20687

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การใช้ประโยชน์จากแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีบางส่วนในการทำขนมปัง

(Utilization of Taro Flour as Partial Substitution for Wheat Flour in Bread Making)

T096565

จัดทำโดย

นางสาวกณภัทร ชูโรจน์

นางสาวสุจิรา แซ่เตียว

นางสาวภัทรพร ดงคาวิทูร

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์นภัสรพี เหลืองสกุล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ฝพ.
ก119ก
2547

สขหมู่.....
เลขทะเบียน 36565
วัน.เดือน.ปี.....

ใบรับรองปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การใช้ประโยชน์จากแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีบางส่วนในการทำขนมปัง

(Utilization of Taro Flour as Partial Substitution for Wheat Flour in Bread Making)

จัดทำโดย

นางสาวกณภัทร	ชูโรจน์	รหัสประจำตัว 44040133
นางสาวสุจิรา	แซ่เตียว	รหัสประจำตัว 44040139
นางสาวภัทรพร	คงคาวิทูร	รหัสประจำตัว 44040146

ได้รับการพิจารณาเห็นชอบจาก

..... 23 / มี.ค. / 2547 **อาจารย์ที่ปรึกษา ปัญหาพิเศษ**

(อาจารย์นภัสรพี เหลืองสกุล)

นางสาวกณภัทร ชูโรจน์ , นางสาวสุจิรา แซ่เตียว , นางสาวภัทรพร คงคาวิทูร.2547:ชื่อเรื่อง การใช้ประโยชน์จากแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีบางส่วนในการทำขนมปัง(Utilization of Taro Flour as Partial Substitution for Wheat Flour in Bread Making).ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์นภัสรพี เหลืองสกุล

บทคัดย่อ

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของแป้งเผือกที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมปังจะได้ค่าปริมาณความชื้น และอะไมโลส ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.18 % และ 17.38% ตามลำดับ ผลของการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งเผือก 5% , 10% , 15% , 20% และ 25% พบว่าเมื่อมีการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งเผือกในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้ค่าความหนืดสูงสุดของแป้ง และค่าเอนทาลปี (enthalpy)เพิ่มขึ้น ส่วนค่าแรงยึดตัว และค่าระยะทางการยืดตัวของโดจะมีค่าลดลง และเมื่อนำแป้งสาลีที่มีการแทนที่ด้วยแป้งเผือก 5% , 10% , 1%5 , 20% และ 25% ไปทำขนมปัง พบว่าขนมปังที่มีการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งเผือกในปริมาณที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้สีของเนื้อในขนมปังเข้มขึ้น ความละเอียดของเนื้อในขนมปังหยาบ และแน่นมากขึ้น ทำให้ขนมปังมีปริมาตร ปริมาตรจำเพาะ และค่า oven spring ลดลง ส่วนค่าความแข็งเพิ่มขึ้น สำหรับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยการให้คะแนนความชอบขนมปังที่มีการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งเผือกบางส่วนด้วยวิธี Hedonic Scale 9 ระดับ โดยใช้ผู้ชิมจำนวน 100 คน ในด้านลักษณะปรากฏ ความละเอียดของเนื้อ ความนุ่ม ความเหนียว กลิ่นรส และความชอบโดยรวม พบว่าสามารถแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งเผือกในการทำขนมปังได้สูงสุดถึง 15 % และ 20 % เพราะคะแนนความชอบโดยรวมอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน

ลายมือชื่อนักศึกษา	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	วัน/เดือน/ปี
สุจิรา แซ่เตียว		
ภัทรพร คงคาวิทูร		23 มิถุนายน 2547

กิตติกรรมประกาศ

การทำปัญหาพิเศษในหัวเรื่อง การใช้ประโยชน์จากแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีบางส่วนในการทำขนมปังสำเร็จลงได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์นภัสรพี เหลืองสกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปัญหาพิเศษของข้าพเจ้า ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่ามาคอยแนะนำ ให้คำปรึกษา และชี้แนวทางในการทำปัญหาพิเศษรวมทั้งแก้ไขรายงานฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์และสำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ - คุณแม่ ที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือด้านกำลังทรัพย์ จนสามารถทำงานให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทางสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และบริษัทเมทเลอร์ ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือวิเคราะห์ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่คอยให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่ช่วยกันทำงานจนประสบผลสำเร็จ

คณะผู้จัดทำ

22 มีนาคม 2548

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	2
2.1 เผือก	2
2.2 แป้งเผือก	5
2.3 โด	8
2.4 ขนมปัง	11
3. วัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง	34
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแป้งเผือก	34
3.2 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	34
3.3 วัสดุที่ใช้ในการผลิตขนมปัง	34
3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขนมปัง	34
3.5 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์	35
3.6 วิธีการเตรียมแป้งเผือก	36
3.7 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเผือก	36
3.8 ศึกษาคุณสมบัติของแป้งและโดแทนที่แป้งสาลี ด้วยแป้งเผือกที่ระดับ 5% , 10% , 15% , 20% และ 25%	37
3.9 ขั้นตอนการทำขนมปัง	38
3.10 ศึกษาคุณภาพของขนมปังจากแป้งสาลีทดแทน ด้วยแป้งเผือกที่ระดับ 5% , 10% , 15% , 20% และ 25%	38

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.11 ศึกษาผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งเผือกต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค	39
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	40
4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเผือก	40
4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%,10%,15%,20%และ 25%	42
4.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งและโดจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%	43
4.4 การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส	47
5. สรุปผลการทดลอง	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	52
ภาคผนวก ข	53
ประวัติผู้เขียน	63

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเผือกสด	4
ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเผือก	6
ตารางที่ 3 พันธะของโปรตีนที่สำคัญในโปรตีนของโด	10
ตารางที่ 4 องค์ประกอบของแป้งสาลี	12
ตารางที่ 5 แสดงส่วนผสมการทำขนมปังที่ระดับแป้งเผือกต่างๆ	37
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเผือก	40
ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของแป้งเผือกและแป้งสาลี	40
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของแป้งเผือกทดแทน แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%	42
ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์หาค่าแรงยืดตัว ของแป้งเผือกทดแทน แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%	43
ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของโดจากแป้งเผือกทดแทน แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%,15%, 20% และ 25%	44
ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของขนมปังจากแป้งเผือก ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%	45
ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังจากแป้งเผือก ทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15% และ 20%	47

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
ภาพที่ 1 หัวเผือก	2
ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของแป้งสาลี (A) กลายเป็นโด (B)	9

บทที่ 1
บทนำ

"ขนมปัง" ได้กลายเป็นอาหารที่จำเป็นอย่างมากกับสภาพสังคมในปัจจุบัน ซึ่งมีจุดเด่นในเรื่องของวิธีบริโภค ซึ่งง่ายและรวดเร็ว แต่ขนมปังที่จำหน่ายในท้องตลาดก็ยังมีปัญหาประการหนึ่ง คือ เรื่องของ "ราคา" ซึ่งค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับปริมาณและคุณค่าที่จะได้รับ ทั้งนี้เนื่องมาจากวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดในการทำขนมปังคือ แป้งสาลี ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงได้มีการค้นคว้าและวิจัยหาสารที่จะมาทดแทนแป้งสาลีได้ โดยไม่มีผลทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปัง ซึ่งโดยปกติจะต้องฟู นุ่ม เปลี่ยนแปลงไป

เผือกเป็นวัตถุดิบเกษตรที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นพืชหัวที่ปลูกทั่วไปโตง่ายในเขตร้อนและกึ่งร้อนซึ่งเหมาะสมต่อสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย สามารถเจริญเติบโตได้ง่ายในที่มีความชื้นเพียงพอและให้ผลผลิตค่อนข้างสูง ในปัจจุบันมีการนำเผือกมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อยู่บ้างแต่เป็นการแปรรูปในระดับครัวเรือน เช่น การนำเผือกมากวน ทอด ฉาบน้ำตาล หรือต้ม เพื่อจำหน่าย และเนื่องจากความหลากหลาย และความน่าสนใจในตัวผลิตภัณฑ์ยังมีน้อยจึงทำให้การขยายตลาดจึงยังมีไม่มากนัก เกษตรกรผู้ปลูกเผือกส่วนใหญ่จึงไม่มีตลาดขนาดใหญ่ที่รองรับผลผลิตที่แน่นอน และเนื่องจากเผือกเป็นวัตถุดิบเกษตรหากจำหน่ายไม่หมดหรือไม่มีการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์จะทำให้เผือกเกิดการเน่าเสียหรือมีคุณภาพลดลงทำให้เกษตรกรมีรายได้ลดลง การศึกษาหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากเผือกในรูปแป้งเผือกน่าจะมีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาแปรรูป หรือใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากในหัวเผือกมีสารอาหารคือ คาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 80 ของน้ำหนักแห้ง การแปรรูปเป็นแป้งเผือกจึงน่าจะเป็นการเพิ่มอายุการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่าทางการค้าของเผือกซึ่งเป็นวัตถุดิบทางการเกษตรให้สูงขึ้น อีกทั้งเป็นการส่งเสริมการปลูกเผือกให้แก่เกษตรกรโดยมีตลาดรองรับผลผลิตต่อไปในอนาคต

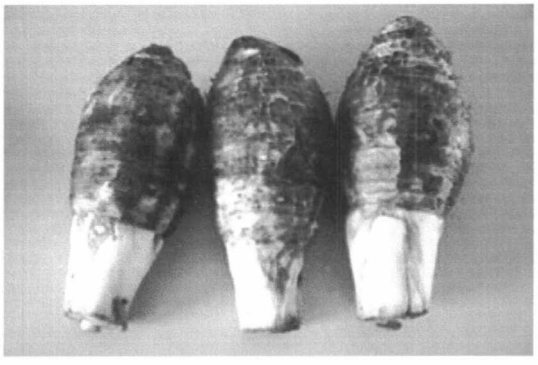
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเผือก
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของโด จากแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งเผือก
3. เพื่อศึกษาคุณภาพของขนมปังจากแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งเผือกที่เพิ่งอบเสร็จและหลังจากเก็บรักษาเป็น เวลา 5 วัน
4. เพื่อศึกษาปริมาณการแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งเผือกในอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำขนมปัง
5. เพื่อศึกษาผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งเผือกต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคทั่วไป

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 เผือก (Taro)

ในทางวิทยาศาสตร์ได้จัดเผือกให้อยู่ในตระกูล Araoeae อยู่ในเครือเดียวกับบอนคือ Colocasia ซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวพันธุ์ esculenta และมีชื่อทางวิทยาศาตร์ว่า *Colocasiaesculenta* (L.) Schott (ณรงค์, 2538) เผือกเป็นพืชเศรษฐกิจระดับท้องถิ่นที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทยและมีการปลูกเผือกทั่วไปทุกภาคของประเทศ



ภาพที่ 1 หัวเผือก

จังหวัดที่เป็นแหล่งปลูกเผือกที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ นครสวรรค์ พิษณุโลก นครราชสีมา สุรินทร์ สระบุรี อยุธยา สิงห์บุรี นครนายก นครปฐม ประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี สุพรรณบุรี ชุมพร และสุราษฎร์ธานี และในช่วงเดือน พฤษภาคม 2544 ถึง เมษายน 2545 ประเทศไทยมีพื้นที่ๆ ปลูกเผือก และเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ประมาณ 30,000 ไร่ ให้ผลผลิตรวมประมาณ 78,000 ตัน มีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 2-3.5 ตันต่อไร่ และมีการเพิ่มพื้นที่ปลูกเผือกใหม่อีกประมาณ 37,000 ไร่ โดยพื้นที่ปลูกเผือกส่วนใหญ่อยู่ในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันตก ซึ่งภาคเหนือให้ผลผลิตเผือกสูงที่สุด

2.1.1 การจำแนกชนิดของเผือก

เผือกมีหลายชนิด แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม eddoe type และกลุ่ม dasheen type โดย กลุ่ม eddoe type เป็นเผือกขนาดเล็กมีลูกเผือกหรือลูกซอติดอยู่จำนวนมาก ได้แก่ เผือกชนิด

Coommonและ Trinidad สำหรับเผือกกลุ่ม dasheen type มีหัวใหญ่กว่าและมีลูกเผือกหรือลูกซอน้อย หัวของเผือกกลุ่ม dasheen จะมีขนาดยาวถึง 30 เซนติมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางยาวถึง 15 เซนติเมตร ได้แก่ เผือกชนิด *Colocasia esculenta* var. esculenta ปลูกกันมากใน West India และฮาวายโดยมีชื่อต่างๆกันเช่น Purple, Lehua, Piko, Uliuli และ Munu

เผือกพันธุ์ต่างๆเหล่านี้แตกต่างกันในลักษณะสีของเนื้อ ต้นใต้ ดิน หัว ส่วนอื่นๆ ของลำต้น ความเป็นกรดของหัวและใบ เผือกมีชื่อเรียกต่างๆกันไปว่า taro, curcas, dasheen, Tania, talla, tanyah, malanga, coco-yam, gabi และ elephant-ear

สำหรับประเทศไทยมีการปลูกเผือกกันหลายชนิด ที่รู้จักกันดีมี 4 ชนิด คือ เผือกหอม เผือกเหลือง เผือกตาแดง และเผือกไม้ โดยเผือกหอม เป็นพวก dasheen type เป็นเผือกหัวใหญ่ น้ำหนักมาก กาบใหญ่ ใบใหญ่สีเขียว น้ำหนักของหัวที่โตเต็มที่จะหนักประมาณ 2-3 กิโลกรัม ที่หัวมีลูกซอติดอยู่น้อย เผือกชนิดนี้เมื่อต้มให้สุกแล้วจะมีกลิ่นหอมน่ารับประทาน เป็นเผือกที่นิยมปลูกกันมากที่สุดในประเทศไทย เผือกเหลืองเป็นพวก eddoe type มีหัวขนาดเล็กมีเปลือกสีเหลือง เป็นเผือกที่คนทั่วไปไม่นิยมรับประทานกันมากนักจึงไม่ค่อยมีผู้นิยมปลูกเป็นการค้า เผือกตาแดงเป็นพวก eddoe type มีหัวขนาดเล็ก มีตาของหัวสีแดงเข้ม กาบและเส้นใบสีแดงก้านใบและใบมีขนาดเล็ก มีลูกซอติดอยู่รอบหัวจำนวนมาก ไม่ค่อยมีผู้นิยมรับประทานมากนัก เผือกไม้หรือเผือกไหหลำ เผือกชนิดนี้อยู่ในกลุ่ม eddoe type เป็นเผือกหัวยาวขนาดเล็ก ไม่มีผู้นิยมรับประทานกันมากนัก

นอกจากนี้ ยังสามารถจำแนกพันธุ์เผือกจากทั้งในและต่างประเทศตามกลิ่นของหัวและสีของเนื้อเผือกเป็นกลุ่มใหญ่ๆได้ดังนี้

ก.จำแนกเผือกตามกลิ่นของหัว มี 2 ประเภท คือ

1. เผือกหอม เผือกชนิดนี้เวลาต้มหรือประกอบอาหารจะมีกลิ่นหอม ได้แก่ เผือกหอมเชียงใหม่ พันธุ์ พจ.016, พจ.08 และพจ.019 เป็นต้น

2. เผือกชนิดไม่หอม เผือกชนิดนี้เวลาต้ม หรือประกอบอาหารจะไม่มีกลิ่นหอม อย่างไรก็ตามเผือกชนิดนี้บางพันธุ์ถึงแม้ไม่มีกลิ่นหอมแต่ก็มีข้อดีตรงที่มีลักษณะเนื้อเหนียวแน่นน่ารับประทานเช่นกัน ได้แก่ เผือกพันธุ์ พจ.06, พจ.025 และพจ.012 เป็นต้น

ข. การจำแนกเผือกตามสีของเนื้อ มี 2 ประเภท คือ

1. เผือกเนื้อสีขาวหรือสีครีม เผือกชนิดนี้เมื่อผ่าดูเนื้อในจะพบว่า มีสีขาวหรือสีขาวครีม ได้แก่ เผือกพันธุ์ พจ.06, พจ.07, พจ.025, พจ.014 (เผือกบราซิล) พันธุ์ศรีปาลาวี(อินเดีย) และพันธุ์ศรีรัศมี(อินเดีย) เป็นต้น

2. เผือกเนื้อสีขาวปนม่วง เผือกชนิดนี้เมื่อผ่าหัวดูเนื้อ จะพบว่ามีสีขาวลายม่วงปะปนอยู่ ซึ่งจะมีสีม่วงมากหรือน้อยแตกต่างกันในแต่ละพันธุ์ ได้แก่ เผือกหอมเชียงใหม่ พันธุ์ พจ.016, พจ.08, พจ.05 และพจ.020

2.1.2 องค์ประกอบของเผือก

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเผือกจะมีความแตกต่างกันเล็กน้อยตามพันธุ์และสิ่งแวดล้อม เช่น ดิน ระยะเวลาที่เก็บ อุณหภูมิและความชื้นขณะที่เก็บไว้ พบว่ามีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบหลักซึ่งประกอบด้วยแป้งร้อยละ 77.9 เพนโตซานร้อยละ 2.6 ไฟเบอร์ร้อยละ 1.4 เด็กตรินร้อยละ 0.5 น้ำตาลรีดิวซ์ร้อยละ 0.5 และน้ำตาลซูโครสร้อยละ 0.1 ปริมาณโปรตีน ที่มีอยู่ในเผือกสูงกว่าโปรตีนที่มีอยู่ในหัวมัน นอกจากนี้ยังพบผลึกของแคลเซียมออกซาเลตในปริมาณร้อยละ 0.1-0.4 ของน้ำหนักเผือกสด ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการคันคอเมื่อรับประทาน แต่การต้มจะสามารถทำลายสารชนิดนี้ได้ สารอีกชนิดหนึ่งที่พบในเผือกคือกรดปรัสสิดแต่มีปริมาณที่น้อยกว่าที่พบในมันสำปะหลังจึงไม่เป็นอันตรายแก่ผู้บริโภค

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเผือกสด (ต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้)

องค์ประกอบ	*ปริมาณ*
ความชื้น (กรัม)	63-85
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	13-29
โปรตีน (กรัม)	1.4-3.0
ไขมัน (กรัม)	0.16-0.36
เยื่อใย (กรัม)	0.60-1.18
วิตามินซี (มก.)	7-9
วิตามินบี 1 (มก.)	0.18
วิตามินบี 2 (มก.)	0.18
ไนอะซีน (มก.)	0.9
เถ้า (กรัม)	0.60-1.3

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร

2.1.3 การใช้ประโยชน์จากเผือก

เผือกสามาระใช้เป็นอาหารได้อย่างเป็นอย่างดี ซึ่งอาจรับประทานได้โดยตรงหรือนำมาแปรรูปก่อนรับประทานก็ได้

ก. การรับประทานโดยตรง การบริโภคเผือกอาจเตรียมได้โดยวิธีง่ายๆ เช่น ต้ม เผา ย่าง ทอด เป็นต้น ในแอฟริกาตะวันตกนำไปต้มแล้วบดให้ละเอียดก่อนรับประทาน เรียก fufu เหมือนกันบด

ข. การแปรรูปก่อนรับประทาน เผือกสามารถแปรรูปเป็นอาหารได้หลายประเภท เช่น ปอย(poi) เป็นผลิตภัณฑ์ที่นิยมกันมากในฮาวาย และ Polynesia โดยกระบวนการแปรรูปจะนำเผือกมาต้มในหม้อความดันไอ ปอกเปลือกออก แล้วบดให้ละเอียด จะได้เผือกที่มีลักษณะกึ่งเหลว นำไปกรองผ่านตะแกรง ใส่ละในถุง นำไปจำหน่ายหรือเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง ในระหว่างการเก็บจะเกิดการหมักขึ้น เนื่องจากมีจุลินทรีย์จำพวกแลกโตบาซิลลัส ทำให้พีเอช ลดลงจาก 5.7 และได้พีเอชสุดท้ายประมาณ 3.9 บางครั้งมีการใส่มะพร้าวลงไปด้วยก่อนรับประทาน สำหรับในประเทศไทยนิยมนำนำเอกมาแปรรูปเป็นของหวานเช่น เผือกกวน เผือกน้ำกะทิ ขนมหม้อแกง ตะโก้เผือก ข้าวเหนียวเผือกน้ำกะทิ ไอศกรีมเผือก ซาลาเปาเผือก เผือกเชื่อม หรืออาจใช้วิธีถนอมอาหารเช่น เผือกแห้งเคลือบน้ำตาล เผือกแห้งฉาบเค็ม ข้าวเกรียบเผือกเป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจแปรรูป เผือกเป็นแป้งเผือก (เผือกแห้งบด) สำหรับนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆได้อีกมากมาย

2.2 แป้งเผือก

แป้ง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แป้ง (flour) และแป้งสตาร์ช (starch) ซึ่งแป้งทั้ง 2 ประเภทนั้น จะมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกัน โดยแป้งนั้นในการผลิต หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งอื่นเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆอยู่มากจะเรียกว่า ฟลาว (flour) เช่นแป้งที่มีองค์ประกอบของโปรตีนอยู่สูง ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี และแป้งข้าวเจ้า จะจัดอยู่ในประเภท ฟลาว เรียกว่า corn flour , wheat flour และ rice flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ จึ่งเรียกว่า แป้งสตาร์ช เช่น corn starch และ wheat starch เป็นต้น แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลแพกตินแตกต่างกัน ซึ่งทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกันด้วย

2.2.1 องค์ประกอบของแป้งเผือก

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเผือก (ต่อ 100 กรัมของส่วนที่รับประทานได้)

องค์ประกอบ	*ปริมาณ*
ความชื้น (กรัม)	7.07
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	79.01
โปรตีน (กรัม)	8.39
ไขมัน (กรัม)	0.43
เยื่อใย (กรัม)	2.02
เถ้า (กรัม)	3.08
ไนโตรเจน	ร้อยละ 0.002
ฟอสฟอรัส	ร้อยละ 0.002

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร

แป้งที่มีอยู่ในเผือกประกอบด้วยอะไมโลส และอะไมโลแพกติน อะไมโลสเป็นโพลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 250-2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage มีความยาวค่อนข้างมากและไม่ละลายในน้ำ ซึ่งแป้งที่มีโมเลกุลของอะไมโลสยาวขึ้นจะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรกราเดชั่น (retrogradation) ลดลง สำหรับอะไมโลสแพกติน เป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคสส่วนเป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้นๆมี DP อยู่ในช่วงตั้งแต่ 10-60 หน่วย เชื่อมต่อด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage อะไมโลสแพกตินมีอัตราในการคืนตัวต่ำเนื่องจากมีโครงสร้างเป็นกิ่ง ซึ่งนอกจากอะไมโลสและอะไมโลแพกตินแล้ว ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดแป้งที่สำคัญ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส ซึ่งมีปริมาณแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด ณรงค์ (2538) กล่าวว่าแป้งที่มีอยู่ในเผือก จะประกอบด้วยอะไมโลสร้อยละ 17-28 ส่วนที่เหลือเป็นอะไมโลแพกติน อะไมโลสมีกลูโคส 490 หน่วยต่อโมเลกุลในขณะที่อะไมโลแพกตินมีกลูโคส 22 โมเลกุลในแต่ละกิ่ง วุฒิชัย (2529) ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของสตาร์ชเผือก และแป้งเผือกของเผือกหอมซึ่งเป็นเผือกพันธุ์ dasheen ที่ปลูกในประเทศไทย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสแกน พบว่า เม็ดแป้งเกาะติดกับองค์ประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีนในปริมาณสูงกว่าเม็ดสตาร์ช โดยเม็ดแป้งของเผือกมีรูปร่างหลายเหลี่ยม (polygonal) มีขนาดโดยเฉลี่ยส่วนที่ยาวที่สุด และส่วนแคบที่สุดเท่ากับ 1.86 และ 2.26 ไมโครเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ ณรงค์ (2538) รายงานขนาดแกรนูลของเผือกไว้ 1-4

ไมโครเมตร และนอกจากนี้ พบว่า สตาร์ชเผือกพันธุ์ Dasheen มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 3.76 ไมโครเมตร เป็นสตาร์ชของนาดใหญ่ที่สุดใน 5 พันธุ์ ที่ศึกษา สำหรับสตาร์ชเผือกพันธุ์ Bun-long, Hawaii Red (Lehua), Hawaii white และ Niu'e มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 2.6-3.26 ไมโครเมตร ด้วยเหตุที่เม็ดแป้งเผือกมีขนาดเล็กร่างกายจึงย่อยแป้งจากเผือกได้ง่าย

วุฒิชัย (2529) ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของสตาร์ชเผือก และแป้งเผือกของเผือกหอม ซึ่งเป็นเผือกพันธุ์ dasheen พบว่ามีลักษณะของกราฟจากบราเบนเดอร์ของแป้งเผือกเป็นแบบ A แสดงจุดสูงสุดของเส้นโค้งที่ความหนืดประมาณ 710-760 BU เริ่มเกิดเจลที่อุณหภูมิ 78-79 องศาเซลเซียส ลักษณะของเจลมีสีน้ำตาลใส มีความคงตัวในเกณฑ์ดี สามารถเกาะเกี่ยวกับน้ำได้ 1.5-2 เท่าของน้ำหนักเริ่มต้น และจาก ในเผือก 5 สายพันธุ์ดังที่กล่าวมาข้างต้น พบว่า อุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งเผือกคือ 72-79 องศาเซลเซียส สตาร์ชเผือกเจลที่อุณหภูมิ 67-74 องศาเซลเซียส การเกิดการคืนตัว (Retrogradation) โดยการวัดการเปลี่ยนแปลงของ enthalpy พบว่ามีค่าสูงกว่าสตาร์ชข้าวโพดสตาร์ชเผือกมีความหนืดสูงกว่าแป้งเผือกที่มีส่วนประกอบอื่นๆเจือปน และทั้งสตาร์ชและแป้งเผือกจะเกิดเจลอ่อน (weak gel)

2.2.2 คุณสมบัติของแป้งเผือก

จากการศึกษาแป้งเผือก (Colocasia esculenta) (อภิณทิพย์, 2541) ที่สกัดโดยใช้ 0.2% เมตาซัลไฟต์ พบว่า เม็ดแป้งเผือกมีขนาดเล็ก ซึ่งเผือกแต่ละพันธุ์ก็จะมีขนาดแตกต่างกัน แป้งเผือกจะมีปริมาณอะไมโลสประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณอะไมโลสในแป้งจากธัญพืช เผือกเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งที่มีอุณหภูมิการเกิดเพสต์ต่ำ เนื่องจากแป้งจากพืชหัวจะมีความชื้นสูงและมีปริมาณอะไมโลสต่ำ ซึ่งถ้าปริมาณอะไมโลสสูง อุณหภูมิในการเกิดเพสต์ก็จะสูงด้วย แป้งเผือกโดยทั่วไปจะมีค่าการละลาย และการรพองตัวต่ำยกเว้นเผือกที่มีเม็ดแป้งขนาดเล็กมากจะมีค่าการละลายและการพองตัวสูงขึ้น แป้งเผือกโดยทั่วไปจะมีลักษณะใสเป็นเส้นเหนียว

2.2.3 การใช้ประโยชน์จากแป้งเผือก

เนื่องจากแกรนูลของแป้งเผือกมีขนาดเล็ก ขนาดของเม็ดแป้งที่เล็กทำให้สามารถใช้สตาร์ชจากเผือกเป็นสาร filling ในฟิล์มโพลีเอธทีลีนที่ย่อยสลายได้ และยังใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์อาหารได้ นอกจากนี้แป้งเผือกยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารได้หลายชนิด เช่น ขนมขบเคี้ยว ขนมเค้ก ขนมปัง เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับของการศึกษา หรือการพัฒนาสูตร

การผลิตอาหารว่างจากแป้งเผือกโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ พบว่าผลิตภัณฑ์อาหารว่างจากแป้งเผือก และอาหารว่างจากแป้งเผือกผสมโปรตีนจากถั่วเหลืองจะมีลักษณะดีที่สุดและเป็นที่ยอมรับของผู้ชิม เมื่อปรับปริมาณความชื้นของวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องให้มีความชื้นร้อยละ 12 และ 16

ตามลำดับ สำหรับทางด้านคุณค่าอาหารการผลิตอาหารว่างโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูดเดอร์ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียคุณค่าอาหาร

การนำแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในผลิตภัณฑ์เค้กเนยและเค้กชิฟฟอน โดยแปรปริมาณแป้งเผือกในการทดลองเป็น 4 ระดับ คือ ร้อยละ 20, 40, 60 และ 80 โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด แล้วประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Quantitative Descriptive Analysis พบว่าสามาระใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์เค้กทั้ง 2 ชนิด ได้ในปริมาณร้อยละ 40 โดยมีการยอมรับทางประสาทสัมพผัสไม่ต่างจากการทดแทนร้อยละ 20 อย่างมีนัยสำคัญ ($P>0.05$)

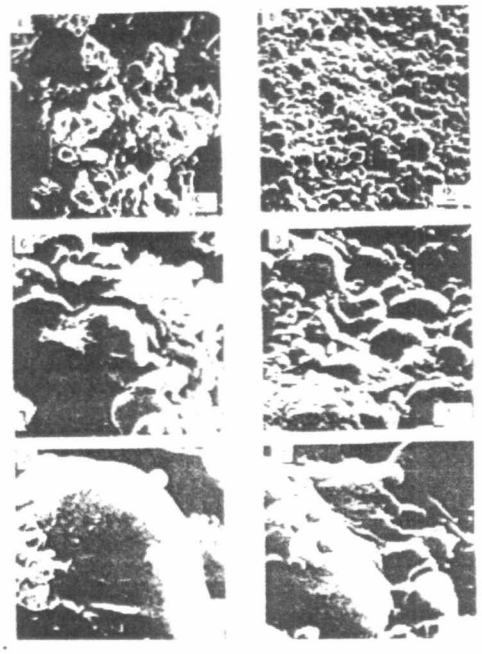
การพัฒนาสูตรอาหาร และขนมจากแป้งเผือก พบว่าสามารถใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีโดยเฉพาะแป้งขนมปังได้ถึงร้อยละ 20 รวมถึงใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทขนมอบ ขนมทอด เช่น คุกกี้ กรอบเค็ม เป็นต้น และสามารถใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าได้ถึงร้อยละ 80 ดวงฤทัย (2542)

2.3 โด (Dough)

2.3.1 คุณลักษณะทางเคมี - กายภาพของโด (Dough)

เมื่อทำการนวดแป้งกับน้ำ จะเกิดการจับกันของน้ำกับแป้งแล้วจะกลายเป็นก้อน ซึ่งโดยคุณสมบัติของความยืดหยุ่นจากลักษณะการยืดหยุ่น (Elastic) และความหนืดข้น (Viscous) และลักษณะของพลาสติกร่วมกัน ซึ่งเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงภายในของแป้ง ทั้งที่เป็นเคมี กายภาพ และชีวภาพ เรียกว่าการเกิดรีโอโลยีของโด (dough rheology) ซึ่งเป็นผลมากจากแรงแค้น แรงเฉือน และแรงดึง ต่อโด ในระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสม จึงจะได้โดลักษณะที่ยืดหยุ่นได้ดี ซึ่งทำให้เกิดรูป (deformation) แบบนอนนิวโทเนียน (Non – Newtonian) มีลักษณะการผสมผสานระหว่างความหนืดและความยืดหยุ่น เป็นผลให้โครงร่างและองค์ประกอบทางเคมีในโดเปลี่ยนไป โดยมีน้ำที่เติมลงไปเป็นตัวกลางที่สำคัญ

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งนั้น น้ำจะไม่ซึมเข้าไปในแป้งโดยทันที แต่จะเป็น แต่จะเกิดฟิล์มบางๆ บนผิวแป้ง พอออกแรงนวดหรือใช้เครื่องผสม เกิดแรงแค้นและแรงเฉือน ทำให้น้ำซึมเข้าไปในแป้ง อยู่ระหว่างเม็ดแป้ง เกิดแรงดึงดูดระหว่างแป้งกับน้ำ เป็นผลให้โปรตีนในองค์ประกอบแป้ง เกิดการรวมตัวของโปรตีน โดยมีน้ำเป็นตัวเชื่อม กลายเป็นร่างแหของกลูเตน คลุมเม็ดสตาร์ชซึ่งยังไม่ได้ดูดน้ำที่อุณหภูมิของผสมโดนี้ ขณะผสมจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลูเตนไปเรื่อยๆจนถึงจุดที่กลูเตนมีความยืดหยุ่นเหมาะสมทำให้โดไม่ติดมือ หรือติดภาชนะที่ใช้ในการผสม สามารถดึงยืดให้เป็นฟิล์มบางๆได้



ภาพที่ 2 การเปลี่ยนแปลงของแป้งสาลี (A) กลายเป็นโด (B) มองผ่านกล้องจุลทรรศน์(Pyler, 1973)

ถ้าทำการผสมต่อไปอีก จะทำให้เกิดแรงเฉือนและแรงแค้นรวมทั้งแรงดึงร่วมกัน มีผลให้กลูเตนฟิล์มหมดความยืดหยุ่น ทำให้ขาดลงเป็นสาย โดเหนอะหนะติดมือและไหลได้ เนื่องจากการผสมที่มีมากเกินไป

ปริมาณน้ำตาลที่เติมให้โดที่เหมาะสมนั้น ต้องพิจารณาจากปริมาณความชื้นเดิมของแป้ง ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่เกาะเกี่ยวกับสารอาหารอื่นรวมกับน้ำอิสระ โดยทั่วไปมีอยู่ประมาณ 14% ดังนั้นน้ำที่เติมลงไป จะช่วยให้เกิดการเกาะเกี่ยวกับของน้ำกับสารอื่นจนถึง 25% ของความชื้นหรือเท่ากับ 0.33 กรัมของน้ำต่อแป้ง 1 กรัม และเมื่อมีน้ำถึง 0.54 กรัมของน้ำต่อน้ำหนักแป้ง 1 กรัม (ประมาณ 35%ของชื้น) โดจะมีลักษณะที่เหมาะสม โดยมีส่วนของน้ำอิสระประมาณ 10% (0.11 กรัมของน้ำต่อน้ำหนักแป้ง 1 กรัม) และน้ำอิสระที่เพิ่มขึ้นนี้จะมีผลให้โดอ่อนนุ่ม และมีความลื่นไม่ติดมือ และสามารถยืดเป็นฟิล์มได้

กลูเตน เกิดจากการรวมตัวของไกลอะดีน ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ปริมาณกลูเตนที่เกิดขึ้นนับว่าเป็นส่วนใหญ่ของโปรตีน (80-90%) ในแป้ง ไกลอะดีนและกลูตานินก่อให้เกิดลักษณะโครงร่างของกลูเตนจากการนวดของโด ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวของพันธะทางเคมีระหว่างกรดอะมีโน หลายรูปแบบได้แก่ พันธะโควาเลนต์(Covalent) พันธะอิออนิก(ionic) พันธะไฮโดรเจน และพันธะแวนเดอร์วอว์ล(van der walls)

ตารางที่ 3 พันธะของโปรตีนที่สำคัญในโปรตีนของโด

ชนิดของพันธะ	ลักษณะการเกิด	พลังงาน กิโลแคลอรี่/โมล
โควาแลนต์	**พันธะระหว่างอะตอมคู่อิเล็กตรอน**	**30-100**
อิออนิค	**พันธะระหว่างประจุตรงข้าม**	**10-100**
ไฮโดรเจน	**พันธะในลักษะอิเล็กโทรเนกะทีฟของอะตอมระหว่างไฮโดรเจน(กับออกซิเจน)**	**2-5**
แวน เดอร์ วอว์ล	**พันธะที่เกิดระหว่างกลุ่มที่ไม่มีประจุ**	มากถึง 0.5

ที่มา: Pyler, 1973

พันธะโควาเลนต์ในโครงร่างของกลูเตน ก็คือพันธะเพปไทด์ ที่เชื่มระหว่างกรดอะมิโนทั้งลักษณะภายในและภานนอกของโมเลกุล ด้วยวิธีอิเล็กตรอนร่วมกันระหว่างสองอะตอมทำให้มีพลังงานสูงในการเชื่อมกันเป็นพันธะระหว่างซัลเฟอร์ เรียกว่า ไดซัลไฟด์ (disulfide linkage) ของกรดอะมิโนซีสทีนในโปรตีนโมเลกุล ซึ่งนับเป็นพันธะที่มีความสำคัญต่อความยืดหยุ่นของกลูเตน

พันธะอิออนิกหรือพันธะเกลือ เกิดจากแรงดึงระหว่างกลุ่มที่มีประจุตรงกันข้าม เป็นพันธะที่มีจำนวนน้อยในกลูเตน ส่วนพันธะไฮโดรเจน เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโปรตีนของไฮโดรเจนกับอะตอมของไนโตรเจนหรือออกซิเจนซึ่งถึงแม้ว่าจะมีแรงยึดเหนี่ยวต่ำ แต่ก็มีจำนวนมากในกลูเตน จึงมีความสำคัญต่อลักษณะโครงสร้างของกลูเตนมากกว่าพันธะชนิดอื่น สำหรับพันธะแวน เดอร์ วอล์ล นั้นเกิดระหว่างกรดกรดอะมิโนที่ไม่มีประจุกับกรดไขมันหรือระหว่างสตาร์ชกับกลีเซอไรด์ ซึ่งพันธะนี้นับว่ามีกำลังอ่อนที่สุด แต่ก็จะมีต่อลักษณะของกลูเตนโดยก่อให้เกิดลักษณะการไม่ชอบน้ำ ระหว่างกลุ่มของโปรตีนที่ไม่มีประจุ(nonpolar group)

พันธะไฮโดรเจนมีความสำคัญต่อโครงร่างของกลูเตนมากเนื่องจากมีจำนวนมากถึง 42 % และมักจะเกิดขึ้นระหว่างกรดอะมิโนกลูทามิกในรูปกลูทามีน ส่วนกรดอะมิโนโปรลีนมีผลทำให้เกิดทำให้เกิดการหักหรือเป็นเกรียว ของพอลิเพปไทด์ซึ่งมีอยู่ประมาณ 14 % สำหรับพันธะที่เกิดระหว่างกลุ่มกรดอะมิโนที่ไม่มีประจุ จะมีอยู่ 7% ส่วนที่เกิดพันธะระหว่างประจุหรือประจุลบมีจำนวนน้อย พันธะสำคัญอีกชนิดหนึ่งที่มีผลต่อโครงร่าง ของกลูเตนคือ พันธะโดซัลไฟด์ เนื่องจากเป็นพันธะบวกที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้ โดยวิธีทางกายภาพและทางเคมีซึ่งวิธีทางกายภาพหมายถึงการผสม การนวดจนเป็นโด มีส่วนทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของพันธะ(Brownian motion) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งทำให้โครงร่างกลูเตนมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ส่วนวิธีทางเคมีหมายถึงการเติมสารเคมี ซึ่งมีผลทำให้

ปริมาณพันธะไดซัลไฟด์เพิ่มขึ้นหรือลดลง กลูเตนจึงมีความยืดหยุ่นน้อยลงส่วนสารประกอบออกซิไดส์ เช่น สารที่มีไอโดเดต และโบรเมตเป็นองค์ประกอบ จะช่วยให้มีพันธะไดซัลไฟด์ในกลูเตนเพิ่มขึ้น

ในขณะที่ทั้งไกลอะดินและกลูเตนิน ซึ่งเป็นพันธะไดซัลไฟด์เหมือนกัน ปรากฏว่าลักษณะพันธะของไกลอะดินจะเป็นแบบเชื่อมกันภายในโมเลกุลมาก (intra molecular bonding) ส่วนกลูเตนินมีพันธะแบบเชื่อมภายนอกโมเลกุลมากกว่าแบบแรก (inter molecular bonding) ลักษณะที่แตกต่างกันนี้เนื่องจากองค์ประกอบของกรดอะมิโน ที่เรียงลำดับในสายพอลิเพปไทด์ที่ต่างกัน มีผลทำให้โครงร่างและลักษณะของไกลอะดิน และกลูเตนินต่างกันในทางกายภาพกล่าวคือ ไกลอะดินจะมีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 20,000 ถึง 40,000 เนื่องจากมีพันธะเชื่อมภายในเป็นส่วนมาก ส่วนกลูเตนินจะมีน้ำหนักโมเลกุลมากระหว่าง 50,000 ถึง 1,000,000 หรือมากกว่า ดังนั้นไกลอะดินจึงมีคุณสมบัติในการไหลยืดได้ดีกว่ากลูเตนินซึ่งมีลักษณะเหนียวคล้ายยาง แต่เมื่อรวมกันเป็นเตนจะได้ลักษณะเหมาะสม มีความยืดหยุ่นพอดี

ลักษณะพิเศษของกลูเตนดังกล่าวที่พูดมานี้เอง ทำให้แป้งสาลีเหมาะสมในการทำเป็นขนมปังได้ดีกว่าแป้งชนิดอื่นที่ไม่มีกลูเตน หรือกลูเตนแต่มีสัดส่วนขององค์ประกอบไม่เหมาะสมเนื่องจากในกระบวนการทำขนมปังนั้น ต้องการโครงร่างของกลูเตน ที่แข็งแรง ยืดหยุ่น สามารถอุ้มก๊าซที่เกิดจากกระบวนหารหมัก และคงรูปร่างเมื่อเข้าเตาอบ ได้เป็นขนมปังที่มีเนื้อเหนียวพอดี เป็นเส้นใย ซึ่งผู้บริโภคทั่วไปยอมรับ

2.4 ขนมปัง

2.4.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำขนมปัง

2.4.1.1 แป้งสาลี

แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรรี่ทุกชนิด ทั้งนี้เพราะแป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด ที่รวมกันอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสมคือ กลูเตนิน และไกลอะดิน (Glutenin & Gliadin)ซึ่งเมื่อแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ถูกต้องจะทำให้เกิด “กลูเตน” (Gluten)ที่มีลักษณะเป็นยางเหนียวๆยืดหยุ่นได้ กลูเตนนี้จะเป็นตัวเก็บก๊าซไว้ทำให้เกิดโครงร่างที่จำเป็นของผลิตภัณฑ์และจะเป็นโครงร่างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ

ก. องค์ประกอบของแป้งสาลี

แป้งสาลีที่ได้จากการโม่โดยแยกส่วนของแป้งเอนโดสเปอร์มออกมาแล้ว จะประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆโดยเฉลี่ยดังนี้

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของแป้งสาลี

องค์ประกอบ	ร้อยละ
คาร์โบไฮเดรต	79.01
โปรตีน	8.39
น้ำตาล	1
ความชื้น	7.07
แร่ธาตุ(เถ้า)	3.08
ไขมัน	0.43
อื่นๆ	2.02

ที่มา : จิตธนา และอรอนงค์ , 2537

แป้งสาลีจะประกอบด้วยโปรตีนซึ่งเมื่อผสมกับน้ำหรือของเหลวชนิดอื่นแล้วจะได้กลูเตน ซึ่งเป็นสารที่มีลักษณะเหนียว เป็นยาง และยืดหยุ่นได้ กลูเตนประกอบด้วยกลูเตนิน และไกลอะดิน ในอัตราส่วนเท่าๆกัน กลูเตนินจะทำให้ก้อนโดหรือก้อนแป้งผสมมีกำลังที่จะอุ้มก๊าซที่ขึ้นฟูไว้ได้ ซึ่งจะเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ส่วนไกลอะดินนั้นทำให้กลูเตนมีคุณสมบัติในการยืดตัว และยืดหยุ่นได้ นั่นคือ กลูเตนินนั้นให้ความแข็งแรงกับกลูเตน และไกลอะดินซึ่งเป็นสารที่อ่อน และเหนียวจะเป็นตัวเชื่อม ดังนั้น ไกลอะดินจะติดอยู่กับกลูเตนินและป้องกันไม่ให้กลูเตนินถูกล้างออกไปในกระบวนการสกัดกลูเตนออกมา

ข. คุณลักษณะของแป้งสาลี

เพื่อที่จะทำผลิตภัณฑ์ให้ได้ผลดี ควรใช้แป้งที่มีคุณลักษณะต่อไปนี้

- สีของแป้ง (Color) สีของแป้ง มีผลต่อคุณภาพอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์ แป้งที่ดีควรมีสีขาว ถ้าหากมีสีอื่นปน เช่น สีเหลืองอ่อนของแซนโทฟิลล์ หรือสีครีม จะทำให้ขนมปังมีเนื้อใน (crumb)ที่มีสีไม่ดี ดังนั้นแป้งที่โม่ออกมาจึงควรผ่านการฟอกสีก่อน

- กำลังของแป้ง(Strength)หมายถึง พลังที่แป้งสามารถจะอุ้มก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักได้ดี เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีการขึ้นฟูและมีปริมาตรที่ดี

- การทนต่อสภาพต่างๆของแป้ง(Tolerance)หมายถึง ลักษณะของแป้งที่มีความสามารถต่อสภาพการผสมนานๆทนต่อการรีด และกระบวนการอื่นๆโดยที่

กลูเตนไม่ฉีกขาด ความทนต่อสภาพต่างๆนี้ สัมพันธ์โดยตรงกับกลูเตน แป้งที่มีความทนต่อสภาพต่างๆสูง จะหมักได้นาน และได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรดี

- ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งสูง(High water absorption)หมายถึง แป้งที่มีคุณลักษณะในการดูดซึมน้ำได้มากพอที่จะทำให้คุณภาพของแป้งยังคงสภาพดีอยู่ ผลของการที่แป้งดูดซึมได้มากจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรมากขึ้น เนื้อในขนมไม่แห้ง ทำให้มีคุณภาพในการเก็บที่ดี

- ความสม่ำเสมอเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของแป้ง (Uniformty) อาจหมายถึงความสม่ำเสมอในสี ขนาดของแป้งและทั่วๆไป ถ้าแป้งขาดความสม่ำเสมอแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำในแต่ละครั้งไม่เหมือนกัน จึงควรทำการตรวจสอบก่อนที่จะทำผลิตภัณฑ์ทุกครั้ง

หน้าที่ของแป้งสาลีที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์

ส่วนใหญ่แล้วแป้งสาลีเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการช่วยให้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์และทำให้ผลิตภัณฑ์คงรูปอยู่ได้เมื่ออบเสร็จแล้ว เป็นส่วนผสมหลักที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทุกชนิด ถ้าปราศจากแป้งแล้วจะไม่สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้เลย ดังนั้นจึงควรเลือกแป้งที่มีคุณลักษณะที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะทำ

ค. สารอาหารในแป้ง

<u>คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)</u>

เป็นสารอินทรีย์จำพวกอัลดีไฮด์และคีโตน ที่มีหมู่ –OH หลายหมู่อยู่ในโมเลกุลธาตุที่มีองค์ประกอบหลักคือ carbon, hydrogen, oxygen แป้งประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนสองชนิดเป็นส่วนใหญ่คือ อะไมโลส (Amylose) 15-20% และอะไมโลเพคติน (Amylopectin)80-85%

อะไมโลส เป็นสารที่ละลายน้ำได้ประกอบไปด้วย α-D-glucose เชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงที่ตำแหน่ง 1,4 อะไมโลสประกอบด้วยกลูโคส 70-300 หน่วยแป้งแต่ละชนิดประกอบด้วยอะไมโลสในปริมาณต่างๆกัน

อะไมโลเพคติน มักปรากฏในส่วนที่หุ้มเม็ดแป้ง ไม่ละลายน้ำและประกอบไปด้วย α-D-glucose เชื่อมต่อกันเป็นลูกโซ่ที่ตำแหน่ง 1,4 และจะมีสาขาแตกออกไปที่ตำแหน่ง 1,6 ในโมเลกุลหนึ่งๆของอะไมโลเพคติน จะมีลูกโซ่ดังกล่าวจำนวนมากและแต่ละลูกโซ่จะมีกลูโคส 20-30 หน่วยในหนึ่งโมเลกุลของอะไมโลเพคตินอาจมีกลูโคสถึง 100,000 หน่วยปริมาณของอะไมโลสหรืออะไมโลเพคตินในแป้งต่างๆจะแตกต่างกันออกไป

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลมีหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ, pH, และขนาดของเม็ดแป้ง เม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กจะเป็นเจลที่อุณหภูมิต่ำกว่าเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่กว่า เมื่อนำเม็ดแป้งไปใส่ในน้ำเย็นจะเกิดการเปลี่ยนแปลง 3 ขั้นคือ

ขั้นที่1 เม็ดแป้งจะดูดน้ำประมาณ 25-30%

ขั้นที่2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็วและดูดน้ำเข้าไปมาก ซึ่งจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิประมาณ 65 °C เม็ดแป้งสามารถดูดน้ำเข้าไปได้มากถึง 2,500% ซึ่งขึ้นอยู่กับน้ำหนักเดิมของเม็ดแป้ง ในขั้นนี้โมเลกุลบางส่วนของแป้งจะละลายน้ำ ดังนั้นของเหลวจะให้สีกับไอโอดีน

ขั้นที่3 เม็ดแป้งจะขยายตัวขึ้น เม็ดแป้งจะถูกทำลายและแป้งจะออกมาอยู่ในน้ำ ความเหนียวของของเหลวจะเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งจะเกาะติดกันและไม่อาจดึงออกจากกันได้

การพองตัวของแป้งโดยเฉพาะอะไมโลสทำให้แป้งเหนียวและเกิดเป็นเจลขึ้น ในเม็ดแป้งโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงขึ้น พันธะไฮโดรเจนในน้ำและในแป้งถูกทำลาย น้ำจะซึมเข้าไประหว่างโมเลกุลของแป้งจึงทำให้แป้งมักเพิ่มขนาดหรือพองตัวเพราะโมเลกุลของน้ำเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลแป้ง แป้งต่างชนิดกันจะมีช่วงเวลาเป็นเจลต่างกัน

นอกจากคาร์โบไฮเดรตทั้งสองชนิดนี้แล้วยังมีคาร์โบไฮเดรตชนิดอื่นๆอีกเช่น cellulose ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำและทำตัวละลายส่วนใหญ่ เอนไซม์ในร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้และมีประโยชน์ในแง่เพิ่มใยอาหาร

Hemicellulose เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำเช่นเดียวกับเซลลูโลสแต่มีส่วนประกอบของน้ำตาลอย่างง่ายกว่าเมื่อไฮโดรไลซ์เฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่จะได้เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างทางเคมีต่างจากเซลลูโลส แต่ไม่สามารถย่อยและดูดซึมในร่างกายของมนุษย์เช่นเดียวกัน

Soluble suger ได้แก่ น้ำตาลเพนโตส น้ำตาลเฮกโซสต่างๆ

โปรตีน (Protein)

โปรตีนในเมล็ดธัญพืช ซึ่งนำมาผลิตแป้งส่วนมากมักเป็นโปรตีนที่มีกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายไม่ครบถ้วนหรือมีกรดอะมิโนในสัดส่วนที่ไม่สมดุล เช่น โปรตีนในข้าวและข้าวสาลีมักจะขาดไลซีน เมไทโอนีน หรือ ทริปโตเฟน ข้าวโพดมักขาดทริปโตเฟนแต่บางสายพันธุ์จะมีไลซีนสูง โปรตีนในเมล็ดพืชส่วนใหญ่คือ โกลบูลินซึ่งเป็นโปรตีนก้อนกลม ละลายในน้ำซึ่งมี pH สูงหรือต่ำกว่าจุดไอโซอิเล็กตริก (isoelectric point) ของมันซึ่งปกติมักจะอยู่ที่ pH 4-5 ส่วนข้าวสาลีโปรตีนในเอ็นโดสเปอร์มซึ่งเป็นสารจำพวกแป้ง 80-90%จะเป็นไกลอะดิน (gliadin) ในอัตราส่วน 1:1 เรียกว่ากลูเตน (gluten)

กลูเตนิน(glutenin) เป็นโปรตีนชนิดโพรลามิน (prolamin) ซึ่งคุณสมบัติคือ ไม่ละลายน้ำแต่ละลายในแอลกอฮอล์ 70-80% ไม่รวมตัวกันเป็นก้อนด้วยความร้อนมีขนาดโมเลกุล >10 ดาลตัน มีลักษณะเหนียวคล้ายยางเป็นตัวทำให้กลูเตนยืดหยุ่น(ในข้าวโพดก็มีโปรตีนชนิดโพรลามินชื่อเซอิน)

ไกลอะดิน(gliadin) เป็นโปรตีนชนิดชนิดกลูเตลินละลายได้ในกรดหรือเบสเจือจางแต่ไม่ละลายในตัวทำละลายที่เป็นกลาง มีขนาดโมเลกุลประมาณ 40,000 ดาลตัน มีคุณสมบัติในการไหลยืดได้ดีกว่ากลูเตนิน

กลูเตน มีคุณสมบัติในการทำให้เกิดลักษณะที่เกาะกันแน่นเมื่อนำแป้งสาลีไปผสมกับน้ำแล้วนวดให้เข้ากันนอกจากกลูเตนแล้วแป้งสาลียังมีแป้งสาลีชนิดอื่นคือกลูตามีน (glutamine) ประมาณ37%โพรลีนประมาณ14%ของกรดอะมิโนทั้งหมดนอกจากนี้ยังมีอัลบูมินและโกลบิลินประมาณ15-20% โปรตีนทั้งสองนี้ช่วยให้เกิดการรวมตัวกันและอัลบูมินมีผลต่อการทำให้ขนมขึ้นฟูอีกด้วย

คุณสมบัติของโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบของแป้งในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

1. ช่วยในการดูดน้ำของแป้ง ทำให้ก้อนขนมเหนียวง่ายในการทำขนม
2. ช่วยในการฟูของแป้ง
3. ช่วยทำให้โครงสร้างและรูปทรงของขนมแข็งแรง
4. ช่วยป้องกันการสูญเสียน้ำให้ช้าลง
5. ช่วยทำให้สีขนมดีและมีกลิ่นหอม
6. ทำให้กลิ่นอับของขนมเกิดช้าลง

นอกจากโปรตีนและกลูเตนซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของแป้งสาลีแล้ว ในแป้งสาลียังมีเอนไซม์ที่สำคัญ คือ บีตา-อะไมเลส (β-amylase)และแอลฟา-อะไมเลส (α-amylase) เอนไซม์เหล่านี้จำเป็นสำหรับการทำขนมปัง โดยบีตา-อะไมเลสจะทำการย่อยเด็กซ์ทริน(dextrin) และสารละลายสตาร์ชส่วนหนึ่งให้เป็นน้ำตาลมอลโทส ซึ่งเป็นน้ำตาลที่จำเป็นสำหรับยีสต์ในการนำไปใช้เป็นอาหารในระหว่างการหมัก เอนไซม์ชนิดนี้ไม่ทนความร้อน การทำงานจะเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนของการหมัก

แอลฟา-อะไมเลส จะทำการย่อยสารละลายสตาร์ชให้เป็นเด็กซ์ทรินในระหว่างกระบวนการหมัก การทำงานของเอนไซม์ชนิดนี้มีไม่มากนัก แต่จะทนความร้อนได้สูงถึง 70-75 °C และที่จุดนี้เองแอลฟา-อะไมเลส จะเริ่มทำงานหรือกล่าวได้ว่า การทำงานของแอลฟา-อะไมเลสจะเพิ่มขึ้นในตอนแรกๆของการอบ และผลิตภัณฑ์จะดีหรือไม่ย่อมขึ้นอยู่กับการทำงานและประมารของเอนไซม์ชนิดนี้

ไขมัน (Lipid)

มากกว่า 50%ในเมล็ดธัญพืชเป็น Polyunsaturated fatty acid ซึ่งช่วยป้องกันการอุดตันของเส้นเลือดได้ นอกจากนี้ธัญพืชยังมีวิตามินอีซึ่งเป็น natural antioxidant ป้องกันการเหม็นหืนในน้ำมันพืช

ในแป้งสาลีมีปริมารไขมันเพียงเล็กน้อย (0.8-1.5%)แต่มี essential fatty acid อยู่สูงที่พบจากมากไปน้อยคือ linolcicacid, palmitic acid และ olcic acid นอกจากนี้ยังพบไขมันในรูปของ phospholipid, glycolipid อีกด้วย

เกลือแร่

ในแป้งสาลีมีปริมาณเกลือแร่เพียง 0.3-0.6% เท่านั้น

2.4.1.2 น้ำ

วัตถุดิบที่สำคัญอันดับรองจากแป้งสาลีก็คือน้ำ ซึ่งน้ำที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่นั้นอาจเป็นน้ำทั่วๆไป หรือเป็นน้ำที่อยู่ในน้ำนม หรือน้ำผลไม้ก็ได้ ก็คือเป็นของเหลวที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ น้ำจัดเป็นส่วนผสมที่มีราคาถูกที่สุดในการทำขนมปัง และเป็นส่วนผสมหลักสำคัญมากที่ขาดไม่ได้ เนื่องจากน้ำมีหน้าที่รวมตัวกับโปรตีนในแป้งให้เกิดเป็นกลูเตน

หน้าที่ของน้ำที่มีต่อผลิตภัณฑ์

น้ำทำหน้าที่หลายอย่างในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรรี่ดังนี้ คือ

- ทำให้เกิดกลูเตน
- น้ำช่วยควบคุมความหนืดของโด เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้จะแสดงให้เห็นถึงความหนืดของโด
- น้ำช่วยควบคุมอุณหภูมิของโด และการที่จะทำให้โดมีความอุ่นหรือเย็นสามารถควบคุมที่น้ำได้
- น้ำช่วยละลายเกลือ และส่วนผสมอื่นๆที่ไม่ใช่แป้ง เช่น น้ำตาล เกลือ และโปรตีนที่ละลายน้ำได้ให้เป็นเนื้อเดียวกัน
- น้ำจะทำให้สตาร์ชเปียก และเกิดการพองตัวทำให้ย่อยง่าย
- ช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้ดี
- ช่วยให้เก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน
- ช่วยการกระจายยีสต์ในการหมักโด

2.4.1.3 ยีสต์

เป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดการหมัก และยังเป็นอาหารที่มีคุณค่าอีกด้วย เพราะเป็นแหล่งของวิตามินและเอนไซม์ที่สำคัญ ยีสต์เป็นตัวที่ทำให้โดหมักที่มีความหนักเปลี่ยนเป็นเบาตัว มีความยืดหยุ่น และมีรูอากาศ ซึ่งเมื่อนำไปอบแล้วจะเป็นอาหารที่มีคุณค่าและย่อยง่าย สำหรับการทำขนมปังนั้นยีสต์จะทำหน้าที่ตั้งแต่เริ่มผสมนวดแป้ง จนกระทั่งนำโดที่นวดได้ไปอบ และจะหยุดทำหน้าที่เมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ หรือจากแหล่งอื่นที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ให้สุก

ยีสต์ที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มี 3 ชนิด คือ ยีสต์สด ยีสต์แห้งชนิดเม็ด และยีสต์แห้งชนิดผง

ก. ยีสต์สด

เป็นยีสต์ที่ผลิตขึ้นและเลี้ยงโดยการอัดรวมกันกับอาหารของยีสต์ที่เปียกชื้นเป็นก้อนแข็ง ห่อด้วยกระดาษตะกั่วหรือพลาสติกที่กันน้ำได้ ยีสต์สดจะมีความชื้นอยู่ประมาร 70% การทำงานของยีสต์จะช้าลงเมื่ออุณหภูมิต่ำ ดังนั้นยีสต์สดจึงควรเก็บในตู้เย็นถ้าจะเก็บไว้นานเกิน 1 วัน และอาจจะเก็บไว้ได้นานเป็นสัปดาห์โดยไม่เสื่อมคุณภาพที่อุณหภูมิ 50 °F เก็บได้นานเป็นเดือนที่อุณหภูมิ 30 °F

ควรทำให้ยีสต์สดแตกแล้วละลายในน้ำก่อนที่จะเติมลงไปในแป้งเสร็จแล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5-10 นาที ก่อนที่จะนำไปใช้ ยีสต์สดมีราคาถูก และให้กลิ่นของยีสต์ที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย

ข. ยีสต์แห้งชนิดเม็ด

เป็นยีสต์สดที่ผ่านกระบวนการทำแห้งที่อุณหภูมิต่ำ 95 °F ถึง 104 °F โดยให้มีความชื้นลดลงเหลือประมาณ 8% มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆท่อนสั้น ยีสต์แห้งเป็นยีสต์ที่อยู่ในสภาพที่เหมาะสม ซึ่งควรเป็นสภาพที่แห้งและเย็นการกลับคืนสภาพของยีสต์แห้งชนิดเม็ดนั้นทำได้โดยใช้น้ำอุ่นที่มีอุณหภูมิ 100 °F สัดส่วนของน้ำที่ใช้ประมาณ 5 เท่า ของน้ำหนักยีสต์

ค. ยีสต์แห้งชนิดผง

เป็นยีสต์แห้งที่มีลักษณะเป็นผงละเอียด มีความสามารถในการหมักสูง ไม่ต้องละลายน้ำก่อนนำไปใช้ วิธีใช้ก็คือ ผสมไปกับแป้งโดยตรงก่อนที่จะนำไปผสมกับส่วนอื่นๆหรือจะเติมลงไปหลังจากผสมแป้งกับส่วนผสมอื่นแล้วใน 1 นาที

สำหรับการใช้ยีสต์ทั้ง 3 ชนิดนี้ จะให้ผลใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากยีสต์ทั้ง 3 ชนิดนี้มีกำลังในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่างกัน คือยีสต์สดจะมีกำลังในการหมักต่ำสุด ยีสต์เม็ดจะ

33505

รองลงมา และยีสต์ผงจะมีกำลังในการหมักสูงสุด ดังนั้นปริมาณการใช้ยีสต์ทั้งสามนี้เมื่อเทียบกันแล้วจะมีอัตราการใช้ดังนี้ ยีสต์สด : ยีสต์แห้งชนิดเม็ด : ยีสต์แห้งชนิดผง เท่ากับ 2.5:1:0.5

2.4.1.4 ไขมัน

ไขมันและน้ำมันที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรรี่ได้มาจากทั้งพืชและสัตว์ สำหรับไขมันที่ได้จากสัตว์ ได้แก่เนยสด ส่วนไขมันที่ได้จากพืช เช่น เมล็ดฝ้าย ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ข้าวงา มะพร้าว น้ำมันปาล์ม เป็นต้น ไขมันและน้ำมันแต่ละอย่างนั้นมีคุณสมบัติและองค์ประกอบต่างกันไปตามชนิดของไขมัน และน้ำ

<u>หน้าที่ของไขมันในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรรี่</u>

- ให้ความอ่อนนุ่ม และให้กลิ่นรสที่ดี
- ช่วยในการกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น โดยทำให้กลูเตนมีความแน่นจนอากาศเข้าไม่ได้ ซึ่งทำให้ปริมาตรและเปลือกนอกของขนมปังดีขึ้น
- ช่วยหล่อลื่นกลูเตนให้ยืดหดได้ดี โดยช่วยการขยายตัวของผนังเซลล์และจัดโครงสร้างของกลูเตน ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มปริมาตรของขนมปัง

2.4.1.5 น้ำตาล

น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึก ละลายได้ดีในน้ำและมีรสหวาน จัดอยู่ในอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต โดยมากใช้น้ำตาลทรายละเอียดเพื่อทำให้เกิดการกระจายกับส่วนผสมของแป้งสาลี น้ำตาลทรายละเอียดจะละลายง่าย ช่วยให้โดมีความคงตัวดีขึ้น

<u>หน้าที่ของน้ำตาลที่มีต่อผลิตภัณฑ์</u>

1. ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์
2. ช่วยในการตีครีม และตีไข่ให้มีความคงตัว และขึ้นฟู
3. ช่วยให้เนื้อขนมดี
4. ช่วยเก็บความชื้น และทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มอยู่ได้นาน
5. ทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์มีสีดี
6. เพิ่มคุณค่าทางอาหารแก่ผลิตภัณฑ์

2.4.2 กรรมวิธีการผลิตขนมปัง

การผลิตขนมปังโดยเฉพาะขนมปังขาว ที่นิยมบริโภคมากที่สุดในประเทศสหรัฐอเมริกาและทั่วโลกนั้นทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมกันมากได้แก่ การผลิตแบบสพันซ์โด

(sponge dough) แบบสเตรตโด (straight dough) แบบต่อเนื่อง (continuous mix) หรือแบบหมักโดเหลว (liquid-ferment process) ซึ่งจะเลือกผลิตโดยใช้วิธีหนึ่งวิธีใดก็ได้ ดังนี้

2.4.2.1 แบบสพันซ์โด เป็นวิธีการผลิตขนมปังที่นิยมมากที่สุดในอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทนสภาพของการผลิตได้ดีลได้ขนมปังที่มีกลิ่นรสดีที่สุด

วิธีนี้โดจะประกอบด้วยแป้ง (65% ของแป้งทั้งหมด) กับปริมารเล็กน้อยของส่วนผสมระหว่างยีสต์และน้ำ ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเทใส่ถังเพื่อหมักนานประมาณ 4.5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 25°C เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปริมาตรของขนมปังสพันซ์โด (sponge dough) จะเพิ่มขึ้น 4-5 เท่า เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก จากนั้นสพันซ์โดจะถูกส่งไปเข้าเครื่องผสมโด เพื่อผสมกับแป้งและส่วนผสมอื่นๆ ให้เข้ากันดี ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่เกิดเนื่องจากคุณสมบัติพิเศษเฉพาะของแป้งสาลีที่โปรตีนและไขมันเมื่อคลุกเคล้าผสมกันดีกับน้ำ จะเกิดเป็นกลูเตนอยู่ในโดซึ่งมีคุณสมบัติในการเกิดเป็นฟิล์มบางเก็บกักก๊าซไว้และดันให้โดขึ้นฟู โดที่ได้นี้จะถูกเก็บไว้ในถังหรือห้อง นานประมาณ 20-30 นาที เพื่อให้โดพักตัว เพื่อเตรียมพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยาต่อไป แล้วจึงนำโดเข้าสู่เครื่องตัด เพื่อแบ่งโดให้เป็นก้อนกลมๆ ให้เป็นแผ่นบาง แล้วม้วนแผ่นที่ได้ให้เป็นทรงกระบอก นำเข้าไปหมักครั้งสุดท้ายในกล่องพรู๊ฟ (proof box) นานประมาณ 1 ชั่วโมง โดยปรับให้มีอุณหภูมิ 35-43 °C และมีความชื้นสัมพัทธ์ 80-95% ชิ้นของโดก็จะขยายตัวจนได้ปริมาณตามต้องการได้เป็นพรู๊ฟโลฟ (proof loaves) ที่พร้อมจะถูกนำเข้าอบในเตาอบ เมื่อถูกความร้อนคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในโดจะขยายตัวดันให้ขนมปังพองตัวออกดังที่เรียกว่าโอเวนสปริง (oven spring) ความร้อยจากไอและไอจากแอลกอฮอล์มีส่วนช่วยให้ขนมปังขยายตัวดีขึ้น ในระหว่างนี้เอนไซม์ต่างๆ ยังคงทำงานอยู่จนอุณหภูมิถึง 75 °C ซึ่งแป้งจะเจลาติไนซ์ (gelatinize)และรูปร่างของโดจะอยู่ตัว ในเวลาต่อมาเมื่ออุณหภูมิที่ผิวหน้าของขนมปังสูงถึง 130-140 °C น้ำตาลจะทำปฏิกิริยาทางเคมีกับโปรตีนชนิดละลายน้ำได้ ทำให้เกิดสีของเปลือกขนมปังที่น่ารับประทาน ในที่สุดขนมปังจะถูกทำให้เย็นแล้วนำเข้าเครื่องตัดเป็นแผ่นบางในกรณีผลิตขนมปังแบบแผ่นบาง (sliced bread) แล้วจึงบรรจุหีบห่อเพื่อจำหน่ายต่อไป

2.4.2.2 แบบสเตรดโด เป็นวิธีการผลิตขนมปังที่คล้ายแบบสพันซ์โด ทำโดยผสมส่วนผสมของสเตรดโดให้เข้ากันดีแล้วปล่อยให้เกิดการหมักนานประมาณ 2-4 ชั่วโมง โดยขั้นตอนอื่นๆ นั้นเหมือนกับแบบ

สพันซ์โดทุกประการ ดังนั้นจะเห็นว่าวิธีแบบสเตรดโดมีความทนต่อสภาพการผลิตได้น้อยกว่าแบบสพันซ์โด นอกจากนี้ขนมปังที่ได้ยังมีรสจืดกว่าแบบสพันซ์โด จึงไม่เป็นที่นิยมผลิตในระดับอุตสาหกรรม มีใช้บ้างก็เพียงโรงงานผลิตขนมปังขนาดเล็ก หรือเมื่อโรงงานผลิตขนมปังขนาดใหญ่จะผลิตขนมปังชนิดพิเศษเท่านั้น

2.4.2.3 แบบต่อเนื่อง เป็นวิธีผลิตขนมปังแบบต่อเนื่องเพื่อลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้นและสม่ำเสมอ ในขั้นแรกจะเริ่มการหมักแป้งในถังหมักนานประมาณ 1 ชั่วโมง ต่อมาในขั้นที่สองจะเติมน้ำเกลือ และน้ำตาลเข้าไปในแป้ง แล้วทำการหมักต่ออีก 2.5 ชั่วโมง เมื่อการหมักสิ้นสุดลง ปั๊มส่วนผสมที่ได้เข้าสู่ถังผสมแล้วทำให้เย็น แป้งที่เหลือ น้ำ น้ำตาล ไขมัน ตัวออกซิไดส์ หรือส่วนผสมอื่นๆก็จะถูกส่งเข้าสู่ถังผสมเช่นกันเพื่อคลุกเคล้าให้เข้ากันดี แล้วปั๊มเข้าถังเตรียมโด (developing chamber) ซึ่งแป้งจะถูกนวดเคล้าอย่างแรงจนได้เป็นโดที่จะถูกนำมาอัด (extruded) และตัดออกเป็นโดชิ้นเล็กๆใส่ลงในกะทะก้นแบนแล้วปล่อยพักไว้ในฟรูฟเฟอร์ (proofer) แล้วจึงนำไปอบโดยวิธีเดียวกับสพันซ์โดจะได้ขนมปังแบบต่อเนื่อง (continuous mix bread) ซึ่งจะนุ่มกว่าขนมปังแบบสพันซ์โด (sponge dough bread) มีเนื้อละเอียดแต่เปราะกว่าและมีกลิ่นรสไม่ดีเท่าสพันซ์โด ด้วยเหตุนี้ขนมปังแบบต่อเนื่องจึงไม่เป็นที่นิยมกันในหลายท้องถิ่น

2.4.2.4 แบบหมักโดเหลว เป็นวิธีผลิตขนมปังที่เป็นการหมักของเหลวหรือกึ่งของเหลวที่รู้จักกันมานาน แต่ในระยะหลังได้มีการประยุกต์ใช้เครื่องมือและปั๊มช่วยในการผสมส่วนผสมต่างๆ วิธีการผลิตขนมปังแบบหมักโดเหลวนี้ของเหลวที่ใช้หมักซึ่งเป็นส่วนผสมต่างๆซึ่งจะถูกเตรียมไว้เพื่อรอการหมัก วิธีการหมักก็เหฟมือนกับวิธีการผลิตแบบต่อเนื่อง เมื่อการหมักเสร็จสมบูรณ์ส่วนผสมที่หมักแล้วและส่วนผสมที่เหลือจะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องผสมโด เกิดการคลุกเคล้าจนได้โดที่จะถูกอัดและตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในกะทะก้นแบน นำมาอบจนได้ขนมปัง โดยขั้นตอนการผลิตอื่นๆเหมือนวิธีของสพันซ์โดทุกประการ อย่างไรก้ตามการผลิตขนมปังแบบหมักโดเหลวดีกว่าแบบสพันซ์โดตรงที่ใช้เนื้อที่และแรงงานน้อยกว่าและมีวิธีการผลิตที่ถูกสุขอนามัยและสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับสภาวะต่างๆได้

2.4.3 ขั้นตอนการทำขนมปัง

2.4.3.1 ขั้นตอนการผสมโด

ขั้นตอนการผสมแป้งแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนด้วยกันคือ

1). ตอนต้นของการผสม เมื่อผสมในตอนแรกแล้วเครื่องผสมจะค่อยๆผสมส่วนต่างๆให้เข้ากัน ส่วนผสมที่เป็นน้ำจะซึมเข้าส่วนที่แห้ง ทำให้แป้งมีลักษณะที่เปียกบ้าง เกาะกันเป็นก้อนบ้างส่วนผสมจะมีลักษณะหยาบแฉะ เมื่อดึงขึ้นมาจะเหนียวติดมือ ซึ่งขั้นตอนนี้ส่วนผสมจะไม่รวมกันดี

2). นาทีต่อมา ส่วนผสมจะรวมกันเป็นก่อนที่มีความยืดหยุ่นน้อย ก้อนแป้งจะเรียบขึ้นและเริ่มแห้ง ในระยะนี้แป้งจะยังคงติดมืออยู่ข้างๆอ่างผสมและติดอยู่ที่ตะขอที่ผสมแป้ง

3). เมื่อผสมต่อไปอีก ก้อนแป้งจะรวมกันเป็นก้อนที่มีลักษณะเรียบเนียนแห้งไม่ติดกับขอบอ่างผสมอ่างผสมและตะขอที่ใช้ผสมอีกต่อไป เมื่อจับดูก้อนแป้งจะมีความนุ่ม มีความยืดหยุ่นที่พอเหมาะ เมื่อดึงขึ้นมาจะไม่เหนียวติดมือและสามารถดึงเป็นแผ่นบางๆได้ โดยไม่ฉีกขาดแสดงว่าเป็น

20387

ก้อนที่ได้รับการผสมเข้ากันดีแล้ว ก้อนแป้งที่มีลักษณะดังกล่าวเรียกว่า โด ซึ่งต่อไปจะใช้แทนก้อนแป้งที่มีลักษณะดังกล่าว

4). หลังการผสมจนได้โดที่มีลักษณะที่เหมาะสมแล้ว ควรหยุดการผสมการผสมเพราะถ้าผสมต่อไปจะทำให้โดเริ่มนิ่มจนเหลวแฉะและร้อน เมื่อดึงขึ้นมาจะติดมือเป็นสายทำให้โดขาดได้ง่ายทั้งนี้เพราะการผสมโดนานเกินไปจะทำให้กลูเตนในโดฉีกขาด ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณต่ำ เนื้อในจะร่วนและการผสมที่น้อยเกินไปจะทำให้แป้งมีความยืดหยุ่นน้อย ปริมาณของผลิตภัณฑ์ต่ำลง อาจจะแตกเป็นรอยหยาบ และอาจล้มลงได้ระหว่างการพักโดก่อนนำไปเข้าอบ หรือในขณะที่ผลิตภัณฑ์อยู่ในตู้อบ ทั้งนี้เพราะกลูเตนไม่มีการยืดตัวที่เหมาะสมในการอุ้มก๊าซในก้อนโดได้

2.4.3.2 การหมักโด

เมื่อผสมแป้งกับส่วนผสมอื่นๆ ตามขั้นตอนการผสม จนได้โดที่เหมาะสมแล้ว คือได้โดที่มีลักษณะเรียบเนียน เหนียวยืดหยุ่นดี ก็ต้องหมักโดนั้นไว้ระยะหนึ่ง จะนานเท่าใดก็ต้องขึ้นอยู่กับวิธีการทำผลิตภัณฑ์ซึ่งขึ้นอยู่กับหลายวิธี ดังกล่าวต่อไปนี้

สถานที่ในการหมักโด ควรเป็นห้องที่สะอาด ปราศจากกลิ่น สำหรับโรงงานที่ทันสมัยอาจจะมีห้องหมักโดยแยกออกไปโดยเฉพาะ ภายในห้องหมักจะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพันธ์ โดยให้มีอุณหภูมิต่ำระหว่าง 78-80 ^{0}F และมีความชื้นสัมพันธ์ประมาณ 70-78% การที่ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นด้วย ก็เพื่อป้องกันผิวหน้าของโดมิให้เปียกหรือแห้งเกินไป ซึ่งอาจจะเป็นผลต่อผลิตภัณฑ์ที่อบออกมาได้ ถ้าไม่มีห้องหมักที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ก็อาจจะใช้ผ้าขาวบางหรือผ้าคลุม เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำในโดระเหยสู่อากาศภายนอกได้ ซึ่งจะทำให้ผิวแห้ง

ถ้าไม่มีเครื่องควบคุมและความชื้นสัมพันธ์ ก็อาจใช้หม้อต้มน้ำใสไว้ในห้องหมักหรือหมักโดยมีเทอร์โมมิเตอร์ติดไว้ในที่ซึ่งสามารถมองเห็นได้ แล้วทำการควบคุมโดยใช้เปิดปิดตู้เป็นครั้งคราวถ้าอุณหภูมิในตู้หมักสูงขึ้นหรือลดลงจากที่กำหนดไว้ ซึ่งการใช้วิธีนี้เป็นการไม่ถูกต้อง แต่ก็ยังสามารถใช้แทนได้ในบางโอกาส สำหรับห้องหมักหรือตู้หมักนั้นเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับประเทศที่อากาศหนาว อุณหภูมิต่ำ ต้องสามารถควบคุมให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการมิฉะนั้นการหมักจะเป็นไปได้ไม่ดี สำหรับบางประเทศที่มีอากาศร้อนเช่นประเทศแถบเอเชีย อุณหภูมิของห้องก็เกือบจะเท่าอุณหภูมิที่กำหนดที่ใช้ในห้องหมักอยู่แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวันที่มีอากาศร้อนจัด เกือบจะไม่ต้องใช้ตู้หมักสำหรับควบคุมอุณหภูมิเลย เพียงทิ้งไว้ในอุณหภูมิของห้องและคุมด้วยผ้าเปียกหมาดๆเพื่อช่วยไม่ให้ผิวโดแห้งเกินไป เนื่องจากในฤดูร้อนความชื้นสัมพันธ์จะต่ำมาก แต่การมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่หมักมีความสม่ำเสมอเหมือนกันหมด

การหมักโดนั้นถ้าอากาศเย็นมาก ควรเพิ่มปริมาณยีสต์ที่ใช้ในสูตร และเพิ่มอุณหภูมิของโดขึ้นอีก 2-3 ^{0}F และอาจจะต้องยืดระยะเวลาในการหมักให้นานออกไปอีกเล็กน้อยและถ้าอากาศร้อนมาก

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ ลาดกระบัง

ก็ควรลดปริมาณของยีสต์ลง และลดอุณหภูมิของโดลง 3-4 ^{0}F และใช้เวลาในการหมักที่สั้นลง ก็อาจจะช่วยให้โดมีลักษณะที่เหมาะสมในการนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่อไป

ในระหว่างที่ทิ้งโดไว้นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นภายในโด โดยที่ยีสต์จะใช้น้ำตาลบางส่วนเป็นอาหาร และสตาร์จะเปลี่ยนเป็นน้ำตาล จนในที่สุดจะกลายเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอลกฮอล์ ซึ่งก๊าซนี้ที่มีส่วนทำให้โดขยายตัว เอนไซม์โปรติเอสที่มีอยู่ในยีสต์จะช่วยให้กลูเตนนุ่นและยืดตัวได้ อีกประการหนึ่งในการหมักโดไว้นั้นจะมีกรดเกิดขึ้นภายในโด ซึ่งกรดที่เกิดขึ้นนี้ก็มีส่วนช่วยให้โดยืดตัวได้เช่นกัน หลังจากที่หมักไว้นานชั่วระยะเวลาหนึ่ง โดยมีปริมาตรเพิ่มขึ้นเกือบเท่าตัว เมื่อถึงระยะเวลานั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำให้ก้อนของโดที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้นลดลง โดยการนำไปไล่อากาศออกหรือนำไปผสมใหม่กับส่วนผสมที่เหลือจากการทำผลิตภัณฑ์แต่ละวิธี

การลดปริมาตรของก้อนโดหมักนั้นเพื่อที่จะ

1).ทำให้อุณหภูมิเท่ากันทั้งหมดทั้งก้อน

2).ไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีมากเกินไปออก และเพื่อนำอากาศบริสุทธิ์ให้เข้าไปแทนที่

3).ทำให้ยีสต์ทำงานได้ดีขึ้น เนื่องจากได้รับอากาศบริสุทธิ์แทนที่

4).ช่วยให้กลูเตนที่ขยายตัวเป็นโครงสร้างมีการพักตัวพรอมที่จะขยายใหม่ได้โครงสร้างที่แข็งแรงขึ้น

โดยปกติการลดปริมาตรของก้อนโดหมักครั้งแรกนั้น จะกระทำก็ต่อเมื่อหมักโดไปได้แล้วประมาณ 80% ของระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก การทดสอบว่าก้อนโดที่หมักนั้นพร้อมที่จะลดปริมาณหรือไล่ลมออกได้หรือยังนั้น ทำได้โดยกดนิ้วลงไปในก้อนโดประมาณ 2-4 ซม. ถ้ารอยนิ้วที่กดลงไปถูกดันขึ้นมาจนเหลือรอยนิ้วบางๆบนก้อนโด แสดงว่าก้อนนั้นพร้อมที่จะไล่ลมแล้ว แต่ถ้ารอยนิ้วที่ถูกดันจนไม่เห็นรอยที่กดลงบนก้อนโด แสดงว่าไม่พร้อมที่จะไล่ลม ต้องหมักต่ออีกและถ้ารอยนิ้วที่ถูกกดลงไปไม่ถูกดันขึ้นมา เป็นรอยนิ้วปุ๋มอยู่ในโดอย่างเดิมแสดงว่า เลยเวลาไล่ลมแล้วคือหมักนานเกินไป

การลดปริมาตรของโดหรือการไล่ลมนั้นไม่ควรที่จะทำหลายครั้ง เพราะถ้าลดบ่อยๆจะทำให้แป้งหมักนั้นเหนียว แป้งแต่ละชนิดจะมีระยะเวลาในการหมักที่อุณหภูมิเหมาะสมที่ต่างกันขึ้นอยู่กับธรรมชาติของแป้ง สูตรที่ใช้และระยะเวลานำมาผสมก่อนนำมาหมัก

ระยะเวลาที่ใช้ในการหมักโดมีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ใช้ โดยการหมักโดที่เป็นไปอย่างที่ถูกต้องคือระยะเวลาการหมักและปริมาณยีสต์ที่พอเหมาะ ก็จะเป็นผลให้ปริมาณที่ได้กลิ่นหอมของยีสต์ชวนรับประทาน มีรสชาติดี มีคุณลักษณะที่พอเหมาะดีทังปริมาณและคุณภาพ สำหรับโดที่หมักนานเกินไปมักจะแฉะและอ่อน และจะแห้งเร็ว เนื้อในผลิตภัณฑ์จะร่วน ปริมาตรจะต่ำและรูปร่างลักษณะไม่น่าดู เมื่อนำมาปั้นรูปจะต้องใช้แป้งโรยมากในระหว่างการชั่งและปั้นรูป ทำให้ใช้แป้งมากเกินไป เป็นผลให้กลิ่นรสไม่ดี สีเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์จะซีด ส่วนโดที่หมักเร็วเกินไปจะทำให้ปริมาตรลดลง เพราะ

โดยังขึ้นไม่เต็มที่ สีของเปลือกนอกจากจะเข็ม กลิ่นรสไม่ดี เนื้อในของผลิตภัณฑ์ดูไม่ขาวแล้ว มีรูห่างและร่วนง่าย ทำให้มีคุณภาพที่ไม่ดีเช่นกันหลังลดปริมาตรโดลงแล้วต้องหมักให้โดเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว แล้วจึงนำมาเตรียมการขั้นต่อไป

2.4.3.3 การเตรียมโดหลังจากหมักก่อนปั้นใส่พิมพ์

หลังจากโดที่ผ่านการไล่ลมและหมักจนได้ที่แล้ว จะต้องผ่านการต่างๆก่อนนำไปใส่ในพิมพ์ คือ

ก. การตัดแป้งโดให้เป็นชิ้นๆ นำหนักเท่าๆกัน และมีขนาดที่พอเหมาะกับความต้องการก็เพื่อที่จะให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่รูปร่างดี เพราะถ้าแบ่งน้ำหนักเท่ากันแล้วจะทำให้การอบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ โดยใช้เวลาที่เท่ากัน ปกตินำหนักของก้อนโดที่อบเสร็จแล้วจะน้อยกว่าก่อนอบประมาณ 10% เนื่องจากการระเหยของน้ำในโดขณะที่อบในตู้ ดังนั้นจึงควรชั่งน้ำหนักโดที่อบเสร็จแล้วเสมอ

ข. การปั้นคลึงก้อนโดให้กลม เมือตัดแบ่งโดให้เป็นก้อนมีน้ำหนักและขนาดได้ตามต้องการแล้ว ต้องนำมาคลึงให้เป็นก้อนกลม ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็น เพราะเป็นการทำให้ก้อนโดที่ถูกตัดแบ่งมีผิวเรียบทั้งก้อน ป้องกันการให้ก๊าซหนีออกไปในทางผิวที่ถูกตัด เป็นผลให้โดสามรถอุ้มก๊าซไว้ได้ดีมากขึ้น อีกประการหนึ่งเมื่อตัดแบ่งแล้ว โครงสร้างของกลูเตนเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ ไม่เหมาะสมที่จะนำมาปั้นเป็นรูป จึงต้องคลึงให้เป็นก้อนกลมมีผิวนอกเรียบ ตึงและเนียน

ค. การพักโดหลังจากการคลึงเป็นก้อนกรม หลังจากคลึงโดให้เป็นก้อนกลมเรียบเนียนแล้ว ควรตากไว้สักครู่เพื่อให้โดคลายตัวจากาการถูกตัดและถูกคลึงโดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 8-15 นาที ขึ้นอยู่กับสภาพของโดและสภาพของห้องทำงาน

ประโยชน์ของการปั้นโดให้เป็นก้อนกลมและพักโดหลังเป็นก้อนกลมคือ

1) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างได้สัดส่วน เพราะก้อนโดมีขนาดสม่ำเสมอ

2) ทำให้ใส่พิมพ์ง่ายขึ้น

3) เนื้อของผลิตภัณฑ์จะสม่ำเสมอ ไม่มีปุ่มปน หรือนุ่มยุ่ยในบางส่วนหลังจากตัดแบ่งอย่างถูกต้องแล้ว จะได้เนื้อที่มีเซลล์สม่ำเสมอตลอดทั้งก้อน

4) กลูเตนจะยืดตัวอย่างช้าๆ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรเพิ่มขึ้น

5) ไล่อากาศที่เกินออกไปให้หมด ทำให้เซลล์ของผลิตภัณฑ์เล็กลง

6) ผิวเปลือกนอกโดเรียบเนียน จะสามารพให้โดอุ้มก๊าซไว้ในได้เมื่อมีก๊าซเกิดขึ้นอีกครั้ง

ง. การม้วนโดและการใส่พิมพ์ หลังจากพักโดแล้ว ก็นำมารีดเป็นครั้งสุดท้ายโดยอาจรีดด้วยลูกกลิ้งหรือเครื่องรีดให้เป็นก้อนโดเป็นแผ่นหนาหรือบางตามต้องการ การรีดโดก็เป็นการไล่ก๊าซที่เกิดจากการพักตัวออกไป และเพื่อให้ลักษณะและขนาดของก๊าซเซลล์ภายในโดมีขนาดที่เท่าๆกัน

เสร็จแล้วจึงม้วนโดให้เป็นไปตามรูปที่ต้องการ การม้วนโดทำให้เป็นรูปขนมปังปอนด์ ถ้าจะทำการม้วนต้องทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) โรยแป้งบนโต๊ะทำงานบางๆวางก้อนโดที่ตัดชั่งแล้วลงบนแป้งที่โรยไว้

2) กดอากาศออกด้วยมือหรือลูกกลิ้ง

3) รีดหรือดึงโดโดยออกตามยาวให้เป็นรูปรี มีความยาวเท่าขนาดของความยาวพิมพ์

4) ม้วนโดตามยาว กดริมด้วยมือให้ตะเข็บปิดสนิท

5) คลึงให้ตะเข็บกลมกลืนไปกับเนื้อโด แล้วใส่ลงพิมพ์ โดยให้ตะเข็บอยู่ด้านล่างของพิมพ์

ถ้าต้องการทำรูปของผลิตภัณฑ์อื่นก็ทำได้เช่นเดียวกัน โดยโรยแป้งเพียงบางๆแล้วรีดก้อนโดนั้นตัดหรือพับให้เป็นรูปผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ถ้าเป็นโดนัทก็ให้พิมพ์กดลงไปบนแผ่นโด ที่รีดไว้แล้วนำไปวางบนถาด

พิมพ์หรือถาดที่ใส่ก้อนโดที่เป็นรูปแล้ว ควรทาด้วยไขมันบางๆสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันมิให้โดติดพิมพ์ได้ อย่าทาไขมันที่ถาดมากเกินไป เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์หรือขนมปังอ่อนตัวโดยเฉพาะตามขอบผลิตภัณฑ์ ทำให้ยากต่อการหั่นเป็นชิ้น

2.4.3.4 การฟักตัวของโดที่ปั้นใส่พิมพ์ก่อนอบ

หลังจากปั้นโดเป็นรูปใส่ในพิมพ์แล้ว ควรทิ้งไว้ในห้องหรือในตู้ที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยมีอุณหภูมิประมาณ 95-98 ^{0}F และมีความชื้นสัมพันธ์ 80-83% การพักโดครั้งนี้เป็นครั้งสุดท้าย หลังจากที่พักครั้งแรกแล้วในระหว่างการหมัก และการพักหลังจากตัดแบ่งแล้วคลึงให้เป็นก้อนกลม วัตถุประสงค์ของการพักครั้งสุดท้ายนี้ ก็เพื่อที่จะให้โดมีปริมาตรเพิ่มขึ้นหลังจากที่ไล่ก๊าซออกไปแล้วในตอนที่รีดโดก่อนปั้นใส่รูปพิมพ์ ในขณะที่โดในพิมพ์ยีสต์ก็ยังคงทำปฏิกิริยาอยู่และจะเร็วขึ้นเพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการพักตัวครั้งสุดท้ายสูงกว่าครั้งแรกทำให้กลูเตนมีความเหมาะสมและยืดตัวได้ดีขึ้น

การตรวจว่าโดพักในพิมพ์ได้ดีหรือยังพร้อมที่จะเข้าตู้อบได้นั้น ทำโดยการใช้นิ้วมือแตะลงไปเบาๆบนโดที่ขึ้นมาเกือบเต็มพิมพ์ หรือเกือบเท่าตัว ถ้ามีรอยนิ้วติดอยู่จางๆเมื่อยกนิ้วขึ้นแสดงว่าพักตัวได้ที่แล้ว นำเข้าอบได้ แต่ถ้ารอยนิ้วหายไปเมื่อยกนิ้วขึ้น หรือถูกดันขึ้นมาจนหาย แสดงว่าโดยังคลายตัวไม่เต็มที่ ยังต้องทิ้งพักต่อไปอีก หรือถ้าแตะแล้วรอยนิ้วจมลงไปลึก ไม่ถูกดันกลับขึ้นมาแสดงว่า พักนานเกินไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแล้วมีลักษณะไม่ดีเท่าที่ควร ระยะเวลาในการพักตัวของโดครั้งสุดท้ายจะใช้เวลาประมาณ 60-65 นาที

ขั้นสุดท้ายของการทำผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยีสต์ก็คือ การอบโดที่พักได้ที่แล้วในเตาอบที่มีอุณหภูมิระหว่าง 400-500 ^{0}F โดนใช้ความร้อนในการอบประมาณ 25-26 นาทีขึ้นอยู่กับชนิดของตู้อบแลเชื้อเพลิงที่ใช้ และขนาดของผลิตภัณฑ์ที่อบ ความร้อนขนาดนี้พอที่จะทำให้โดสุกได้ที่ดีในขณะที่นำโด

เข้าอบ โดยังมีการหมักตัวอยู่ และอัตราการหมักจะเพิ่มขึ้นเมื่อได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากตู้อบ ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในโดขยายตัวเต็มที่ เป็นผลให้ปริมาตรของโดในตู้อบเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ความร้อนยังช่วยการระเหยน้ำออกจากผิวนอกของโด และทำให้เกิดเกิดการเปลี่ยนสีของเปลือกนอกเป็นสีน้ำตาล เนื่องจากปฏิกิริยาของความร้อนกับน้ำตาล แป้ง และสารประกอบอื่นๆบนผิวนอกของโด

ปกติยีสต์จะไม่ทำงานที่อุณหภูมิ 110^0F และจะตายไปที่อุณหภูมิประมาณ 130^0F เม็ดสตาร์ชที่มีอยู่ในกลูเตนจะเหนียวขึ้นที่อุณหภูมิ 149^0F และจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโดยเอนไซม์อะมิเลส ซึ่งจะมีการทำงานต่อไปจนถึงอุณหภูมิประมาณ 157-167^0F กลูเตนจะแข็งตัวเต็มที่ที่อุณหภูมิ 165^0F เป็นโครงสร้างผลิตภัณฑ์ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เปลือกนอกของโดก็จะแห้งและกลายเป็นของแข็งเป็นสีน้ำตาลและมันเป็นเงา เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างภายนอกแข็งตัวและภายในโปร่งเบาและอ่อนนุ่มน่ารับประทาน

อุณหภูมิของตู้อบและระยะเวลาในการอบนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการด้วยกันคือ

1). ขนาดและรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ถ้าผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ต้องใช้อุณหภูมิที่ปกติตามที่บ่งไว้ เพื่อมิให้เปลือกนอกไหม้ก่อนที่เนื้อในผลิตภัณฑ์สุก ถ้าผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กต้องเพิ่มอุณหภูมิในตู้อบให้สูงขึ้นเพื่อที่ให้เปลือกนอกและในของผลิตภัณฑ์สุกพร้อมกัน

2). ปริมาตรของน้ำตาลที่มีอยู่ในโดขนาดอบ ในสูตรที่มีน้ำตาลสูงนั้น จะต้องลดอุณหภูมิของตู้อบลงเพื่อมิให้เปลือกนอกไหม้เร็วเกินไป ถ้ามีน้ำตาลอยู่น้อยควรเพิ่มอุณหภูมิของตู้อบให้สูงขึ้น เพื่อมิให้เปลือกนอกมีสีน้ำตาล โดที่มีปริมาตรนมผงอยู่ประมาณ 3 % หรือมากกว่าตะทำให้เปลือกนอกหนาและแข็งเช่นขนมปังฝรั่งเศส แสดงว่า มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำตาลและไขมันอยู่ต่ำ ต้องการเวลาในการอบนานขึ้นและต้องการอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าการอบขนมปังธรรมดา

3). ผลที่ได้จากการอบ ขนมปังที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีและฟิสิกส์หลายขั้นตอน ถ้านำขนมปังออกจากตู้อบก่อนที่ปฏิกิริยาจะเสร็จสิ้นลง ก็จะทำให้ขนมปังมีกลิ่นรสและคุณภาพที่ไม่ดีพอ ถึงแม้ว่าจะได้สีของเปลือกนอกสวยก็ตาม สีและความหนาของเปลือกนอกของขนมปังนั้นขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการอบและปริมาตรน้ำตาลที่มีในโด ถ้าขนมอบไม่สุกจะทำให้กลิ่นรสไม่ดี ทำให้ขนมปังล้มได้และตัดให้เป็นชิ้นยาก

ขนมปังที่สุกดีจะสังเกตได้โดย

3.1) ผนังเซลล์ไม่ติดมือ

3.2) เอมไซม์และปฏิกิริยาของยีสต์หยุดลง

3.3) ปริมาตรน้ำที่ระเหยหายไปนั้นพอเหมาะต่อการทำให้ขนมปังคงรูปร่างที่ดีไว้

4).ความสามารถในการเก็บความร้อนของตู้อบ นอกจากรูปร่างของโด น้ำตาลในโดและผลจากการอบ ทำให้ต้องปรับอุณหภูมิของตู้อบให้สูงขึ้นหรือต่ำลงได้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดของตู้อบว่าจะร้อนหรือร้อนเร็วและร้อนนานมากแค่ไหนด้วย ถ้าตู้อบร้อนช้าจะทำให้เนื้อในของผลิตภัณฑ์

ขยายตัวมาก แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เปลือกนอกไหม้เร็วโดยเฉพาะตามขอบเป็นผลให้รูปร่างของผลิตภัณฑ์ไม่ได้สัดส่วน

5) การใช้ไอน้ำในการอบ ขนมปังบางชนิดต้องการความชื้นในระหว่างการอบเช่น ขนมปังฝรั่งเศส และขนมปังที่ต้องการให้เปลือกนอกแข็ง ถ้าไอน้ำที่ใช้ในระยะแรกของการอบมีความกดดันต่ำ (ต่ำกว่า 10 ปอนด์) ซึ่งใช้ในการให้ความร้อนชื้น ก็จะทำให้ขนมปังที่อบออกมามีดีแต่ค่าไอน้ำมากเกินไปจะไม่ดี เพราะจะทำให้เปลือกนอกของขนมปังมันและเหนียว

2.4.4 ลักษณะของขนมปังที่ดี

ปัจจัยที่ทำให้ขนมปังมีลักษณะที่ดีนั้น เป็นผลจาก

1. การใช้วัตถุที่ดี
2. วัตถุดิบที่ใช้มีความสมดุลตามวิธีการที่ใช้
3. มีการปฏิบัติที่ถูกต้อง
4. มีการควบคุมอย่างทั่วถึงทุกขั้นตอนการทำ
5. มีฝีมือในการทำดี

2.4.4.1 ลักษณะภายนอก

ก. ปริมาตร ขนมปังที่ดีจะต้องมีปริมาตรที่ดี ไม่ใหญ่เกินไป ไม่เล็กและหนักปริมาตรที่ถูกต้องจะได้จากโดที่มีการปรับสภาพของกลูเตนอย่างถูกต้อง ซึ่งจะให้ก๊าซได้ดีในระหว่างการอบ นอกจากนั้นยังมีการพักตัวครั้งสุดท้ายที่เหมาะสม มีอุณหภูมิในการอบละมีความชื้นที่ถูกต้องอีกด้วย

ข. รูปร่างที่เสมอกันทั้ง 2 ด้าน หมายถึงขนมปังที่อบออกมาแล้วเมื่อนำมาตัดจะได้ส่วนที่เท่ากันทั้ง 2 ข้าง ซึ่งส่วนใหญ่จะได้มาจากโดที่มีการหมัก การม้วน และการพักตัวครั้งสุดท้ายที่ถูกต้อง

ค. ความเลื่อมมัน เป็นความมันที่เกิดขึ้นในตัวของขนมปังเองโดยธรรมชาติ ลักษณะนี้ยากที่จะอธิบายเมื่อมองดูขนมปังแต่ละก้อน แต่ถ้านำมาวางเปรียบเทียบกับขนมปังที่ใช้เคลือบบนเปลือกนอกด้วยไขมันหรือไข่ จะเห็นความแตกต่างได้ชัดเจน ความเลื่อมมันตามธรรมชาตินั้นจะเป็นประกายเงาแสดงถึงการหมักที่ดี การใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดีและช่างที่ทำมีฝีมือด้วย

ง. สีของเปลือกนอก สีของเปลือกนอกของขนมปังไม่ได้เป็นผลจากการอบทั้งหมดทีเดียว แต่เกิดจากหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น โดที่หมักไม่ดี นอกจากนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการอบที่ต่ำหรือสูงเกินกว่าอุณหภูมิปกติ หรือความชื้นที่ไม่เพียงพอในการหมักครั้งสุดท้าย ก็จะทำให้สีของเปลือกนอกขนมปังไม่ดีได้เช่นกัน แม้ว่าจะทำขนมปังได้ดีเพียงใดก็ตาม

จ. ความสม่ำเสมอในการอบ ลักษณะที่อบได้ไม่สม่ำเสมอนั้นเกิดขึ้นจากการอบผลิตภัณฑ์ในตู้อบมากเกินไป เช่น วางพิมพ์หรือถาดชิดกันเกินไป ทำให้ความร้อนจากตู้อบกระจายไม่ทั่วถึงทุกด้านของพิมพ์ เป็นผลให้ด้านที่ไม่ได้รับความร้อนเพียงพอ ไม่เกิดสีที่ดี ทำให้ลักษณะของขนมปังไม่สม่ำเสมอ หรืออบไม่ทั่วถึงกันทั้งก้อน

ฉ. รอยแตกข้างๆเมื่ออบ ลักษณะเช่นนี้เป็นผลจากการขยายตัวภายในของก้อนโดในระหว่างการอบ ถ้าโดหมักได้ที่ มีการพักตัวและมีสภาพการอบที่ถูกต้องแล้ว รอยแตกจะสม่ำเสมอและเรียบ ทั้งนี้เนื่องจากกลูเตนอยู่ในสภาพที่มีความยืดหยุ่นที่ดีพอที่จะให้ก๊าซขยายตัวและมีความคงตัวพอที่จะเก็บก๊าซไว้ได้ ความชื้นในการตู้หมักและในตู้อบก็จะเรียบด้วยเช่นกัน อีกสาเหตุหนึ่งก็คือ การม้วนโดและการพักโดครั้งสุดท้ายก่อนการอบก็จะช่วยให้การแตกเป็นอย่างเรียบเนียนเช่นกัน

2.4.4.2 ลักษณะภายในขนมปัง

ก. สีภายใน สีของเนื้อขนมปังขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งที่นำมาใช้ การหมักและการนวดที่ถูกต้อง การใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพและอยู่ในสมดุล มีการพักโดและการอบที่ถูกต้อง จะทำให้เนื้อขนมปังเป็นเงา ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างและเซลล์ก๊าซอีกด้วย ก้อนขนมปังที่มีเซลล์เล็กจะให้แสงสะท้อนที่ดี และถ้าเป็นเซลล์ที่ตื้นจะสะท้อนแสงได้สูงสุด และเซลล์ที่ลึกจะดูดแสงไว้ ทำให้ความเป็นเงาของขนมปังไม่ดี ความบางของผนังเซลล์ก็เป็นสิ่งสำคัญ เพราะจะทำให้การสะท้อนแสงสูงสุดที่หักเหออกจากเซลล์

ข. โครงร่าง หมายถึงขนาดรูปร่างของเซลล์ที่เป็นก้อนขนมปัง โครงร่างจะต้องเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของขนมปัง โครงร่างของเซลล์เนื้อในขนมปังจะต้องกลมเล็กสม่ำเสมอ และกระจายกันอยู่อย่างทั่วถึง ซึ่งขนมปังเวียนนาจะไม่มีโครงร่างแบบนี้ โครงร่างของเซลล์ของขนมปังเวียนนาจะใหญ่และสม่ำเสมอ

วัตถุดิบที่มีคุณภาพดี การหมักที่เหมาะสม การปฏิบัติที่ถูกต้องและการพักตัวที่ดีสำคัญสำหรับโครงร่างของโดเช่นกัน นอกจากนั้นปริมาณของน้ำที่อยู่ในโดก็มีความสำคัญอีกด้วย เพราะถ้าน้ำมากเกินไป โครงร่างจะเปิด ทำให้รูก๊าซใหญ่และความกระจ่างของสีจะลดลง

ค. ความมันเงาและเนื้อสัมผัส ถ้าตัดผิวหน้าของขนมปังที่มีลักษณะที่ดีโดยที่ให้รอยตัดอยู่ในระดับตา และอยู่ในที่ๆมีแสงสว่าง จะต้องสังเกตเห็นว่าผิวหน้าที่ถูกตัดจะสะท้อแสงกลับ ซึ่งดูเป็นประกายและระยิบระยับมากมาย เรียกว่าเนื้อขนมปังนั้นมีความมันเงาเป็นผลจากการใช้วัตถุดิบในการทำที่มีคุณภาพดี มีการหมักที่ควบคุมดีและมีการนวดที่ถูกต้อง

ง. รสและกลิ่น ทั้งรสและกลิ่นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการทำขนมปัง เพราะจะมีผลต่อการบริโภค ส่วนใหญ่ความสำคัญจะมาจากวัตถุดิบที่มีคุณภาพดี ผลจากการหมักรวมกับเกลือ และสารที่ให้รสอื่นๆที่เติมเข้าไป เช่น ถ้าหมักนานเกินไปจะมีกลิ่นแรงของยีสต์และมีรสเปรี้ยวเกิดจากกรดที่เกิดขึ้นจากการหมักโดนานเกินไป เป็นต้น ถ้าหมักได้ที่จะได้กลิ่นของขนมปังที่ดี

จ. เนื้อขนมปังเรียบและมีความยืดหยุ่นที่ดี สำหรับขนมปังที่มีความยืดหยุ่นที่ดี ควรจะกลับคืนสู่สภาพเดิมเมื่อใช้นิ้วหัวแม่มือกดลงไปบนเนื้อขนมปังนั้นและไม่ทิ้งรอยนิ้วไว้ หรือมือกดบนก้อนขนมปังก็ควรจะคืนสู่สภาพเดิมเมื่อยกมือขึ้นจากการกด ความยืดหยุ่นนี้เป็นเครื่องวัดกำลังต้านทานการดึงของเนื้อขนมปัง เป็นลักษณะที่สำคัญเพราะการตัดขนมปังและการทาเนยบนแผ่นขนมปังจะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะอันนี้มาก ระยะการหมักและคุณภาพของวัตถุดิบที่ดีจะเกี่ยวข้องกับความยืดหยุ่นของเนื้อขนมปังนี้

ฉ. ความชื้น ปริมาณของน้ำไม่ได้เกี่ยวข้องกับความชื้นในขนมปังแต่อย่างเดียว แต่การหมักการกระทำของเกลือและไขมันที่เติมลงไป การอบและสภาพการเก็บก็เป็นเรื่องสำคัญอีกด้วย ขนมปังที่ทำอย่างดีจากโดที่ผ่านกระบวนการที่ยาวนาน โดยทั่วไปจะชื้นกว่าและเก็บความชื้นได้นานกว่าขนมปังที่ทำโดยใช้เวลาสั้น ทั้งนี้เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดอย่างรวดเร็วในส่วนผสมที่ไม่ละลายของโด

2.4.5 การเสื่อมเสียของขนมปัง

2.4.5.1 การเสื่อมเสียเกิดจากเชื้อรา

การเน่าเสียที่มีสาเหตุมาจากวัตถุดิบมีน้อยมาก เนื่องจากวัตถุดิบต้องผ่านกระบวนการหลายขั้นตอน และในขั้นตอนสุดท้ายยังต้องผ่านเตาอบซึ่งมีอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงไม่มีเชื้อราใดๆสามารถทนทานได้ ดังนั้นปัญหาต่างๆที่จะต้องคำนึงคือ

ก. สถานที่เก็บรักษาขนมปัง

สถานที่เก็บรักษาขนมปังควรจะสะอาดมีการระบายอากาศได้ดี ละถ้าห้องที่เก็บขนมปังนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศด้วยยิ่งดีมากขึ้น ข้อสำคัญอากาศที่ระบายถ่ายเทนั้นควรจะปราศจากฝุ่นผงและอื่นๆ

ข. เครื่องหั่นขนมปัง

ใบมีดของเครื่องหั่นขนมปังควรทำความสะอาดบ่อยๆ โดยใช้แอลกอฮอล์เช็ดให้สะอาด เพราะว่าโอกาสที่สปอร์ของเชื้อราหรืออาจจะมีสปอร์ของเชื้อแบคทีเรียติดอยู่กับใบมีดจะทำให้เนื้อภายในขนมปังมีโอกาสติดเชื้อดังกล่าวทำให้ขนมปังเน่าเสียได้

2.4.5.2 การแห้งของขนมปัง

ขนมปังจะมีคุณภาพดีที่สุดหลังจากที่นำออกจากเตาอบประมาณ 2-3 ชั่วโมง ซึ่งมีลักษณะสดและนิ่ม วิธีการทดสอบว่าขนมปังแห้ง หรือไม่นั้นทำได้ง่าย และถ้าหากกดลงไปได้เล็กน้อยแสดงว่าขนมปังแห้ง ส่วนการใช้เครื่องมือต่างๆทดสอบการขแห้งของขนมปังนั้น ไม่ค่อยได้ใช้กัน แต่การค้นคว้าทดลองเกี่ยวกับการป้องกันการแห้งนั้นยังได้ทำกันอย่างไม่หยุดยั้ง

สำหรับสาเหตุที่ทำให้ขนมปังแห้งนั้นมีอยู่ 2 ประการด้วยกัน คือ

ก. การสูญเสียความชื้นภายในก้อนขนมปัง

ข. การแห้งเนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในก้อนขนมปัง

2.4.5.3 การสูญเสียความชื้น

โดยทั่วไปแล้วขนมปังที่อยู่ในสภาพดีนั้นจะมีความชื้นต่ำ 30% ขนมปังสามารถจะ
ดูดซึมน้ำในบรรยากาศได้ถ้าหากในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์เกิน 70% และขนมปังจะสูญเสียความชื้นไปถ้าหากในบรรยากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า 70% ดังนั้น ขนมปังมีโอกาสที่จะสูญเสียความชื้นไปมาก การป้องกันหรือการยืดอายุของการแห้งนั้นมีองค์ประกอบต่างๆดังต่อไปนี้

ก. ควรใส่น้ำให้มากที่สุดในขณะทำการผสมแป้ง และควรใช้แป้งชนิดโปรตีนสูง ทั้งนี้เพื่อให้การดูดซับน้ำดำเนินไปด้วยดี แต่การใส่น้ำจะต้องระวังไม่ควรจะให้มากเกินไป เพราจะทำให้โดเหนียว แต่ถ้าหากโดเหนียวก็สามารถแก้ไขได้ เช่น

- ใช้ลมเป่าที่โดในขั้นการม้วนโดเพื่อให้ผิวนอกของโดแห้งเล็กน้อย หรือ
- ใช้สารเคมีบางอย่าง เช่น “ฟลูออน” โดยใส่สารนี้ลงบนลูกกลิ้งซึ่งรีดโดให้เป็นแผ่นบางๆ
- การเพิ่มน้ำนับเป็นสิ่งจำเป็นดังกล่าว โดยเฉพาะการผสมโดยใช้เครื่องผสม ซึ่งการผสมเป็นไปอย่างทั่วถึง ทำให้คุณภาพของโดดีขึ้น

ข. ระยะเวลาในการอบควรจะสั้น ทั้งนี้เพื่อให้แป้งภายในก้อนขนมปังเกิดการสุก และทำให้ได้ผิวของขนมปังบางๆพยายามรักษาความชื้นภายในเตาอบให้สูงเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นภายในขนมปัง โดยปกติแล้วเวลาที่ใช้ในการอบขนมปังจะใช้เวลาประมาณ 24 นาที

ค. การทำให้ขนมปังเย็นอย่างถูกต้อง การสูญเสียความชื้นจะมากหรือน้อยนั้นย่อมขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศในขณะนั้น ถ้าความชื้นสัมพัทธ์สูงการ

สูญเสียความชื้นก็น้อย แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำการสูญเสียก็มาก ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยควรมีห้องพิเศษสำหรับทำให้ขนมปังเย็น โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในห้องนั้นให้ดี ควรจะให้อากาศภายในห้องนั้นมีการหมุนเวียนอยู่เสมอ ปกติแล้วห้องที่ทำให้ขนมปังเย็นจะมีอุณหภูมิ ประมาณ 70 °F และมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 80%

2.4.5.4 ลักษณะผิดปกติที่เกิดขึ้นกับก้อนขนมปัง

สิ่งผิดปกติของขนมปังอาจจะแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

ก. สิ่งผิดปกติภายนอกขนมปัง

ปริมาตรของก้อนขนมปังเล็กกว่าที่ควรการที่ขนมปังมีปริมาตรน้อยกว่าที่ควรนั้น มีสาเหตุหลายประการดังนี้ คือ

- สัดส่วนของวัตถุดิบไม่ได้สัดส่วน
- แป้งที่ผสมแล้วคือโด มีลักษณะแน่นหรือแข็งเกินไป ซึ่งเป็นสาเหตุให้ได้ขนมปังมีขนาดเล็กผิดปกติ แต่ก็สามารถแก้ไขได้โดยยืดระยะเวลาการหมักขั้นสุดท้ายให้นานขึ้น
- ระยะเวลาของการหมักเกิดการหยุดชะงักเช่น สิ่งแวดล้อมเย็นเกินไป
- ใช้เชื้อยีสต์น้อยเกินไป
- ใช้เกลือมากเกินไป
- อุณหภูมิในเตาอบสูงเกินไป
- ปริมาณน้ำตาลภายในแป้งอาจจะน้อยเกินไปทำให้เชื้อยีสต์ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้น้อย
- ใช้เวลาในการหมักขั้นแรกนานเกินไป ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดขึ้นในการหมักขั้นสุดท้ายมีน้อย
- ใช้สารเคมีในการปรับปรุงคุณภาพของแป้งมากเกินไป เช่น สารฟอกสี

ข. ปริมาตรของขนมปังก้อนโตเกินไป สิ่งที่ผิดปกติดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจาก

- ระยะเวลาของการหมักช้ามาก
- อุณหภูมิภายในเตาอบต่ำกว่าปกติ
- ปริมาณเกลือที่ใช้น้อยเกินไป ทำให้ความคงตัวของกลูเตนลดลง
- ระยะเวลาในการหมักขั้นสุดท้ายนานเกินไป
- อุณหภูมิภายในเตาอบต่ำกว่าปกติ

- ปริมาณเกลือที่ใช้น้อยเกินไป ทำให้ความคงตัวของกลูเตนลดลง
- ระยะเวลาในการหมักขั้นสุดท้ายนานเกินไป
- การม้วนไม่แน่นหรือหลวมเกินไปทำให้ความคงตัวของกลูเตนลดลงได้เช่นเดียวกัน

ค. สีของเปลือกนอกของขนมปังมีสีซีด สาเหตุมีดังนี้คือ

- หมักแป้งผสมนานเกินไป
- ใช้เกลือน้อยเกินไป
- ใช้น้ำมากเกินไป
- น้ำตาลภายในแป้งมีน้อยเกินไป
- ความชื้นภายในห้องหมักขั้นสุดท้ายมีน้อยเกินไป ทำให้ผิวของขนมปังแห้งเมื่ออบแล้วจะทำให้ผิวบนสุดของขนมปังมีสีซีด

ง. ผิวบนสุดของขนมปังร่อน สาเหตุอาจจะเนื่องมาจาก

- ระยะเวลาในการหมักน้อยเกินไป
- ระยะเวลาในการหมักขั้นสุดท้ายน้อยเกินไป
- น้ำตาลภายในแป้งมีน้อยเกินไป

จากสาเหตุทั้ง 3 ประการดังกล่าวแล้ว ถ้าหากนำแป้งที่ผสมแล้วไปเข้าเตาอบจะทำให้ผิวบนสุดของขนมปังสุกก่อนภายในขนมปัง หรือพูดง่ายๆว่าการขยายตัวภายในและภายนอกไม่เท่ากันจะทำให้เกิดการร่อนได้ นอกจากนั้นถ้าหากอุณหภูมิในเตาอบสูงเกินไปแต่มีความชื้นภายในเตาอบต่ำก็จะทำให้เกิดการร่อนดังกล่าวได้ง่ายขึ้น

จ. ความสะอาดของก้อนขนมปัง สามารถเห็นได้โดยง่าย ถ้าหากวัตถุดิบที่นำมาทำนั้นไม่สะอาด เช่น อาจจะมีเศษเชือก เศษไม้ และอื่นๆ ปะปนอยู่ สิ่งต่างเหล่านี้แสดงว่าวัตถุที่นำมานั้นไม่ได้ผ่านการทำความสะอาด หรือไม่ได้เลือกใช้วัตถุดิบ

2.4.5.5 สิ่งผิดปกติภายในขนมปัง พอจะแยกกล่าวได้ดังต่อไปนี้คือ

ก. รูหรือโพรงภายในก้อนขนมปัง มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป สาเหตุจาก

- คุณภาพของกลูเตนไม่ดี แป้งอาจจะใหม่เกินไป

- ใช้เชื้อยีสต์มากเกินไป ทำให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป
- ใช้น้ำมันหรือเนยในการผสมแป้งมากเกินไป
- ในขณะม้วนโดหลังจากหมักแล้ว ใช้แป้งโรยมากเกินไป
- อุณหภูมิภายในเตาอบสูงเกินไป
- ใช้แป้งที่มีปริมารกลูเตนมากเกินไปและระยะเวลาในการหมักน้อยเกินไป
- ปริมาณของเชื้อยีสต์ และเกลือไม่สมดุลกัน หรือในขณะผสมแป้งเชื้อยีสต์และเกลือกระจายไม่ทั่วถึงกันเอนไซม์ภายในแป้งสูงเกินไป

ข. ลักษณะก้อนแข็งภายในเนื้อของขนมปัง เราสามารถตรวจสอบได้โดยการหั่นขนมปังเป็นชิ้นๆ แล้วใช้นิ้วหัวแม่มือกดตรงกลาง ถ้าหากมีความรู้สึกคล้ายๆมีก้อนแข็งอยู่ สาเหตุจะเนื่องมาจาก

- ผสมแป้งไม่ทั่วถึง
- ความชื้นภายในห้องหมักน้อยเกินไป ทำให้ผิวหน้าของโดเกิดการแห้งและเมื่อนำโดที่หมักแล้วไปผสมใหม่ เพื่อไล่ก๊าซบางส่วนออกไป ผิวที่แห้งนี้กระจายไม่ทั่วถึง
- ใช้แป้งในขณะม้วนโดมากเกินไป
- ไม่ได้ร่อนแป้งก่อนนำไปใช้

ค. ขนมปังมีลักษณะแห้งเร็วกินไป สาเหตุมีดังนี้

- โด หรือ แป้งที่ผสมแล้วแน่นหรือแข็งเกินไป
- ความชื้นภายในห้องหมักน้อยเกินไป ทำให้น้ำระเหยออกไปมากในขณะการหมักกำลังดำเนินอยู่
- ระยะเวลาในการหมักมากเกินไปใช้สารเคมีสำหรับปรับปรุงคุณภาพของแป้งมากเกินไป ทำให้โดที่ผสมแล้วมีลักษณะแข็ง ลักษณะของโดดังกล่าว เมื่อนำไปอบก็จะทำให้ขนมปังที่ได้มีลักษณะแข็งและแห้ง

ง. เนื้อภายในขนมปังมีลักษณะเหนียวหรือแฉะ สาเหตุมีดังนี้

- ปริมาณน้ำตาลภายในแป้งมีมากเกินไป
- ความชื้นภายในเตาอบสูงเกินไป
- ใช้แป้งซึ่งมีกลูเตนน้อยเกินไปพร้อมกับใช้เกลือมากเกินไป

- ถ้าหากเนื้อภายในขนมปังเปลี่ยนสีแสดงว่ามีจุลินทรีย์ปะปนอยู่
- อาจจะใส่พวกนมลงไปมากเกินไป (โปรตีนในนมจะไปรวมตัวกับกลูเตนทำให้ได้เนื้อขนมปังที่แน่นพร้อมๆกับมีลักษณะเหนียวด้วย)

จ. ลักษณะร่วนภายในเนื้อขนมปัง อาจจะมีสาเหตุดังนี้

- ระยะเวลาในการหมักน้อยเกินไป ทำให้กลูเตนแข็ง
- ระยะเวลาในการหมักมากเกินไป ทำให้กลูเตนขาดออกจากกัน หลังจากอบแล้วทำให้กลูเตนมีความคงตัวไม่สม่ำเสมอ
- ใช้สารเคมีปรับปรุงคุณภาพของแป้งมากเกินไป ทำให้ดูมีลักษณะแข็งหรือร่วน
- ใช้เกลือน้อยเกินไป ทำให้ความคงตัวของกลูเตนลดลง
- อาจจะใช้ไขมันหรือเนยมากเกินไป ทำให้การเกาะกันของกลูเตนลดลง

บทที่ 3
วัสดุ อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตแป้งเผือก

1. ตู้อบลมร้อน (Tray Dry)
2. เครื่อง Pin Mill ใช้ sieve ขนาด 0.25 mm.
3. Blender

3.2 สารเคมีที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. Ethanol 95%
2. 1 N NaOH
3. 1 N AcOH
4. Iodine Solution

3.3 วัสดุที่ใช้ในการผลิตขนมปัง

1. แป้งสาลี ตราห่าน
2. แป้งเผือก
3. ยีสต์แห้ง ยี่ห้อ Fermipan
4. น้ำตาลทราย
5. เกลือ
6. เนยขาว
7. น้ำเปล่า

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตขนมปัง

1. เครื่องผสมไฟฟ้า
2. เตาอบชนิดแก๊ส ผลิตโดย หจก. กล้วยน้ำไท เตาอบ กรุงเทพมหานคร
3. เครื่องชั่งสาร OHOUS, USA.
4. อ่างผสมสแตนเลส

5. ที่ร่อนแป้ง

6. พิมพ์ทำขนมปัง

7. ช้อนตวงมาตรฐาน

8. ถ้วยตวงมาตรฐาน

9. ที่ตัดขนมปัง

10. ตะแกรง

11. ถาด

12. ที่ตัดโด

3.5 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์

3.5.1 ทางเคมี

1. อุปกรณ์วิเคราะห์ความชื้น

2. อุปกรณ์วิเคราะห์อะไมโลส

3.5.2 ทางกายภาพ

1. Brabender Amylograph

2. Texturometer

3. Texture Analyzer

4. DSC รุ่น DSC 822^{e}/400 DSCM

5. กระบอกตวง 1,000 ml. และ 100 ml.

6. กะละมังสแตนเลส

7. งาดำ

8. ไม้บรรทัด

3.5.3 ทางประสาทสัมผัส

1. อุปกรณ์สำหรับชิม

2. แบบประเมินทางประสาทสัมผัส

ขั้นตอนการทดลอง

3.6 วิธีการเตรียมแป้งเผือก

นำเผือกมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือก และหั่นเป็นแผ่นบางๆ โดยให้มีความหนาประมาณ 2 mm.จำนวน 1000 กรัม ใส่ในถาดสแตนเลส นำเผือกมาอบในตู้อบแห้งแบบถาดโดยแปรค่าอุณหภูมิการอบแห้งที่ 65^0C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง จากนั้นเผือกที่ผ่านการอบแห้งแล้วมาบดหยาบด้วยเครื่อง Blender แล้วบดละเอียดด้วยเครื่องโม่ โดยใช้ sieve ขนาด 0.25 mm. แป้งเผือกที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

เผือกหอม

↓

ล้างปอกเปลือก

↓

หั่นเป็นแผ่นบางๆให้ได้ความหนา 2 mm. น.น. 1000 กรัม ใส่ถาดสแตนเลส

↓

อบที่อุณหภูมิ 65^0C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง

↓

บดหยาบด้วยเครื่อง Blender

↓

บดละเอียด ด้วยเครื่อง Pin Mill

↓

แป้งเผือกจากการโม่แห้ง

↓

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพ

3.7 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเผือก

ศึกษาคุณสมบัติของแป้งเผือกได้โดยนำเผือกมาผ่านการโม่ให้เป็นแป้งแล้วนำไปตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆดังนี้

- วิเคราะห์ปริมาณความชื้นจากวิธีของ AACC 32.1.03 (1995) โดยใช้ Hot air oven
- วิเคราะห์หาปริมาณ Amylose จากวิธีของ Juliano , Perez and Webb (1981)
- วิเคราะห์แผนภูมิความหนืด โดยใช้เครื่อง Brabender Amylograph (Approved AACC method 22-12)

3.8 ศึกษาคุณสมบัติของแป้งและโดแทนที่แป้งสาลีด้วยแป้งเผือกที่ระดับ 5% , 10% , 15% , 20% และ 25%

ตารางที่ 5 แสดงส่วนผสมการทำขนมปัง

ส่วนผสม (กรัม)	
แป้งสาลี	1000
แป้งเผือก	0
น้ำเปล่า	650
เนยขาว	50
น้ำตาล	60
เกลือ	15
ยีสต์	15

3.8.1 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของแป้งได้โดยทำการทดลองทั้งหมด 6 สูตร ในแต่ละสูตรจะมีปริมาณสัดส่วนของแป้งแตกต่างกัน ประกอบด้วย สูตรที่ 1 เป็นสูตรพื้นฐาน ส่วนสูตรที่ 2-6 เป็นสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งเผือก 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% ตามลำดับ แล้วนำตัวอย่างแป้งไปตรวจสอบทางกายภาพดังนี้

- วิเคราะห์แผนภูมิความหนืด โดยใช้เครื่อง Brabender Amylograph(Approved AACC method 22-12)

3.8.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของโดได้โดยทำการทดลองทั้งหมด 6 สูตร ในแต่ละสูตรจะมีปริมาณสัดส่วนของแป้งแตกต่างกัน ประกอบด้วย สูตรที่ 1 เป็นสูตรพื้นฐาน ส่วนสูตรที่ 2-6 เป็นสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งเผือก 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% ตามลำดับ โดยใช้วิธีการทำแบบ Straight Dough แล้วนำตัวอย่างโดทั้ง 5 สูตร ไปตรวจสอบทางกายภาพดังนี้

- การวิเคราะห์หาค่าการยืดตัว (Extensible force) และระยะทางการยืดตัว(Distance) โดยใช้เครื่อง Texturometer

- การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของโดโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC)

3.9 ขั้นตอนการทำขนมปัง

ร่อนแป้งสาลี + แป้งเผือก + ยีสต์ รวมกันลงในอ่างผสม

↓

น้ำตาล+เกลือ+น้ำ

↓

ผสมกันให้เนียนแล้วใส่เนยขาว

↓

เมื่อหมักโดได้ที่นำโดมาตัดแล้วคลึงให้ได้ลักษณะกลมเนียน

↓

พักโดไว้อีก จนกว่าโดขึ้น 2 เท่า

↓

นำโดที่หมักได้ที่แล้วมารีดไล่อากาศ ม้วนแล้ววางใส่พิมพ์

↓

นำโดที่ม้วนแล้วไปบ่มที่ตู้บ่ม จนกว่าโดจะขึ้นฟูเหนือพิมพ์ 1 cm.

↓

นำโดมาอบที่อุณหภูมิ 180^{0}c เป็นเวลาประมาณ 20 นาที

3.10 ศึกษาคุณภาพของขนมปังจากแป้งสาลีทดแทนด้วยแป้งเผือกที่ระดับ 5% , 10% , 15% , 20% และ 25%

ศึกษาคุณภาพของขนมปังโดยการทำขนมปังในแต่ละสูตร ประกอบด้วย สูตรที่ 1 เป็นสูตรพื้นฐาน ส่วนสูตรที่ 2-6 เป็นสูตรที่ทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งเผือก 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% ตามลำดับ โดยใช้วิธีการทำขนมปังแล้วนำขนมปังที่ได้ตรวจสอบดังนี้

- น้ำหนักของขนมปังโดยวิธีการชั่งน้ำหนัก ขณะที่ขนมปังยังร้อน
- ปริมาตรโดยวิธี การแทนที่ โดยใช้เมล็ดงาดำในการแทนที่

- ค่าความแข็ง (Hardness) ของเนื้อในขนมปัง โดยใช้ Texture Analyze
- Oven spring โดยใช้ไม้บรรทัดเหล็กวัดความสูงของโดก่อนและหลังอบขนมปัง
- ดูลักษณะความละเอียดของเนื้อในขนมปัง

ศึกษาคุณภาพของขนมปังที่เก็บไว้นาน 5 วัน แล้วตรวจสอบดังนี้

- ค่าความแข็ง (Hardness) ของเนื้อในขนมปัง โดยใช้ Texture Analyze
- ดูลักษณะความละเอียดของเนื้อในขนมปัง

3.11 ศึกษาผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งเผือกต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค

นำผลิตภัณฑ์มาประเมินค่าโดยการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส โดยใช้แผนทดลอง Randomized Completed Block Design (RCBD) โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปที่ไม่ได้รับการฝึกฝน (untrained panel) จำนวน 100 คน ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (accident sampling) และทดสอบชิมด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 - point hedonic scaling (1= ไม่ชอบมากที่สุด, 9=ชอบมากที่สุด) (เพ็ญขวัญ , 2536) โดยใช้แบบสอบถามดังภาคผนวก ก

วิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพแบบ Completely Ramdomized Design (CRD) ของแป้ง โด และขนมปังซึ่งมีปัจจัยตัวแปร คือ ปริมาณการแทนที่ด้วยแป้งเผือกในระดับต่างๆและประเมินผลหาความแตกต่างโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนโดยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Test (DMRT)

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเผือก

4.1.1 ทางเคมี

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเผือก

ชนิดแป้ง	ความชื้น (%)	ปริมาณอะไมโลส (%)
แป้งผือก	8.18±0.16	17.38±1.28

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเผือก จากตารางที่ 6 ผลดังต่อไปนี้

4.1.1.1 ค่าความชื้น(%) จากการคำนวณหาปริมาณความชื้นของแป้งเผือก ได้เท่ากับ 8.18±0.16

4.1.1.2 ปริมาณอะไมโลส (%) จากการคำนวณหาปริมาณอะไมโลสของแป้งเผือก ได้เท่ากับ 17.38±1.28

4.1.2 ทางกายภาพ

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของแป้งเผือกและแป้งสาลี

ชนิดแป้ง	อุณหภูมิ		ความหนืด (BU)						
	แป้งสุก (oc)^{ns}	สูงสุด (P)*	95°c เริ่มต้น*	95°c สุดท้าย^{ns}	50°c เริ่มต้น^{ns}	50°c สุดท้าย^{ns}	Break down (BU)^{ns}	set back (BU)^{ns}	consistency (BU)^{ns}
แป้งเผือก	77.6±0.5	800.0±0.0	680.0±0.0	355.0±77.8	307.5±180.3	295.0±148.5	445.0±77.8	492.5±180.3	60.0±70.7
แป้งสาลี	83.3±1.1	365.0±7.1	325.0±35.4	325.0±77.8	475.0±148.5	450.0±99.0	40.0±70.7	150.0±123.8	150.0±28.3

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

Break down = ความหนืดสูงสุด – ความหนืดสุดท้ายของอุณหภูมิ 95 ^{0}C

Set back = ความหนืดเริ่มต้นของอุณหภูมิ 50 ^{0}C – ความหนืดสูงสุด

Consistency = ความหนืดสุดท้ายของอุณหภูมิ 50 ^{0}C - ความหนืดสุดท้ายของอุณหภูมิ 95 ^{0}C

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของแป้งเผือก จากตารางที่ 7 ผลดังต่อไปนี้

4.1.2.1 ค่าอุณหภูมิแป้งสุก (Pasting Temperature , ^{o}C) พบว่า แป้งเผือกมีค่าเท่ากับ 54.0±0.0
น้อยกว่าเมื่อเทียบกับแป้งสาลี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 62.3±1.1 แสดงว่าแป้งเผือกเกิดการเจลาติไนเซชันได้เร็วกว่าแป้งสาลี

4.1.2.2 ค่าความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity , BU) พบว่า แป้งเผือกมีค่าเท่ากับ 800.0±0.0 มากกว่าเมื่อเทียบกับแป้งสาลี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 365.0±7.1 แสดงว่าแป้งเผือกมีความหนืดสูงกว่าแป้งสาลี

4.1.2.3 ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (Break Down , BU) พบว่า แป้งเผือกมีค่าเท่ากับ 445.0±77.8 มากกว่าเมื่อเทียบกับแป้งสาลี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 40.0±70.1 ดังนั้นแป้งเผือกจึงมีค่าความต้านทานต่อความร้อนและแรงกวนน้อยกว่าแป้งสาลี

4.1.2.4 ค่าการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Set Back , BU) พบว่าแป้งเผือกมีค่าเท่ากับ - 492.5±180.3 น้อยกว่าเมื่อเทียบกับแป้งสาลี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 150.0±183.8 แสดงว่าแป้งเผือกมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าแป้งสาลี

4.1.2.5 ค่า Consistancy (BU) พบว่า แป้งเผือกมีค่าเท่ากับ -60.0±70.7 น้อยกว่าเมื่อเทียบกับ
แป้งสาลี ซึ่งมีค่าเท่ากับ 130.0±28.3

4.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%,10%,15%,20% และ 25%

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%

แป้งเผือกระดับต่างๆ (%)	อุณหภูมิแป้งสุก (°c)	ความหนืด (BU)							
		ค่าสูงสุด (p)	95°c เริ่มต้น	95°c สุดท้าย^{ns}	50°c เริ่มต้น^{ns}	50°c สุดท้าย	Break down^{ns}	Set back^{ns}	Consistancy^{ns}
0	83.3±1.1^{ab}	365.0±7.1^{ab}	325.0±35.4^{c}	325.0±77.8	475.0±148.5	450.0±99.0^{ab}	40.0±70.7	150.0±123.8	150.0±28.
5	86.3±1.1^{a}	330.0±28.3^{b}	315.0±7.1^{bc}	302.0±88.4	477.5±102.5	432.2±58.9^{ab}	82.5±38.9	125.0±42.4	130.0±127.3
10	81.8±0.0^{b}	352.5±3.5^{ab}	285.0±35.4^{c}	342.5±123.7	422.5±10.6	415.0±21.2^{a}	10.0±120.2	70.0±7.1	172.5±102.5
15	84.0±3.2^{ab}	365.0±35.4^{ab}	317.5±3.5^{bc}	247.5±3.5	515.0±28.3	475.0±7.1^{ab}	117.5±38.9	150.0±63.6	127.5±3.5
20	82.1±1.6^{b}	382.5±35.0^{a}	355.0±7.1^{b}	255.0±7.1	485.0±14.1	445.0±7.1^{ab}	127.5±3.5	102.5±17.7	190.0±0.0
25	84.8±0.0a	320.0±0.0^{b}	300.0±0.0^{c}	245.0±0.0	500.0±0.0	465.0±0.0^{ab}	75.0±0.0	182.0±0.0	220.0±0.0

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% จากตารางที่ 8 ผลดังต่อไปนี้

4.2.1 ค่าอุณหภูมิแป้งสุก (Pasting Temperature , °C) พบว่า แป้งเผือกที่ใช้แทนแป้งสาลีที่ระดับ 0 % เท่ากับ 62.3±1.1 ระดับ 5 % เท่ากับ 63.8±1.1 ระดับ 10 % เท่ากับ 61.5±0.0 ระดับ 15 % เท่ากับ 66.0±0.0 ระดับ 20 % เท่ากับ 62.3±1.1 ระดับ 25 % เท่ากับ 63.0±0.0 พบว่า แป้งเผือกทั้ง 6 ระดับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่แป้งเผือกระดับที่ 15 % มีค่าอุณหภูมิแป้งสุกสูงสุด รองลงมาคือ ที่ระดับ 5 , 25 , 0 และ 20 เปอร์เซนต์ตามลำดับ และสุดท้ายอัตราส่วน 10 % มีค่าน้อยสุด

4.2.2 ค่าความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity , BU) พบว่า แป้งเผือกทั้ง 6 ระดับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่แป้งเผือกระดับที่ 20 % มีค่าความหนืดสูงสุดสูงที่สุด รองลงมาคือ ที่ระดับ 15 , 0 และ 10 เปอร์เซนต์ตามลำดับ และสุดท้ายอัตราส่วน 25 % มีค่าน้อยสุด

4.2.3 ค่าการแตกสลายของเม็ดแป้ง (Break Down , BU) พบว่า แป้งเผือกทั้ง 6 ระดับไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.4 ค่าการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Set Back , BU) พบว่า แป้งเผือกทั้ง 6 ระดับไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.2.5 ค่า Consistancy (BU) พบว่า แป้งเผือกทั้ง 6 ระดับไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

4.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งและโดจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%

4.3.1 การวิเคราะห์หาค่าแรงยืดตัว (Extansible Force) และระยะทางยืดตัว (Distance) ของโดจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์หาค่าแรงยืดตัว ของแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%

แป้งเผือกที่ใช้ทดแทนที่ระดับต่าง ๆ (%)	แรงยืดตัว (g)	ระยะทางยืดตัวของโด (mm)
0	82.1 ± 9.9^{a}	38.6 ± 6.8^{a}
5	64.4 ± 6.5^{b}	36.3 ± 4.5^{ab}
10	60.6 ± 9.7^{b}	34.0 ± 4.9^{bc}
15	58.5 ± 10.7^{b}	33.2 ± 3.5^{bc}
20	55.9 ± 7.0^{b}	31.6 ± 6.1^{bc}
25	39.5 ± 8.0^{c}	30.5 ± 7.2^{c}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของแป้งและโดจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% จากตารางที่ 9 ผลดังต่อไปนี้

4.3.1.1 ค่าแรงยืดตัว (Extansible Force , g) พบว่า ที่ระดับแป้งเผือกที่ใช้แทนที่แป้งสาลีทั้ง 6 ระดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ค่าแรงยืดตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับแป้งเผือกสูงขึ้น

4.3.1.2 ค่าระยะทางยืดตัวของโด (Distance , mm) พบว่า ที่ระดับแป้งเผือกที่ใช้แทนที่แป้งสาลีทั้ง 6 ระดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ค่าระยะทางยืดตัวของโดมีแนวโน้มลดลง เมื่อระดับแป้งเผือกสูงขึ้น

4.3.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของโดจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของโดจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%,15%, 20% และ 25%

ปริมาณแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนที่ระดับต่าง ๆ(%)	onset temp,T_o (^oc)	peak temp,T_p (^oc)^{ns}	endset temp,T_e (^oc)^{ns}	Enthalpy (J/g)
0	81.9 ± 2.2^b	93.5 ± 2.8	104.8 ± 3.1	0.5 ± 0.1^a
5	95.6 ± 0.3^a	98.7 ± 0.3	102.7 ± 0.9	0.1 ± 0.0^b
10	90.4 ± 8.6^{ab}	96.1 ± 6.8	102.9 ± 4.8	0.1 ± 0.1^b
15	94.9 ± 1.9^a	99.9 ± 2.3	106.0 ± 2.9	0.5 ± 0.1^a
20	95.0 ± 0.6^a	100.1 ± 0.0	106.0 ± 0.9	0.4 ± 0.2^a
25	93.9 ± 0.4^a	100.1 ± 0.0	107.6 ± 0.0	0.6 ± 0.2^a

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของโดจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% จากตารางที่ 10 ผลดังต่อไปนี้

4.3.2.1 ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนเซชัน (Onset Temperature,^oc) พบว่า ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งเผือกทั้ง 6 ระดับมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.3.2.2 ค่าอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนเซชัน (Peak Temperature , ^oc) พบว่า ที่ระดับ

แป้งเผือกที่ใช้แทนที่แป้งสาลีทั้ง 6 ระดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ค่าอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนเซชันของโดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระดับแป้งเผือกสูงขึ้น

4.3.2.3 ค่าอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนเซชัน (Endset Temperature , °c) พบว่า ที่ระดับแป้งเผือกที่ใช้แทนที่แป้งสาลีทั้ง 6 ระดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ค่าอุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนเซชันของโดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระดับแป้งเผือกสูงขึ้น

4.3.2.4 ค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชัน (Enthalpy , J/g) พบว่า ที่ระดับแป้งเผือกที่ใช้แทนที่แป้งสาลีทั้ง 6 ระดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ค่าค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชันของโดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อระดับแป้งเผือกสูงขึ้น

4.3.4 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของขนมปังจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของขนมปังจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25%

ปริมาณแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนที่ระดับต่าง ๆ(%)	ปริมาตร (ml)	ปริมาตรจำเพาะ (ml/g)	hardness 0 วัน (g)	hardness 5 วัน (g)	oven spring (%)
0	1257.5±5.0^{a}	5.7±0.1^{a}	413.5±34.7^{d}	1346.2±127.4^{d}	285.2±13.3^{a}
5	1225±20.8^{b}	5.5±0.1^{b}	452.0±24.9^{c}	1559.0±115.2^{d}	239.2±25.7^{b}
10	1210±18.3^{b}	5.4±0.1^{b}	454.8±18.5^{bc}	1446.9±102.6^{d}	227.3±17.9^{b}
15	1170±24.5^{c}	5.1±0.2^{c}	478.0±29.4^{bc}	2010.3±253.2^{c}	175.5±34.7^{c}
20	1147.5±20.6^{c}	5.1±0.1^{c}	502.0±21.7^{b}	2306.4±156.4^{b}	177.5±17.1^{c}
25	992.5±9.6^{d}	4.3±0.1^{d}	559.7±65.7^{a}	2563.7±368.4^{a}	120±18.1^{d}

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของขนมปังจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20% และ 25% จากตารางที่ 11 ผลดังต่อไปนี้

4.3.4.1 ค่าปริมาตร (ml) พบว่าที่ระดับแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีทั้ง 6 ระดับ มีความแตก

ต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ค่าปริมาตรมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนสูงขึ้น

4.3.4.2 ค่าปริมาตรจำเพาะ (ml/g) พบว่าที่ระดับแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีทั้ง 6 ระดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ค่าปริมาตรจำเพาะมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนสูงขึ้น

4.3.4.3 ค่าความแข็ง (Hardness , g) 0 วันพบว่าที่ระดับแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีทั้ง 6 ระดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ค่าความแข็งมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระดับแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนสูงขึ้น

4.3.4.4 ค่าความแข็ง (Hardness , g) 5 วันพบว่าที่ระดับแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีทั้ง 6 ระดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ค่าปริมาตรมีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนสูงขึ้น

4.3.4.5 ค่า Oven Spring (%) พบว่าที่ระดับแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีทั้ง 6 ระดับ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยที่ค่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อระดับแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนสูงขึ้น

จากผลการวิเคราะห์ข้อ 4.3.4.1 ถึง 4.3.4.5 ได้คัดเลือกแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีในระดับ 15% และ 20% ไปวิเคราะห์ทางประสทาสัมผัส เพราะว่า เมื่อชิมแล้วมีลักษณะภายในที่ดี คือ มีความเหนียว ความนุ่ม และความละเอียดของเนื้อขนมปังที่ดี โดยใช้แผนการทดลอง Randomized Complete Block Design (RCBD) (สุรพล , 2536) โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไปที่ไม่ได้รับการฝึกฝน (Untrain panel) จำนวน 100 คน ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (accidental Sampling) และทดลองชิมด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 - Point Hedonic Scaling (1 = ไม่ชอบมากที่สุด , 9 = ชอบมากที่สุด) (เพ็ญขวัญ , 2536) โดยใช้แบบสอบถามดังภาคผนวก ก

4.4 การวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15% และ 20%

ปริมาณแป้งเผือกที่ใช้ทดแทนที่ระดับต่าง ๆ (%)	คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส				
	ความละเอียดของเนื้อ^{ns}	ความนุ่ม^{ns}	ความเหนียว^{ns}	กลิ่นรส^{ns}	ความชอบโดยรวม^{ns}
15	5.88±1.49	6.43±1.39	6.26±1.43	5.52±1.91	5.99±1.49
20	5.83±1.58	6.07±1.49	6.09±1.46	5.18±1.75	5.98±1.41

หมายเหตุ ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

จากการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของขนมปังจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15% และ 20% จากตารางที่ 12 ผลดังต่อไปนี้

4.4.1 ความละเอียดของเนื้อ ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนเฉลี่ยด้านความละเอียดของเนื้ออยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) โดยที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 5.88±1.49 และที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 5.83±1.58 ซึ่งทั้ง 2 ระดับไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.4.2 ความนุ่ม ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนเฉลี่ยด้านความนุ่มอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน (ชอบน้อยถึงชอบมาก) โดยที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 6.43±1.39 และที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 6.07±1.49 ซึ่งทั้ง 2 ระดับไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.4.3 ความเหนียว ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนเฉลี่ยด้านความเหนียวอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน (ชอบเล็กน้อยถึงชอบมาก) โดยที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 6.26±1.43 และที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 6.09±1.46 ซึ่งทั้ง 2 ระดับไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.4.4 กลิ่นรส ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 และ

20 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นรสอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) โดยที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 5.52$\pm$1.91 และที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 5.18$\pm$1.75 ซึ่งทั้ง 2 ระดับไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.4.5 ความชอบโดยรวม ผลิตภัณฑ์ขนมปังจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีที่ระดับ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ใกล้เคียงกัน (ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) โดยที่ระดับ 15 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 5.99$\pm$1.49 และที่ระดับ 20 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 5.98$\pm$1.41 ซึ่งทั้ง 2 ระดับไม่มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

จากการผลิตผลิตภัณฑ์ขนมปังจืดที่ใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีบางส่วน มีขั้นตอนการดำเนินงาน คือ ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเผือก ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งและโดจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีบางส่วน ศึกษาผลของการใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีบางส่วนต่อการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ผลการดำเนินงานสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของแป้งเผือก ได้แก่ การหาปริมาณความชื้น และปริมาณอะไมโลส จะได้ว่า แป้งเผือกมีปริมาณความชื้นเท่ากับ 8.18 % และมีปริมาณอะไมโลสเท่ากับ 17.38 % ซึ่งค่าที่ได้ทั้ง 2 มีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแป้งสาลี ซึ่งมีความชื้น 14 % และมีปริมาณอะไมโลส 24 - 27 %

2. จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งและโดจากแป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีบางส่วน พบว่า การใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีในระดับที่สูงขึ้น ทำให้ได้ค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) มีค่าสูงขึ้น จึงส่งผลถึงลักษณะของเนื้อขนมปัง โดยเมื่อใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีในระดับที่สูงขึ้น จะทำให้เนื้อขนมปังแห้ง แข็ง หยาบ และเสื่อมเสียได้เร็วขึ้น มีปริมาตรปริมาตรจำเพาะ และค่า oven spring ลดลง ส่วนค่าความแข็ง (hardness) 0 วัน และ 5 วัน มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าเมื่อเก็บขนมปังไว้เป็นเวลานานจะทำให้ขนมปังแข็งขึ้น

3. จากค่าที่ได้ทั้งหมดนำไปวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าการใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีในระดับ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน คือ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จึงนำทั้ง 2 ระดับมาทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ 9 - Point Hedonic Scale ร่วมกับการสอบถามการยอมรับผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ชิมที่ไม่ผ่านการทดสอบจำนวน 100 คน พบว่ามีคะแนนการยอมรับอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีได้ทั้ง 2 ระดับ คือ ที่ระดับ 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาปริมาณการใช้แป้งเผือกทดแทนแป้งสาลีบางส่วนในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ควรจะมีการเติมกลูเตน หรือ เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส เพื่อช่วยในการปรับปรุลักษณะเนื้อสัมผัสของขนมปังให้มีความเหนียวนุ่มเพิ่มยิ่งขึ้น และช่วยให้ขนมปังขึ้นฟูได้ดี

เอกสารอ้างอิง

กฤษฎา สัมพันธารักษ์ 2523. พืชไร่. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. 239 น.

กรมส่งเสริมการเกษตร 2520. การปลูกเผือกหอม (คำแนะนำที่ 15). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 8 น.

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ ส.ค.2546. เทคโนโลยีแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล. 2535. เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

ปิยดา ดิศวัฒน์. 2540. การเพิ่มปริมาณเซลล์ยีสต์ขนมปังจากแป้งมันสำปะหลังและกากน้ำตาล. วิทยานิพนธ์ภาควิชาชีววิทยาประยุกต์. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538 ธัญชาติและพืชหัว. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ

พนงจิต ธัญญมงคลพงศ์ 2531. การแยกส่วนอะไมโลสจากแป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. บัณฑิตวิทยาลัย

เพ็ญขวัญ ชมปรีดา. มปป. 2539. การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

มทนา สุนทรศารทูล. 2511. ผลของการใช้เผือกเป็นอาหารหลัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , กรุงเทพฯ

รองรัตน์ รัตนะธรรมวัฒน์. 2546. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมขบเคี้ยวจากแป้งเผือก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , กรุงเทพฯ

รุ่งนภา ดีพยุงศักดิ์. 2543. การทดสอบทางกายภาพ ทางเคมี และทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่ทดแทนแป้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาจุลชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

วุฒิชัย นาครักษา. 2529. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากเผือกเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ

สมภพ อินทสุวรรณ. 2525. พืชเศรษฐกิจ. มหาวิยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. กรุงเทพฯ. 73-74 น.

เสถียร ศิริเพ็ญ 2526. การปลูกเผือกหอม. เกษตรจังหวัดนครนายก. นครนายก. (เอกสารโรเนียว).

สุพรรษา หุตินันท์ , สรัญญา เกิดชนะ และธัญญารัตน์ เตชทรัพย์อมร. 2545 คุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และรีโอโลจีของแป้งเผือกที่ได้จากกรรมวิธีโม่แห้งและโม่เปียก. วิทยานิพธ์ปริญญาโท. ภาควิชาจุลชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

อภิณทิพย์ ยุศย่อย. 2541 ผลของไมโครเวฟต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของเผือก. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร. คณะเทคโนโลยีการเกษตร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2538 คุณสมบัติและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของวัตถุดิบส่วนใหญ่ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , กรุงเทพฯ

AOAC. 1998. Official Method of Analysis of The Association of Official Analytical Chemistry. 16th ed. Gaitherbung , Maryland.

Cooper , R.C. 1974. Taro (Colocasia esculenta). FAO. "Agriculture studies" No 93. Edited by Leon,J. ;Plant Production and Protection Devision , Rome, 38-41 p.

Juliano, B.D.1971."A Simplified Assay for Milled-Rice Amylose." Cereal Science Today.16(10) ; 334-340 ,360.

Juliano, Perez and Webb B.D.1981. "International Cooperative Testing on the Amylose Content of Milled Rice." Starch/Starke 33(5):157-162

Leakey , C.L.A. and Wills , J.B.. 1977.Cocoam:Taro (Colocasia spp.) Tannia (Xanthosoma spp.) Food Crops of the Low Land Tropics:Oxford university Press,UK. , 86-89 p.

Pyler E.J. 1973. Baking science and technology. 2nd ed. Chicago : Siebel publishing Company.

Schoch , T.J. 1968. "Effect of Freezing and Cold Storage on Paste Starches." The Freezing Preservation of Foods. 14:44:56

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

" Hedonic scale scoring test "

ผลิตภัณฑ์ ขนมปังจืด

วันที่..... ชุดที่.....

ข้อปฏิบัติในการทดสอบ

1. ชิมตัวอย่างตามลำดับ โดยอย่าวางตัวอย่างสลับกันในการชิมตัวอย่างแต่ละชุด
2. ทดสอบคุณลักษณะของตัวอย่างเปรียบเทียบกับทั้งหมด และพิจารณาว่าคุณลักษณะของตัวอย่างเมื่อชิมแล้วให้คะแนนอย่างไร
3. การพิจารณาคะแนนและการยอมรับ แบ่งคะแนนเป็น

   1 = ไม่ชอบมากที่สุด 2 = ไม่ชอบมาก 3 = ไม่ชอบปานกลาง

   4 = ไม่ชอบน้อย 5 = เฉย ๆ 6 = ชอบน้อย

   7 = ชอบปานกลาง 8 = ชอบมาก 9 = ชอบมากที่สุด
4. ในระหว่างการชิมแต่ละตัวอย่าง ใช้น้ำล้างปากเพื่อป้องกันการสับสนระหว่างตัวอย่าง
5. คุณลักษณะที่ต้องการของผลิตภัณฑ์ คือ เนื้อสัมผัส

รหัสตัวอย่าง	862	396
ความละเอียดของเนื้อ	.....	.....
ความนุ่ม	.....	.....
ความเหนียว	.....	.....
กลิ่นรส	.....	.....
ความชอบโดยรวม	.....	.....

หมายเหตุ ถ้ามีผลิตภัณฑ์นี้จำหน่ายในท้องตลาดจะซื้อหรือไม่ซื้อโดยระบุรหัสของผลิตภัณฑ์

.....ซื้อ .....ไม่ซื้อ

ภาคผนวก ข

ตารางผนวกที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด pasting Temp. ของแป้งเผือกและแป้งสาลี

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
แป้งเผือกและแป้งสาลี	1	31.641	31.641	45.000*	0.022
Error	2	1.406	0.703		
Total	3	33.047			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด ค่าความหนืดสูงสุด ของแป้งเผือกและแป้งสาลี

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
แป้งเผือกและแป้งสาลี	1	189225.000	189225.000	7569.000*	0.000
Error	2	50.000	25.000		
Total	3	189275.000			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด 95^{0}c เริ่มต้น ของแป้งเผือกและแป้งสาลี

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
แป้งเผือกและแป้งสาลี	1	126025.000	127275.000	201.640*	0.005
Error	2	1250.000	625.000		
Total	3	127275.000			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด 95°c สุดท้าย ของแป้งเผือกและแป้งสาลี

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
แป้งเผือกและแป้งสาลี	1	900.000	900.000	0.149^{ns}	0.737
Error	2	12100.000	6050.000		
Total	3	13000.000			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด 50°c เริ่มต้น ของแป้งเผือกและแป้งสาลี

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
แป้งเผือกและแป้งสาลี	1	28056.250	28056.250	1.028^{ns}	0.417
Error	2	54562.500	27281.250		
Total	3	82618.750			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด 50°c สุดท้าย ของแป้งเผือกและแป้งสาลี

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
แป้งเผือกและแป้งสาลี	1	24025.000	24025.000	1.509^{ns}	0.344
Error	2	31850.000	15925.000		
Total	3	55875.000			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด break down ของแป้งเผือกและแป้งสาลี

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
แป้งเผือกและแป้งสาลี	1	164025.000	164025.000	29.688*	0.032
Error	2	11050.000	5525.000		
Total	3	175075.000			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด set back ของแป้งเผือกและแป้งสาลี

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
แป้งเผือกและแป้งสาลี	1	117306.250	117306.250	3.538^{ns}	0.201
Error	2	66312.500	33156.250		
Total	3	183618.800			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด consistency ของแป้งเผือกและแป้งสาลี

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
แป้งเผือกและแป้งสาลี	1	36100.000	36100.000	12.44 8^{ns}	0.072
Error	2	5800.000	2900.000		
Total	3	41900.000			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด pasting Temp. ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	28.359	5.672	2.283^{ns}	0.172
Error	6	14.906	2.484		
Total	11	43.266			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด ความหนืดสูงสุด ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	5550.000	1110.000	3.134^{ns}	0.098
Error	6	2125.000	354.167		
Total	11	7675.000			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด 95°c เริ่มต้น ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	5643.750	1128.750	2.592^{ns}	0.139
Error	6	2612.500	435.417		
Total	11	8256.250			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด 95°c สุดท้าย ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	18218.750	3643.750	0.748^{ns}	0.616
Error	6	29237.500	4872.917		
Total	11	47456.250			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด 50°c เริ่มต้น ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	9966.667	1993.333	0.355^{ns}	0.862
Error	6	33675.000	5612.500		
Total	11	43641.670			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด 50°c สุดท้าย ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	4710.417	942.083	0.477^{ns}	0.783
Error	6	11862.500	1977.083		
Total	11	16572.920			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด break down ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	20135.420	4027.083	1.074^{ns}	0.457
Error	6	22487.500	3747.917		
Total	11	42622.920			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด set back ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	15360.420	3072.083	0.461^{ns}	0.794
Error	6	40012.500	6668.750		
Total	11	55372.920			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความหนืดที่จุด consistency ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	36991.670	7398.333	1.613^{ns}	0.287
Error	6	27525.000	4587.500		
Total	11	64516.670			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

ตารางผนวกที่ 19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าแรงยึดตัวของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	9621.142	1924.228	24.985*	0.000
Error	54	4158.752	77.014		
Total	59	13779.89			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าระยะทางการยืดตัวของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	493.259	98.652	3.082*	0.016
Error	54	1728.375	32.007		
Total	59	2221.634			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของคุณสมบัติทางความร้อนของโดที่จุด onset Temp ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	277.104	55.421	3.997ns	0.061
Error	6	83.184	13.864		
Total	11	360.288			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 22 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของคุณสมบัติทางความร้อนของโดที่จุด peak Temp ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	74.823	14.965	1.500ns	0.315
Error	6	59.843	9.974		
Total	11	134.666			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของคุณสมบัติทางความร้อนของโดที่จุด endset Temp ของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	37.853	7.571	1.049ns	0.468
Error	6	43.311	7.219		
Total	11	81.164			

หมายเหตุ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 24 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่า Enthalpy ของโดของแป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	0.518	0.104	6.880*	0.018
Error	6	0.090	0.015		
Total	11	0.608			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าปริมาตรของขนมปังที่ใช้แป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	176970.800	35394.167	111.283*	0.000
Error	18	5725.000	318.056		
Total	23	182695.800			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ใช้แป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	4.353	0.871	71.236*	0.000
Error	18	0.220	0.012		
Total	23	4.573			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าปริมาตรจำเพาะของขนมปังที่ใช้แป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	4.353	0.871	71.236*	0.000
Error	18	0.220	0.012		
Total	23	4.573			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 28 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความแข็งของขนมปังที่อบเสร็จใหม่ที่ใช้แป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	98117.030	19623.406	15.080*	0.000
Error	42	54653.560	1301.275		
Total	47	152770.600			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านกายภาพของค่าความแข็งของขนมปังที่เก็บไว้ 5 วันที่ใช้แป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 5%, 10%, 15%, 20%, 25%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	5	9931081.000	1986216.117	45.718*	0.000
Error	42	1824693.000	43445.077		
Total	47	1.2E+07			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางผนวกที่ 30 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสของคะแนนด้านความละเอียดของเนื้อของขนมปังที่ใช้แป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 15%, 20%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	1	0.125	0.125	0.102ns	0.750
ผู้ชิม	99	347.295	3.508	2.861*	0.000
Error	99	121.375	1.226		
Total	199	468.795			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสของคะแนนด้านความนุ่มของขนมปังที่ใช้แป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 15%, 20%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	1	6.480	6.480	3.853^{ns}	0.052
ผู้ชิม	99	248.500	2.510	1.492*	0.024
Error	99	166.520	1.682		
Total	199	421.500			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 32 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสของคะแนนด้านความเหนียวของขนมปังที่ใช้แป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 15%, 20%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	1	1.445	1.445	1.059^{ns}	0.306
ผู้ชิม	99	284.375	2.872	2.106*	0.000
Error	99	135.055	1.364		
Total	199	420.875			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 33 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสของคะแนนด้านกลิ่นรสของขนมปังที่ใช้แป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 15%, 20%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	1	5.780	5.780	3.913^{ns}	0.051
ผู้ชิม	99	523.500	5.288	3.580*	0.000
Error	99	135.055	1.364		
Total	199	420.875			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ตารางผนวกที่ 34 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางด้านประสาทสัมผัสของคะแนนด้านความชอบโดยรวมของขนมปังที่ใช้แป้งเผือกแทนที่แป้งสาลีที่ระดับ 15%, 20%

	df	*SS*	*MS*	*F*	*sig*
ระดับของแป้งเผือกที่แทนแป้งสาลี	1	5.000E-03	5.000E-03	0.004^{ns}	0.949
ผู้ชิม	99	302.455	3.055	2.552*	0.000
Error	99	118.495	1.197		
Total	199	420.955			

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ประวัติผู้เขียน

นางสาวกณภัทร ชูโรจน์ เกิดวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนมหาวชิราวุธ จังหวัดสงขลา พ.ศ. 2544 และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรีจากภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2548

นางสาวสุจิรา แซ่เตียว เกิดวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสายน้ำผึ้ง จังหวัดกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2543 และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรีจากภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2548

นางสาวภัทรพร คงคาวิทูร เกิดวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2526 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสามเสนวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2544 และสำเร็จการศึกษาปริญญาตรีจากภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร โครงการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2548