian Journal of Food Science and Technology, 3(2), 1-6.

Valerio, F.; De Bellis, P.; Di Biase, M.; Lonigro, S.L.; Giussani, B.; Visconti, A.; Lavermicocca, P.; Sisto, A. Diversity of spore-forming bacteria and identification of Bacillus amyloliquefaciens as a species frequently associated with the ropy spoilage of bread. Int. J. Food Microbiol. 2012, 156, 278–285. [CrossRef] [PubMed]

Valle, G. D., Chiron, H., Cicerelli, L. (2014). Basic knowledge models for the design of bread texture. Trends in Food Science and Technology, vol. 36, no. 1, pp. 5–14.

Van den Berg, C., & Bruin, S. (1981). Water activity and its estimation in food systems. In L. B. Rockland, & G. F. Stewart (Eds.), Water activity: influences on food quality (pp. 147–177). New York: Academic Press.

Yuliana, N., Nurdjanah, S., Sugiharto, R., & Amethy, D. (2017). Effect of spontaneous lactic acid fermentation on physico-chemical properties of sweet potato flour. Microbiology Indonesia, 8, 1–8.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การผลิตขนมปังขาว

กรรมวิธีการผลิตขนมปังขาว

1. ชั่งส่วนผสมตามสัดส่วนที่ใช้ในสูตรการผลิต โดยมีการเติมสารกันเสีย ได้แก่ แคลเซียมโพรพิโอเนท, กรดแอซีติก และกรดซอร์บิก ที่ร้อยละ 0.1, 0.2 และ 0.3
2. ผสมส่วนผสมต่างๆ ในเครื่องนวดแป้งแบบ 2 แขน เป็นเวลา 15 นาที
3. เมื่อครบเวลาจะได้ก้อนโดที่เรียบเนียน ยืดหยุ่น ไม่เหนียวติดมือ และสามารถให้ทำการยืดเป็นแผ่นบางได้โดยไม่ขาดง่าย
4. นำโดออกจากเครื่องทำการยืดแป้งและคลึงเป็นกลมก้อนจากนั้นพักไว้ 10 นาที ในภาชนะที่ปิดด้วยฟิล์มห่ออาหารใสเพื่อกันแป้งแห้ง
5. แบ่งโดเป็นก้อน น้ำหนักก้อนละ 120 กรัม
6. รีดเป็นแผ่นด้วยไม้คลึงแป้ง แล้วพับเป็นเป็น 3 ส่วน เข้าหากันตรงกลาง จากนั้นพักโดในกล่องปิดสนิทเพื่อป้องกันโดแห้ง 10 นาที
7. จากนั้นคลึงโดด้วยไม้คลึงแป้งให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้วม้วนเป็นท่อนกลม ความกว้างเท่าขนาดความยาวของพิมพ์ กดด้านริมก้อนโดให้ตะเข็บปิดสนิท
8. วางในพิมพ์อะลูมิเนียมขนาด 10x5x5 นิ้ว โดยให้ตะเข็บอยู่ด้านล่าง
9. บ่มให้ขึ้นฟูที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 75% เป็นเวลา 50 นาที
10. แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
11. นำขนมปังออกจากเตาอบ แกะออกจากแม่พิมพ์ พักให้เย็นบนตะแกรงที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 ชั่วโมง
12. เก็บขนมปังที่เย็นแล้วใส่ถุงพลาสติกและปิดด้วยยางรัดของ เพื่อการวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ต่อไป

แผนภูมิที่ ก.1 กระบวนการผลิตขนมปังขาว

ภาคผนวก ข

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ใบรายการทดสอบความชอบ

เรื่อง การให้คะแนนความชอบ

ผลิตภัณฑ์ ขนมปังขาว (สูตรพื้นฐาน)

วันที่..... เวลา.....ชุดที่.....

คำแนะนำ: กรุณาทดสอบตัวอย่างทั้งหมด 4 ตัวอย่างที่เสนอให้จากซ้ายไปขวา โดยทำการทดสอบทีละตัวอย่าง(กรุณาบ้วนปากก่อนชิมตัวอย่าทุกครั้ง) พร้อมกับให้คะแนนความชอบตัวอย่างตามคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์

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

คุณลักษณะประสาทสัมผัส	คะแนนความชอบ			
	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....	รหัส.....
ลักษณะที่ปรากฏ				
สี				
กลิ่น				
รสชาติ				
กลิ่นรส				
เนื้อสัมผัส (ความกรอบ)				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ:

.....

.....

ขอขอบคุณสำหรับความร่วมมือในการตอบคำถาม

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี

การทดสอบปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่น
(Hathorn et al., 2008)

อุปกรณ์

1. กระบอกวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
2. งา
3. คีมคีบ
4. เครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำหนักขนมปังที่จะตรวจสอบปริมาตร
2. นำขนมปังใส่ลงในภาชนะที่ทราบปริมาตร และเติมเมล็ดงาให้เต็มภาชนะ
3. จากนั้นทำการวัดปริมาตรเมล็ดงาที่เติมลงไปทั้งหมดด้วยกระบอกตวง
4. คำนวณหาปริมาตรของขนมปัง ปริมาตรจำเพาะและความหนาแน่นของขนมปัง ดังสมการที่ (1)-(3) ตามลำดับ

สูตรการคำนวณ

$$\text{ปริมาตรของขนมปัง } (cm^3) = \frac{\text{ปริมาตรของภาชนะ}}{\text{ปริมาตรของเมล็ดงาที่เติมในภาชนะ}} \quad (1)$$

$$\text{ปริมาตรจำเพาะของขนมปัง } (cm^3/g) = \frac{\text{ปริมาตรของขนมปัง}}{\text{น้ำหนักของขนมปัง}} \quad (2)$$

$$\text{ความหนาแน่นของขนมปัง } (g/cm^3) = \frac{\text{น้ำหนักของขนมปัง}}{\text{ปริมาตรของขนมปัง}} \quad (3)$$

ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อนไฟฟ้า (Hot air oven)
2. โถดูดความชื้น (desiccator)
3. ภาชนะอะลูมิเนียมสำหรับหาความชื้น (moisture can)
4. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด 4 ตำแหน่ง

วิธีการ

1. อบภาชนะ สำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็รเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง
2. ทำเช่นเดียวกันกับข้อ 1 จนได้ผลต่างน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
3. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาความชื้นให้ได้น้ำหนักแน่นอน 1-2 กรัม ใส่ลงในภาชนะหาความชื้นที่ทราบน้ำหนักแน่นนอนนำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 5-6 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนักภาชนะพร้อมตัวอย่าง
4. อบซ้ำจนได้ผลต่างน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม
5. ทำการคำนวณปริมาณความชื้น

สูตรการคำนวณ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อบอบและหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}} \times 100$$

การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis, TPA)

(ดัดแปลงจาก Huttner et al., 2010)

ทำการทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (TA-XT2i, Stable Micro Systems) ตัดขนมปังให้มีขนาด 25x25x25 mm3 โดยวัดจากกึ่งกลางของขนมปัง ทำการกด 2 ครั้ง ด้วยหัววัดทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร กำหนดสภาวะในการทำงานของเครื่อง Texture analyser ได้แก่ pre-test speed 1 mm/sec, test speed 1 mm/sec, post-test speed 1 mm/sec, distance 40% ทำการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปัง ด้านค่าความแข็ง (Hardness) ค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) และค่าความยืดหยุ่น (springiness) โดย

- ค่าความแข็ง (Hardness) (F1) คือ แรงสูงสุดที่เกิดขึ้นระหว่างการกดหรือเทียบได้กับการเคี้ยวครั้งแรก มีหน่วยเป็นหน่วยของแรง
- ค่าความเคี้ยวได้ (Chewiness) คือ พลังงานที่ใช้ในการเคี้ยวอาหารโดยคำนวณจาก

  Chewiness=gumminess x springiness หรือ

  Chewiness =hardness x cohesiveness x springiness

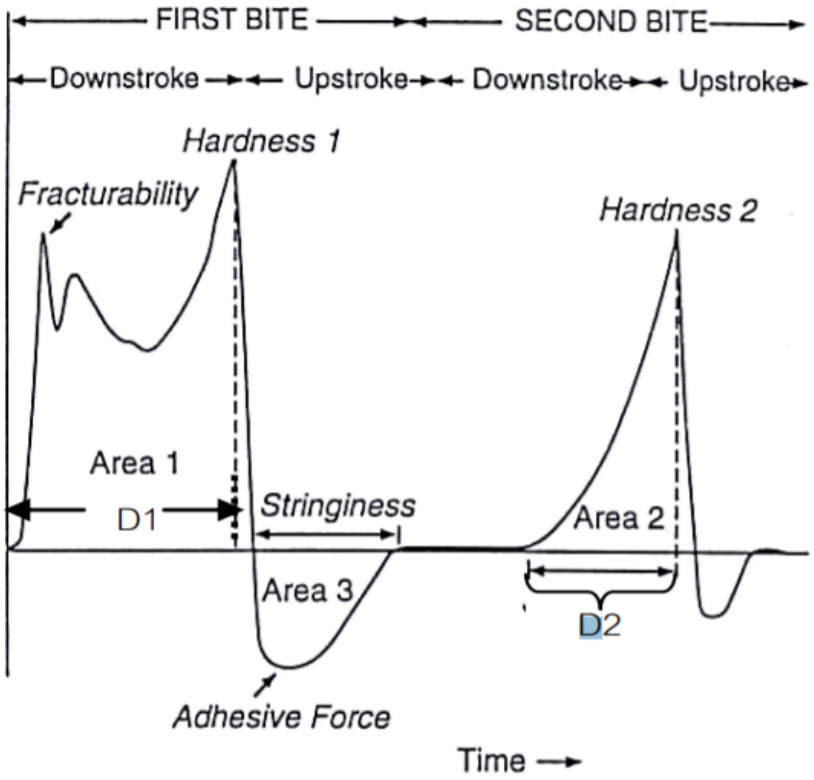
  ซึ่ง gumminess คือ พลังงานที่ทำให้อาหารกึ่งของแข็ง ซึ่งมีค่าความแข็งน้อย (hardness) แต่พลังงานยึดเกาะกันภายใน (cohesiveness) สูง แตกออกจนสามารถกลืนได้

  Gumminness = hardness x cohesiveness

  และ Cohesiveness คือ พลังงานยึดเกาะกันภายในเนื้ออาหาร หาได้จาก อัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟส่วนที่เป็นค่าบวกของการกดหรือการเคี้ยวครั้งที่ 2 (Area 2) และครั้งที่ 1 (Area 1)

  Cohesiveness = Area 2/Area 1
- ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) คือ เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถในการคืนตัวของตัวอย่างหลังการเสียรูปจากการกดครั้งแรก (เดิมเรียกว่า elasticity) ค่านี้สามารถอธิบายได้หลายแบบ ที่นิยมคืออธิบายในรูปของอัตราส่วนของระยะเวลา หรือระยะทางที่วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างที่วัดได้จากการกดถึงแรงสูงสุดครั้งที่สองต่อค่าดังกล่าวของตัวอย่างที่วัดได้จากการกดครั้งแรก คำนวณจาก

  Springiness = D2/D1



ภาพที่ ค.1 กราฟที่ได้จากการทำ Texture Profile Analysis

ที่มา: ธัญญาภรณ์ (2550)

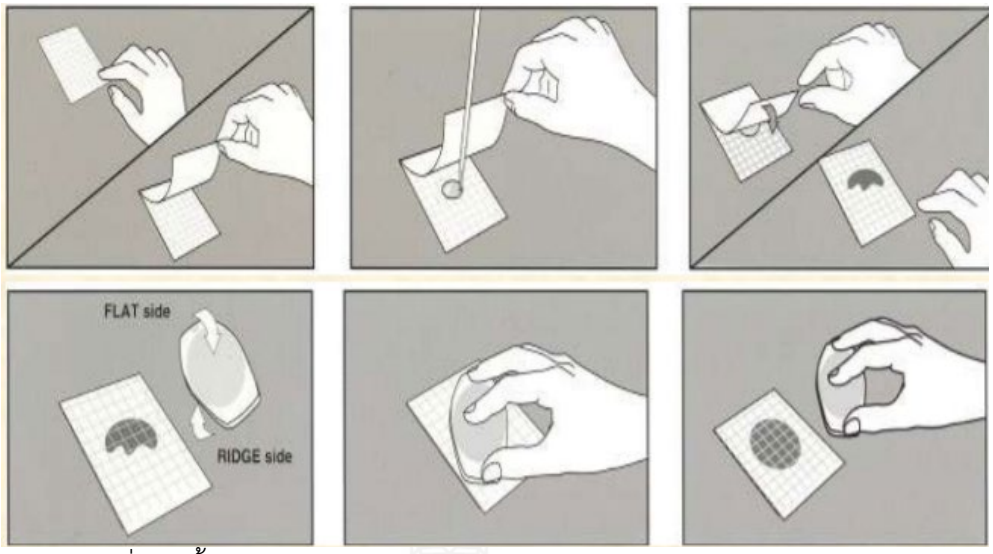
ภาคผนวก ง

การตรวจสอบทางจุลชีววิทยา

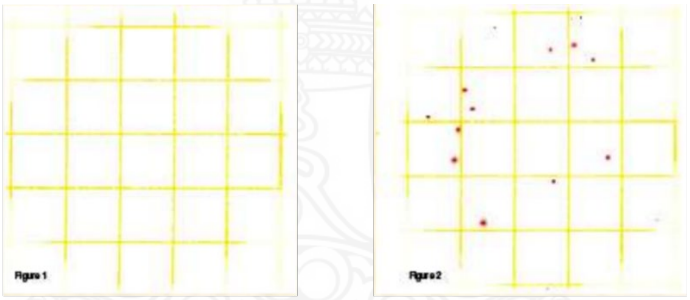
การตรวจสอบปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด (total plate count) และยีสต์และรา (Yeast and mold) โดยวิธี Pour plate บน 3M Petrifilm : Aerobic Count Plate / Yeats & Mould

วิธีการดัดแปลงวิธีการหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ และยีสต์กับรา ด้วยเทคนิค Petrifilm จากวิธีมาตรฐาน Official Method of Analysis of AOAC International. 2012.19th Method 986.33 โดยมีขั้นตอน (ภาพที่ ง.1) ดังนี้

1. ใช้ชั่งตัวอย่างขนมปังที่บดเป็นขิ้นขนาดเล็ก 25 กรัม ใส่ลงใน Butterfield’s Phosphate Buffered ปริมาณ 250 มิลลิลิตร ในถุง Stomacher bag แล้วนำไปตีบดตัวอย่างด้วยเครื่องตีบดผสมตัวอย่าง (Stomacher) 5 นาที ตัวอย่างที่ได้จะถูกเจือจางลง 10 เท่า หรือเรียกว่าเป็น dilution 1:10 หรือ 10-1 จากนั้นใช้ปิเปตดูดตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Butterfield’s Phosphate Buffered ปริมาณ 9 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้ vortex mixer ให้เข้ากันโดยใช้ vortex mixer เจือจางตัวอย่างลงไปครั้งละ 10 เท่า จนได้ความเจือจาง (dilution) ที่ต้องการปกติในขนมปังจะทำที่ 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3} และ 10^{-4}
2. วางแผ่น 3M petrifilm : Aerobic Count Plate บนพื้นราบ เปิดแผ่นฟิล์มแผ่นบนขึ้น
3. ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างจาก dilution ที่ต้องการมา 1 มิลลิลิตร หยดลงตรงกลางแผ่นฟิล์มแผ่นล่างให้ปิเปตตั้งฉากกับแผ่น 3M petrifilm : Aerobic Count Plate ค่อยๆ ปล่อยแผ่นฟิล์มแผ่นบนลงมา ระวังอย่าให้ เกิดฟองอากาศ วางตัวกด (Spreader) โดยให้ด้านที่มีขอบคว่ำหน้าลงสัมผัสแผ่นฟิล์มแผ่นบนให้ส่วนวงกลม ครอบบริเวณที่หยดตัวอย่าง
4. นำแผ่น 3M petrifilm : Aerobic Count Plate บ่มที่อุณหภูมิ 35±2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48±2 ชั่วโมง โดยให้ด้านใสอยู่ด้านบน สามารถซ้อนแผ่นได้ไม่เกิน 20 แผ่น
5. โคโลนีถูกย้อมด้วยสีย้อมสีแดงในแผ่น นับจำนวนโคโลนีที่มีสีแดงทั้งหมด ไม่ว่าจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ สีเข้มหรือสีจางโดยจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 25-250 โคโลนี แล้วนำมาคำนวณรายงานผลเป็น cfu/ml (จำนวน โคโลนี × Dilution Factor) แสดงผลดังภาพที่ ง.2

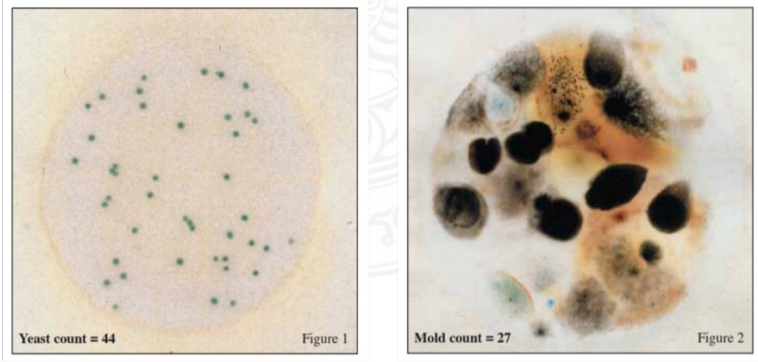


ภาพที่ ง.1 ขั้นตอนการตรวจสอบจุลินทรีย์ / ยีสต์และรา ด้วยใช้ 3M Petrifilm



(ก) ไม่มีโคโลนีของจุลินทรีย์ **(ข) ไม่มีโคโลนีของแบคทีเรียเล็กน้อย**

ภาพที่ 11 ลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียที่เกิดขึ้น



(ก) ลักษณะโคโลนีของยีสต์ **(ก) ลักษณะโคโลนีของรา**

ภาพที่ ง.2 ลักษณะโคโลนีของยีสต์และราที่เกิดขึ้น

ภาคผนวก จ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน มผช. ๗๔๗/๒๕๕๕

ขนมปัง (Bread)

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมปัง
(มผช. ๗๔๗/๒๕๕๕)

๑. ขอบข่าย

๑.๑ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะขนมปังที่ไม่มีไส้ และบรรจุในภาชนะบรรจุ โดยไม่ครอบคลุมขนมปังที่มีการปรุงแต่งหน้า

๒. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้มีดังต่อไปนี้

๒.๑ ขนมปัง หมายถึง ขนมอบชนิดหนึ่งที่ทำจากแป้งสาลีหรือแป้งสาลีผสมแป้งชนิดอื่น น้ำ เกลือ ยีสต์หรือสารที่ช่วยทำให้ขึ้นฟูและส่วนผสมอื่น เช่น น้ำตาล นม ไขมัน วัตถุแต่งกลิ่นรส นวดผสมให้เข้ากัน อาจมีส่วนประกอบอื่นผสมในเนื้อแป้ง เช่น ธัญพืช ผลไม้แห้ง ช็อกโกเลต ผักหรือพืชสมุนไพร ทำให้เป็นรูปทรงที่ต้องการโดยการปั้นหรือใส่ในพิมพ์หมักจนได้ที่ แล้วนำไปอบจนสุก มีลักษณะรูปทรงต่างๆ เช่น สี่เหลี่ยม เป็นก้อนกลม และรูปทรงอื่นๆ เช่น ขนมปังปอนด์ขนมปังกะโหลก ขนมปังโฮลวีท ขนมปังนม ขนมปังฝรั่งเศส ครัวซองต์

๓. คุณลักษณะที่ต้องการ

๓.๑ ลักษณะทั่วไป

ต้องมีรูปทรงที่ดีตามลักษณะของขนมปังนั้น ไม่ไหม้เกรียม หากมีการตัดเป็นแผ่นต้องมีความหนาใกล้เคียงกัน ขอบเรียบ ไม่เป็นขุย หากมีส่วนประกอบอื่นในเนื้อแป้งต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลากการทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

๓.๒ ลักษณะเนื้อสัมผัส

ต้องมีเนื้อภายในเหนียวนุ่ม ยืดหยุ่น และไม่แห้งหรือแข็งกระด้าง ส่วนผิวด้านนอกต้องเป็นไปตามลักษณะเฉพาะของขนมปังนั้น

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจและชิม

๓.๓ สี

ต้องมีสีตามธรรมชาติของขนมปังและส่วนประกอบที่ใช้

๓.๔ กลิ่นรส

ต้องมีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของขนมปังและส่วนประกอบที่ใช้ไม่มีกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน

เมื่อตรวจสอบโดยวิธีให้คะแนนตามข้อ ๘.๑ แล้ว ต้องไม่มีลักษณะใดได้ ๑ คะแนน จากผู้ตรวจสอบคนใดคนหนึ่ง

๓.๕ สิ่งแปลกปลอม

ต้องไม่พบสิ่งแปลกปลอมทไม่ ใช่ส่วนประกอบที่ใช้ เช่น เส้นผม ดิน ทราย กรวด ชิ้นส่วนหรือสิ่งปฏิกูลจากสัตว์

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

๓.๖ วัตถุเจือปนอาหาร

หากมีการใช้สีและวัตถุกันเสีย ให้ใช้ได้ตามชนิดและปริมาณที่กฎหมายกำหนดการทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า

๓.๗ จุลินทรีย์

๓.๗.๑ จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด ต้องน้อยกว่า ๑ × ๑๐^{๔} โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

๓.๗.๒ แซลโมเนลลา ต้องไม่พบในตัวอย่าง ๒๕ กรัม

๓.๗.๓ สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส ต้องน้อยกว่า ๑๐ โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

๓.๗.๔ บาซิลลัส ซีเรียส ต้องไมเกิน ๑๐๐ โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

๓.๗.๕ คลอสทริเดียม เพอร์ฟริงเจนส์ต้องไม่เกิน ๑๐๐ โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

๓.๗.๖ เอสเชอริเชีย โคไล โดยวิธีเอ็มพีเอ็น ต้องน้อยกว่า ๓ ต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

๓.๗.๗ ยีสต์และรา ต้องน้อยกกว่า ๑๐๐ โคโลนีต่อตัวอย่าง ๑ กรัม

การทดสอบให้ปฏิบัติตาม AOAC หรือ BAM (U.S.FDA) หรือวิธีทดสอบอื่นที่เทียบเท่า

๔. สุขลักษณะ

๔.๑ สุขลักษณะในการทำขนมปัง สถานประกอบการต้องได้รับอนุญาตจากกระทรวงสาธารณสุข และให้เป็นไปตามคำแนะนำตามภาคผนวก ก.

๕. การบรรจุ

๕.๑ ให้บรรจุขนมปังในภาชนะบรรจุที่สะอาด ปิดได้สนิท และสามารถป้องกันสิ่งปนเปื้อนจากภายนอกได้

การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

๕.๒ น้ำหนักสุทธิของขนมปังในแต่ละภาชนะบรรจุต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

การทดสอบให้ใช้เครื่องชั่งที่เหมาะสม

๖. เครื่องหมายและฉลาก

๖.๑ ที่ภาชนะบรรจุขนมปังทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(๑) ชื่อผลิตภัณฑ์ (ตาม มผช.) อาจตามด้วยชื่อเรียกผลิตภัณฑ์ เช่น ขนมปังกะโหลก ขนมปังนม ขนมปังแซนด์วิช

(๒) ส่วนประกอบที่สำคัญ เป็นร้อยละของน้ำหนักโดยประมาณและเรียงจากมากไปน้อย

(๓) กรณีใช้วัตถุกันเสียให้ระบุข้อความว่า “ใช้วัตถุกันเสีย”

(๔) น้ำหนักสุทธิเป็นกรัมหรือกิโลกรัม

(๕) วัน เดือน ปีที่ทำ และวัน เดือน ปีที่หมดอายุหรือข้อความว่า “ควรบริโภคก่อน (วัน เดือน ปี)”

(๖) ข้อแนะนำในการเก็บรักษา (ถ้ามี)

(๗) เลขสารบบอาหาร

(๘) ชื่อผู้ทำหรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าทจดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

๗. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

๗.๑ รุ่น ในที่นี้หมายถึง ขนมปังที่มีส่วนประกอบเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ในระยะเวลาเดียวกัน

๗.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

๗.๒.๑ การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป ลักษณะเนื้อสัมผัส สีกลิ่น รส สิ่งแปลกปลอม การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุเมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๑ ถงขึ อ้ ๓.๕ ขอ้ ๕. และข้อ ๖. จึงจะถือว่าขนมปังรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบวัตถุเจือปนอาหาร ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุ เพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า ๓๐๐ กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มีน้ำหนักรวม ตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๖ จึงจะถือว่าขนมปังรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๓ การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบจุลินทรีย์ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันจำนวน ๓ หน่วยภาชนะบรรจุเพื่อทำเป็นตัวอย่างรวม โดยมีน้ำหนักรวมไม่น้อยกว่า ๓๐๐ กรัม กรณีตัวอย่างไม่พอให้ชักตัวอย่างเพิ่มโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกันให้ได้ตัวอย่างที่มี

น้ำหนักรวมตามที่กำหนด เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๓.๗ จึงจะถือว่าขนมปังรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๓ เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างขนมปังต้องเป็นไปตามข้อ ๗.๒.๑ ข้อ ๗.๒.๒ และข้อ ๗.๒.๓ ทุกข้อ จึงจะถือว่าขนมปังรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

๘. การทดสอบ

๘.๑ การทดสอบสีและกลิ่นรส

๘.๑.๑ ให้แต่งตั้งคณะผู้ตรวจสอบ ประกอบด้วยผู้ที่มีความชำนาญในการตรวจสอบขนมปังอย่างน้อย ๕ คน แต่ละคนจะแยกกันตรวจและให้คะแนนโดยอิสระ

๘.๑.๒ วางตัวอย่างขนมปังลงบนจานกระเบื้องสีขาว ตรวจสอบโดยการตรวจพินิจและชิม

๘.๑.๓ หลักเกณฑ์การให้คะแนน ให้เป็นไปตามตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ หลักเกณฑ์การให้คะแนน

(ข้อ ๘.๑.๓)

ลักษณะที่ตรวจสอบ	ระดับการตัดสิน	คะแนนที่ได้รับ
สี	สีดีตามธรรมชาติของขนมปังและส่วนประกอบที่ใช้	๓
	สีพอใช้ใกล้เคียงกับสีตามธรรมชาติของขนมปังและส่วนประกอบที่ใช้	๒
	สีผิดปกติหรือมีการเปลี่ยนสี	๑
กลิ่นรส	กลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติของขนมปังและส่วนประกอบที่ใช้	๓
	กลิ่นรสพอใช้ใกล้เคียงกับกลิ่นรสตามธรรมชาติของขนมปังและส่วนประกอบที่ใช้	๒
	กลิ่นรสผิดปกติหรือมีกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ เช่น กลิ่นอับ กลิ่นหืน	๑

ภาคผนวก ก.

สุขลักษณะ

(ข้อ ๔.๑)

ก.๑ สถานที่ตั้งและอาคารที่ทำ

ก.๑.๑ สถานที่ตั้งตัวอาคารและที่ใกล้เคียง อยู่ในที่ที่จะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ง่าย โดย

ก.๑.๑.๑ สถานที่ตั้งตัวอาคารและบริเวณโดยรอบ สะอาด ไม่มีน้ำขัง แฉะ และสกปรก

ก.๑.๑.๒ อยู่ห่างจากบริเวณหรือสถานที่ที่มีฝุ่น เขม่า ควัน

ก.๑.๑.๓ ไม่อยู่ใกล้เคียงกับสถานที่น่ารังเกียจ เช่น บริเวณเพาะเลี้ยงสัตว์แหล่งเก็บหรือกำจัดขยะ

ก.๑.๒ อาคารที่ทำมีขนาดเหมาะสม มีการออกแบบและก่อสร้างในลักษณะที่ง่ายแก่การบำรุงรักษา การทำความสะอาด และสะดวกในการปฏิบัติงาน โดย

ก.๑.๒.๑ พื้น ฝาผนัง และเพดานของอาคารที่ทำ ก่อสร้างด้วยวัสดุที่คงทน เรียบ ทำความสะอาด และซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่ดีตลอดเวลา

ก.๑.๒.๒ แยกบริเวณที่ทำออกเป็นสัดส่วน สำหรับวัตถุดิบ วัสดุบรรจุ ผลิตภัณฑ์รอการบรรจุ และผลิตภัณฑ์สาเร็จรูป ไม่อยู่ใกล้ห้องสุขาซึ่งเปิดสู่บริเวณที่ทาโดยตรง ไม่มีสิ่งของที่ไม่ใช้แล้วหรือไม่เกี่ยวข้องกับการทาอยู่ในบริเวณที่ทำ

ก.๑.๒.๓ พื้นที่ปฏิบัติงานไม่แออัด มีแสงสว่างเพียงพอ และมีการระบายอากาศที่เหมาะสม

ก.๑.๒.๔ หองสุ้วขา อางล้ามือมีจำนวนเหมาะสม มีอุปกรณ์เครื่องใช้สำหรับทาความสะอาดหรือฆ่าเชื้อโรค

ก.๒ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ในการทำ

ก.๒.๑ ภาชนะหรืออุปกรณ์ในการทำที่สัมผัสกับผลิตภัณฑ์ ทำจากวัสดุมีผิวเรียบ ไม่เป็นสนิม ล้างทำความสะอาดได้ง่าย

ก.๒.๒ เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ สะอาด ก่อนและหลังการใช้งานต้องทำความสะอาดเหมาะสมกับการใช้งาน ไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อน ติดตั้งได้ง่าย มีปริมาณเพียงพอ รวมทั้งสามารถทำความสะอาดได้ง่ายและทวถึง และเก็บไว้ในที่เหมาะสม

ก.๓ การควบคุมกระบวนการทำ

ก.๓.๑ วัตถุดิบและส่วนผสมในการทำต้องสะอาด มีคุณภาพดีได้จากแหล่งที่เชื่อถือได้ปลอดภัย จัดเก็บในภาชนะสะอาด ป้องกันการปนเปื้อนได้แยกเก็บเป็นสัดส่วน

ก.๓.๒ การทำ การเก็บรักษา การขนย้าย และการขนส่ง ให้มีการป้องกันการปนเปื้อนและการเสื่อมเสียของผลิตภัณฑ์

ก.๓.๓ เครื่องชั่งที่ใช้ต้องตรวจสอบได้เที่ยงตรง

ก.๔ การสุขาภิบาล การบำรุงรักษา และการทำความสะอาด

ก.๔.๑ น้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดเครื่องมือ เครื่องจักร อุปกรณ์และมือของผู้ทำ เป็นน้ำสะอาดและมีปริมาณเพียงพอ

ก.๔.๒ มีวิธีการป้องกันและกำจัดสัตว์นำเชื้อ แมลง และฝุ่นผงในบริเวณที่ทำตามความเหมาะสม

ก.๔.๓ มีวิธีการป้องกันไม่ให้สัตว์เลี้ยง เช่น สุนัข แมว เข้าไปในบริเวณที่ทำ

ก.๔.๔ มีการกำจัดขยะสิ่งสกปรก และน้ำทิ้ง อย่างเหมาะสม เพื่อไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนกลับลงสู่ผลิตภัณฑ์

ก.๔.๕ สารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาด และใช้กำจัดสัตว์นำเชื้อและแมลง ใช้ในปริมาณที่เหมาะสม และเก็บแยกจากบริเวณที่ทำ เพื่อไม่ให้ปนเปื้อนลงสู่ผลิตภัณฑ์ได้

ก.๕ บุคลากรและสุขลักษณะของผู้ทำ

ก.๕.๑ ผู้ทำทุกคน ต้องมีสุขภาพดีทั้งร่างกายและจิตใจ รักษาความสะอาดส่วนบุคคลให้ดีเช่น สวมเสื้อผ้าที่สะอาด มีผ้าคลุมผมเพื่อป้องกันไม่ให้เส้นผมหล่นลงในผลิตภัณฑ์ไม่ไว้เล็บยาว ล้างมือให้สะอาดทุกครั้งก่อนปฏิบัติงาน หลังการใช้ห้องสุขา และเมื่อมือสกปรก

ก.๕.๒ ผู้ทำทุกคน ต้องไม่กระทำการใดๆ ที่ไม่ถูกสุขลักษณะในสถานที่ทำ เช่น รับประทานอาหาร สูบบุหรี่

ประวัติย่อผู้วิจัย

<u>หัวหน้าโครงการ</u>

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาว ศุภัคษร มาแสวง

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Supuksorn Masavang

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 34401000[redacted]

3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
   คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

   - ตำแหน่งบริหาร ไม่มี
   - ตำแหน่งทางวิชาการ ไม่มี

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

   หน่วยงาน : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

   เบอร์โทร : 0616353997

   ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) : supuksorn.m@rmupth.ac.th
   S_masavang@hotmail.com

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	คุณวุฒิ/สาขาวิชา	สถาบันอุดมศึกษา	ปีที่สำเร็จ
ปริญญาเอก	Ph D. in Food processing biotechnology	Université de Bourgogne Franche-Comté	2562
ปริญญาโท	วท.ม. (เทคโนโลยีการอาหาร)	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2551
ปริญญาตรี	วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพ)	มหาวิทยาลัยมหิดล	2545

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   - เคมีอาหาร

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

7.3 ผู้ร่วมวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย

7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

Tanpong Chaiwarit, Supuksorn Masavang, Joaquim Mahe, Sarana Sommano, Warintorn Ruksiriwanich, Claire-Hélène Brachais, Odile Chambin, Pensak Jantrawut, 2020, Mango (cv. Nam Dokmai) peel as a source of pectin and its potential use as a film-forming polymer, Food Hydrocolloids, Volume 102, 105611, Pages 1-8.

Supuksorn Masavang, Gaëlle Roudaut, Dominique Champion, 2019, Identification of complex glass transition phenomena by DSC in expanded cereal-based food extrudates: Impact of plasticization by water and sucrose, Journal of Food Engineering, Volume 245, Pages 43-52.

7.5 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาว วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Woralak Panyathitipong
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 6601 00[redacted]
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
   คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
   มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
   - ตำแหน่งบริหาร ไม่มี
   - ตำแหน่งทางวิชาการ ไม่มี
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

หน่วยงาน : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
เบอร์โทร : 089 8913433
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) : woralak.p@rmutp.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	คุณวุฒิ/สาขาวิชา	สถาบันอุดมศึกษา	ปีที่สำเร็จ
ปริญญาเอก	Ph D. (Food Science)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2554
ปริญญาโท	วท.ม. (วิทยาศาสตร์การอาหาร)	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2545
ปริญญาตรี	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)	สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม	2542

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   - เคมีอาหาร
   - กระบวนการแปรรูปอาหาร

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

7.3 ผู้ร่วมวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย

7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

มณี ภาชนะทอง วไลภรณ์ สุทธา และวรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์. 2561. การใช้ความร้อนระดับครัวเรือนเพื่อปรับปรุงคุณภาพของมะขามหวาน. **วารสารวิชากการและวิจัย มทร.พระนคร**. 12: 102-112.

วรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์ และจุฑามาศ พีรพัชระ. 2559. การใช้คาร์บอกซิลเมทธิลเซลลูโลสในการปรับปรุงคุณภาพขนมปังที่ใช้เนื้อตาลสุกทดแทนแป้งสาลีบางส่วน. **วารสารวิจัยสหวิทยาการ.** 11: 8-15.

จุฑามาศ พีรพัชระ และวรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์. 2559. การใช้ประโยชน์จากเนื้อตาลสุกของชุมชนจังหวัดเพชรบุรีเพื่อผลิตขนมปัง. **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร.** 10: 168-178.

อินท์ธีมา หิรัญอัครวงศ์ และวรลักษณ์ ปัญญาธิติพงศ์. 2558. การใช้ประโยชน์จากน้ำตาลสดในผลิตภัณฑ์วุ้นกรอบ. **วารสารวิชาการ มทร.สุวรรณภูมิ.** 3: 109-119.

Puechkamut, Y. and Panyathitipong, W. 2012. Characteristics of proteins from fresh and dried residues of soy milk production. **Kasetsart J. (Nat. Sci).** 46: 804-811.

Sanboonsong, S., Panyathitipong, W. and Puttongsiri, T. 2015. Optimization of medium components for production bacterial cellulose by response surface methodology. **Proceeding of 14th Asean Food Conference**. The bigger picture: One Asean through food technology. FCMA-027.

7.5 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

ประวัติผู้ร่วมวิจัย (ต่อ)

1. ชื่อ- สกุล (ภาษาไทย) **นางสาวดวงกมล ตั้งสถิตพร**

(ภาษาอังกฤษ) Miss DUANGKAMOL TUNGSATITPORN

2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 1 9204 00[redacted]

3. ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานมหาวิทยาลัย

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

4. หน่วยงานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ E-mail

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 168 ถนนศรีอยุธยาแขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กรุงเทพฯ. 10300 โทรศัพท์ 0-2281 9231-4 ต่อ 6201 โทรสาร 0-2282-4490

E-mail : duangkamol.t@rmutp.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	คุณวุฒิ/สาขาวิชา	สถาบันอุดมศึกษา	ปีที่สำเร็จ
ปริญญาโท	วท.ม./พัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2553
ปริญญาตรี	คศ.บ./อาหารและโภชนาการ-พัฒนาผลิตภัณฑ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร	2550

6. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) พัฒนาผลิตภัณฑ์ สาขาวิทยาศาสตร์เคมี อาหารและเคมีอาหาร

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย เป็นต้น

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย -

7.2หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

ชื่อผลงาน	สถานภาพ	แหล่งทุน/ปี
การแปรรูปผลิตภัณฑ์สบู่เหลวผสมเยื่อกล้วย	**หัวหน้าโครงการ**	2557

ชื่อผลงาน	สถานภาพ	แหล่งทุน/ปี
การประยุกต์ใช้เมล็ดแตงโมที่เหลือทิ้งทดแทนถั่วลิสงในการผลิตอาหารไทย	**หัวหน้าโครงการ** โครงการวิจัย	2557-2558
การพัฒนาศักยภาพเม็ดขนุนในผลิตภัณฑ์อาหาร	**หัวหน้าโครงการ** โครงการวิจัย	2558-2559
การพัฒนาผลิตภัณฑ์หมูยอเห็ด(ทดแทนไขมันสัตว์)ทอดกรอบ	**หัวหน้าโครงการวิจัย**	งบประมาณรายได้/2560
การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์จากข้าวหักและส่วนเหลือทิ้งจากข้าวสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวัยรุ่น	**หัวหน้าโครงการวิจัย**	งบประมาณรายจ่าย/ 2560

7.3 ผู้ร่วมวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย

ชื่อผลงานวิจัย	สถานภาพ	แหล่งทุน/ปี
-โครงการแปรรูปพาสต้าจากข้าวหอมนิลมะลิอินทรีย์	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2551
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปจากแป้งกล้วยโดยการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2553
- โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตอาหารจากกล้วย	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2554
- คุณลักษณะของบัณฑิตที่พึงประสงค์ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2554
- การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากเส้นใยกล้วยสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูป	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2554
โครงการวิจัยและเป็นผู้รับผิดชอบหลักของโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาลูกอมสมุนไพรไทยพื้นบ้าน : ลดการอักเสบและดับกลิ่นปาก	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2555
การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากกากมะพร้าวที่เหลือใช้	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2556

การประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2557
การประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป (ปีที่ 2)	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2558

7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

ชื่อผลงาน	**สถานภาพ**	**แหล่งทุน/ปี**
การแปรรูปผลิตภัณฑ์สบู่เหลวผสมเยื่อกล้วย	**หัวหน้าโครงการ**	2557
การประยุกต์ใช้เมล็ดแตงโมที่เหลือทิ้งทดแทนถั่วลิสงในการผลิตอาหารไทย	**หัวหน้าโครงการ** โครงการวิจัย	2557-2558
การพัฒนาศักยภาพเม็ดขนุนในผลิตภัณฑ์อาหาร	**หัวหน้าโครงการ** โครงการวิจัย	2558-2559
-โครงการแปรรูปพาสต้าจากข้าวหอมนิลมะลิอินทรีย์	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2551
- การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปจากแป้งกล้วยโดยการใช้เครื่องเอ็กซ์ทรูดเดอร์	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2553
- โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตอาหารจากกล้วย	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2554
ชื่อผลงาน	**สถานภาพ**	**แหล่งทุน/ปี**
- คุณลักษณะของบัณฑิตที่พึงประสงค์ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2554
- การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากเส้นใยกล้วยสำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูป	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2554
โครงการวิจัยและเป็นผู้รับผิดชอบหลักของโครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาลูกอมสมุนไพรไทยพื้นบ้าน : ลดการอักเสบและดับกลิ่นปาก	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2555
การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากกากมะพร้าวที่เหลือใช้	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2556

การประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2557
การประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป (ปีที่ 2)	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2558

7.5 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

ชื่อผลงานวิจัย	**สถานภาพ**	**แหล่งทุน/ปี**	**ร้อยละ**
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมไทยกึ่งสำเร็จรูปจากรำข้าวเพื่อเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจไทย	หัวหน้าโครงการวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/2560	60

ประวัติผู้ร่วมวิจัย (ต่อ)

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาวดวงรัตน์ แซ่ตั้ง

(ภาษาอังกฤษ) Miss Duangrat Saetang

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1 1012 00[redacted]

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e - mail

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
168 ถนนศรีอยุธยา แขวงวชิร เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300
โทรศัพท์ 02-665-3777 ต่อ 5252 โทรสาร 02-665-3800
e - mail : duangrat.s@rmutp.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	คุณวุฒิ/สาขาวิชา	สถาบันอุดมศึกษา	ปีที่สำเร็จ
ปริญญาโท	คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต / อาหารและโภชนาการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร	2559
ปริญญาตรี	คหกรรมศาสตรบัณฑิต/อาหารและโภชนาการ-พัฒนาผลิตภัณฑ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลพระนคร	2550

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

-

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : -

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : -

7.3 ผู้ร่วมวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย

ชื่อผลงานวิจัย	สถานภาพ	แหล่งทุน/ปี
โครงการการประยุกต์ใช้ข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/2554
โครงการวิจัยคุณลักษณะของบัณฑิตที่พึงประสงค์ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณเงินรายได้/2554
- โครงการการประยุกต์ใช้ข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2554
- โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกอมสมุนไพรไทยพื้นบ้าน:ลดการอักเสบและดับกลิ่นปาก	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2555
- โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากกากมะพร้าวที่เหลือใช้	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2556
- การประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป - การประยุกต์ใช้เมล็ดแตงโมที่เหลือทิ้งทดแทนถั่วลิสงในการผลิตอาหารไทย	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2557 2557

- โครงการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในผลิตภัณฑ์ไอศครีมและขนมหวาน	**ผู้ร่วมวิจัย**โครงการวิจัย	2557
- โครงการวิจัยถ่ายทอดเทคโนโลยีงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558 • การประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในผลิตภัณฑ์ไอศครีมและขนมหวาน • การประยุกต์ใช้เมล็ดแตงโมที่เหลือทิ้งทดแทนถั่วลิสงในการผลิตอาหารไทย • การประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป	**ผู้ร่วมวิจัย**โครงการวิจัย	2558
- โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาศักยภาพเนื้อขนุนตกเกรดในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป	**ผู้ร่วมวิจัย**โครงการวิจัย	2558
- โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาศักยภาพซังขนุนในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร	**ผู้ร่วมวิจัย**โครงการวิจัย	2558
- โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาศักยภาพเนื้อขนุนตกเกรดในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป (ปี 2)	**ผู้ร่วมวิจัย**โครงการวิจัย	2559
- โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาศักยภาพซังขนุนในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร(ปี 2)	**ผู้ร่วมวิจัย**โครงการวิจัย	2559

7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า
1 เรื่อง)

ชื่อผลงานวิจัย	สถานภาพ	แหล่งทุน/ปี
โครงการการประยุกต์ใช้ข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน	**ผู้ร่วมวิจัย**	งบประมาณรายจ่าย/2554
โครงการวิจัยคุณลักษณะของบัณฑิตที่พึงประสงค์ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ	**ผู้ร่วมวิจัย**	งบประมาณเงินรายได้/2554
- โครงการการประยุกต์ใช้ข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2554
- โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ลูกอมสมุนไพรไทยพื้นบ้าน:ลดการอักเสบและดับกลิ่นปาก	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2555
- โครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปจากกากมะพร้าวที่เหลือใช้	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2556

ชื่อผลงานวิจัย	สถานภาพ	แหล่งทุน/ปี
- การประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2557
ชื่อผลงานวิจัย	**สถานภาพ**	**แหล่งทุน/ปี**
- การประยุกต์ใช้เมล็ดแตงโมที่เหลือทิ้งทดแทนถั่วลิสงในการผลิตอาหารไทย	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2557
- โครงการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในผลิตภัณฑ์ไอศครีมและขนมหวาน	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2557
- โครงการวิจัยถ่ายทอดเทคโนโลยีงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558 • การประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในผลิตภัณฑ์ไอศครีมและขนมหวาน • การประยุกต์ใช้เมล็ดแตงโมที่เหลือทิ้งทดแทนถั่วลิสงในการผลิตอาหารไทย • การประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งสำเร็จรูป	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2558
- โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาศักยภาพเนื้อขนุนตกเกรดในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2558
- โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาศักยภาพซังขนุนในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2558
- โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาศักยภาพเนื้อขนุนตกเกรดในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูป (ปี 2)	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2559
- โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาศักยภาพซังขนุนในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร (ปี 2)	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	2559

7.5 งานวิจัยที่กำลังทำ: ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัย ว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

ชื่อผลงานวิจัย	สถานภาพ	แหล่งทุน/ปี	ร้อยละ
การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์จากข้าวหักและส่วนเหลือทิ้งจากข้าวสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวัยเด็ก	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/2560	25
การพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์จากข้าวหักและส่วนเหลือทิ้งจากข้าวสำหรับผู้บริโภคกลุ่มวัยรุ่น	**ผู้ร่วมวิจัย** โครงการวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/2560	25

7.6 การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย

<u>การประชุมวิชาการระดับชาติ</u>

เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์, ชญาภัทร์ กี่อาริโย, ดวงรัตน์ แซ่ตั้ง, นพพร สกุลยืนยงสุข. 2556. การประยุกต์ใช้ข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน. 2556. งานประชุมวิชาการแห่งชาติ The 5 th Rajamangala University of Technology International Conference **ระหว่างวันที่ 15-16 กรกฎาคม 56 ณ เซ็นทรัลเวลล์**

ประวัติผู้ร่วมวิจัย (ต่อ)

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาว สาวินี เพียรชำนาญ

   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Sawinee Peanchamnan

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 116040[redacted]

3. ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิชาการศึกษา

   คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

   - ตำแหน่งบริหาร ไม่มี
   - ตำแหน่งทางวิชาการ ไม่มี

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

หน่วยงาน : สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เบอร์โทร : 0617192212

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) : Sawinee.p@rmupth.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	คุณวุฒิ/สาขาวิชา	สถาบันอุดมศึกษา	ปีที่สำเร็จ
ปริญญาตรี	วท.บ. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2561

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   - ไม่มี

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

   7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย

   7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย

   7.3 ผู้ร่วมวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย

   7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)

   7.5 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

ประวัติผู้ร่วมวิจัย (ต่อ)

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นางสาว จิราภัทร โอทอง
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Jirapat Othong
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3440[redacted]
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาอาหารและโภชนาการ
   คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
   - ตำแหน่งบริหาร ไม่มี
   - ตำแหน่งทางวิชาการ ไม่มี
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)

หน่วยงาน : สาขาวิชาอาหารและโภชนาการ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

เบอร์โทร : 0871640684

ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) : Jirapat.o@rmutp.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	คุณวุฒิ/สาขาวิชา	สถาบันอุดมศึกษา	ปีที่สำเร็จ
ปริญญาโท	วท.ม. (คหกรรมศาสตร์)	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2555
ปริญญาตรี	วท.บ. (เทคโนโลยีการอาหาร)	มหาวิทยาลัยมหิดล	2551

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
   - การพัฒนาผลิตภัณฑ์

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย
   7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย
   7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย
   7.3 ผู้ร่วมวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย/โครงการวิจัย
   7.4 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน (อาจมากกว่า 1 เรื่อง)
   7.5 งานวิจัยที่กำลังทำ : ชื่อข้อเสนอการวิจัย แหล่งทุน และสถานภาพในการทำวิจัยว่าได้ทำการวิจัยลุล่วงแล้วประมาณร้อยละเท่าใด

ประวัติผู้ร่วมวิจัย (ต่อ)

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายนพพร สกุลยืนยงสุข

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Nopporn Sakulyunyongsuk

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 1012 0[redacted]

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์

ตำแหน่งทางบริหาร -

4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e - mail

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 0 2665 3888 ต่อ 5237 โทรสาร 0 2665 3800

e - mail : nopporn.s@rmutp.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

ระดับปริญญา	คุณวุฒิ/สาขาวิชา	สถาบันอุดมศึกษา	ปีที่สำเร็จ
ปริญญาโท	คศ.ม./อาหารและโภชนาการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	2559
ปริญญาตรี	วท.บ./เทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2535

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

สาขาวิชาการ วิทยาศาสตร์กายภาพและคณิตศาสตร์ กลุ่มวิชา สถิติ

7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย : ชื่อแผนงานวิจัย –

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อผลงานวิจัย	สถานภาพ	แหล่งทุน/ปี
โครงการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในผลิตภัณฑ์ไอศครีมและขนมหวาน	หัวหน้าโครงการวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2557- 2558
โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาศักยภาพซังขนุนในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร	หัวหน้าโครงการวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2558 - 2559
โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวไรซ์เบอร์รี่หักสู่เชิงพาณิชย์	หัวหน้าโครงการวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2560

7.3 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่ และแหล่งทุน

ชื่อผลงานวิจัย	สถานภาพ	แหล่งทุน/ปี
โครงการวิจัยคุณลักษณะของบัณฑิตที่พึงประสงค์ตามกรอบมาตรฐานคุณวุฒิระดับอุดมศึกษาแห่งชาติ ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณเงินรายได้ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์/2554
โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตอาหารจากกล้วย	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2555
โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาลูกอมสมุนไพรไทยพื้นบ้าน : ลดการอักเสบและดับกลิ่นปาก	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2555
โครงการวิจัยเรื่อง การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์หัตถกรรมกรณีศึกษา : เฟอร์นิเจอร์จากหวายเทียม	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2555
โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมไทยจากกากมะพร้าวที่เหลือใช้	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2556
โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาปัจจัยในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ยั่งยืน : กรณีศึกษาการใช้สีและวัสดุบรรจุภัณฑ์ที่สื่อถึงประโยชน์ใช้สอยเพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2556
โครงการวิจัยเรื่อง การศึกษาและพัฒนาแผ่นวีเนียร์จากขี้เลื่อยไม้เพื่อการตกแต่งเครื่องเรือนในที่พักอาศัย	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2556
โครงการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในผลิตภัณฑ์ไอศครีมและขนมหวาน	หัวหน้าโครงการวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2557- 2558
โครงการวิจัยเรื่องการประยุกต์ใช้เปลือกแตงโมในผลิตภัณฑ์ไอศครีมและขนมหวาน	หัวหน้าโครงการวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2557- 2558
โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาศักยภาพซังขนุนในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร	หัวหน้าโครงการวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2558 - 2559
โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตอาหารเช้าจากข้าวและบรรจุภัณฑ์จากซังข้าวเพื่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกษตรกรลาดบัวขาว จังหวัดราชบุรี	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณภายนอก วช/2558

ชื่อผลงานวิจัย	สถานภาพ	แหล่งทุน/ปี
โครงการวิจัยเรื่องการจัดการความรู้การวิจัยเส้นก๋วยเตี๋ยวสมุนไพรจากข้าวหักและบรรจุภัณฑ์จากซังข้าวเพื่อพัฒนาอาชีพตามแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแม่บ้านวัดคงคารามจังหวัดชัยนาท	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณภายนอก/2559
โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตอาหารเช้าจากข้าวและบรรจุภัณฑ์จากซังข้าวเพื่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชนเกษตรกรลาดบัวขาว จังหวัดราชบุรี	ผู้ร่วมวิจัย	งบประมาณภายนอก วช/ 2559

7.4 งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ : ชื่อผลงานวิจัย ร้อยละที่ดำเนินการแล้วเสร็จ และแหล่งทุน

ชื่อผลงานวิจัย	**สถานภาพ**	**แหล่งทุน/ปี**	ร้อยละ
โครงการวิจัยเรื่องการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากข้าวไรซ์เบอร์รี่หักสู่เชิงพาณิชย์	หัวหน้าโครงการวิจัย	งบประมาณรายจ่าย/ 2560	62

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัย

วารสารระดับชาติ

วลัย หุตะโกวิท และคณะ. 2550. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์พริกแกงสำเร็จรูปเพื่ออุตสาหกรรมการส่งออก.” **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร**. 1, 1 (พฤษภาคม) : 9-20.

วลัย หุตะโกวิท และคณะ. 2552. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพิ่มมูลค่าจากปลาน้ำจืด.” **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร**. 3, 2 (กันยายน) : 197-208.

วลัย หุตะโกวิท และคณะ. 2552. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเช้าชนิดแผ่น และกรวยไอศครีมจากข้าวหอมนิล.” **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร**. 3, 2 (กันยายน) : 209-221.

ประชา พิจักขณา และคณะ. 2552. “การศึกษาจิตวิทยาสีที่มีผลต่อผู้ที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นเลือนราง เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบ.” **วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร**. 3, 2 (กันยายน) : 136-145.

วารสารระดับนานาชาติ

Soteyome Thanapop, Kee-Ariyo Chayapat, and Sakulyunyongsuk Nopporn. 2017. Extraction and Purification of Soybean Isoflavone from Soy Sauce Residue. **Journal of Harbin Institute of Technology (New Series)**. P.(2): 131-135.

การประชุมวิชาการระดับชาติ

วลัย หุตะโกวิท, วาสนา ขวยเขิน, เกศรินทร์ มงคลวรวรรณ, น้อมจิตต์ สุธีบุตร, เจตนิพัทธ์ บุณยสวัสดิ์, และนพพร สกุลยืนยงสุข. 2551. **การพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องแกงสำเร็จรูปเพื่ออุตสาหกรรมส่งออก**. การประชุมวิชาการราชมงคลวิชาการครั้งที่ 1 ณ โรงแรมธรรม-รินทร์ ธนา จังหวัดตรัง. 7-29 สิงหาคม 2551.

เกศรินทร์ เพ็ชรรัตน์, ชญาภัทร์ กี่อาริโย, ดวงรัตน์ แซ่ตั้ง และนพพร สกุลยืนยงสุข. 2556. การประยุกต์ใช้ข้าวกล้องงอกในผลิตภัณฑ์ขนมหวาน. 2556. งานประชุมวิชาการแห่งชาติ The 5 th Rajamangala University of Technology International Conference **ระหว่างวันที่ 15-16 กรกฎาคม 56 ณ เซ็นทรัลเวิร์ด**