

ผลของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อความไม่สดและ
คุณภาพการเก็บรักษาของขนมปังแบ่งสด



นางสาวเฟื่องนภา ชันทะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Effects of hydroxypropylmethyl cellulose and carboxymethyl cellulose on staling and
keeping quality of wheat bread



Miss Fuengnapha Khunta

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อความไม่เสถียรและคุณภาพการเก็บรักษาของนมปั่นแป้งสาลี

โดย

นางสาวเพ็ญภา ชันทะ

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

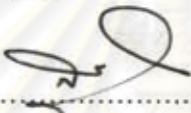
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช

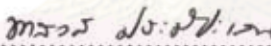
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

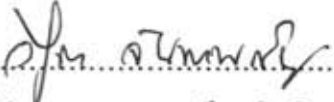
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสวดี ประทีปเสนา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนานุวงศ์)


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิษิตดา จันทราพรชัย)

เพื่อองศา ชันทะ: ผลของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสต่อความไม่สดและคุณภาพการเก็บรักษาของขนมปังแป้งสาลี. (EFFECTS OF HYDROXYPROPYLMETHYL CELLULOSE AND CARBOXYMETHYL CELLULOSE ON STALING AND KEEPING QUALITY OF WHEAT BREAD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ. ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย. 89 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropylmethyl cellulose, HPMC) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) ที่มีต่อความไม่สดและคุณภาพการเก็บรักษาของขนมปังขาวที่ทำจากแป้งสาลี พร้อมทั้งศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาที่มีต่อคุณภาพของขนมปัง ในงานวิจัยนี้แปรปริมาณ HPMC และ CMC เป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.0 และ 1.5% ของน้ำหนักแป้งสาลี และแปรอุณหภูมิการเก็บรักษาเป็น 2 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (25±2 °C) และอุณหภูมิแช่เย็น (4±2 °C) พบว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้สูงกว่าขนมปังสูตรควบคุมซึ่งไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์อย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) ขนมปังทุกตัวอย่างมีปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ขนมปังสูตรควบคุมมีการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอิมัลเฟกทินสูงกว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันเป็นระยะเวลาเท่ากันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) ในขณะเดียวกันขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอิมัลเฟกทินสูงกว่าตัวอย่างเดียวกันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอิมัลเฟกทินมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2-3 วันแรกของการเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงของปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้สอดคล้องกับการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอิมัลเฟกทิน โดยพบว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC มีอัตราการลดลงของปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ช้ากว่าขนมปังสูตรควบคุม นอกจากนี้ขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าตัวอย่างเดียวกันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาเท่ากัน ขนมปังที่เติม HPMC และ CMC มีความแข็งต่ำกว่าขนมปังสูตรควบคุมทั้งภายหลังจากผลิตเสร็จใหม่ๆ และในระหว่างการเก็บรักษา และขนมปังที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็นมีความแข็งสูงกว่าตัวอย่างเดียวกันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ยังพบว่าการเติม HPMC และ CMC ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของขนมปัง จากการศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สแกนอิโพบว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC มีขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศเล็กกว่าขนมปังสูตรควบคุม เปลือกนอกของขนมปังทุกตัวอย่างมีมุมสีประมาณ 62° ซึ่งได้แก่สีเหลืองส้ม และมีความเข้มสีและความสว่างใกล้เคียงกัน เนื้อในของขนมปังทุกตัวอย่างมีมุมสีประมาณ 95° ซึ่งได้แก่สีเหลือง และมีความเข้มสี ค่านีความขาว และความสว่างใกล้เคียงกัน ขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีกลิ่นรสไม่สดต่ำกว่าตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่มีอายุการเก็บรักษาตั้งแต่ 1 วันขึ้นไปได้คะแนนความชอบโดยรวมสูงกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

ภาควิชา...เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต..... *เฟื่องนภา ชันทะ*.....
 สาขาวิชา...เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก... *ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช*.....
 ปีการศึกษา.....2552..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม... *ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย*.....

5072405823: MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS: BREAD/HYDROXYPROPYLMETHYL CELLULOSE/CARBOXYMETHYL CELLULOSE/HYDROCOLLOID/STALING/STORAGE TEMPERATURE

FUENGNAPHA KHUNTA: EFFECTS OF HYDROXYPROPYLMETHYL CELLULOSE AND CARBOXYMETHYL CELLULOSE ON STALING AND KEEPING QUALITY OF WHEAT BREAD. ADVISOR: THANACHAN MAHAWANICH, Ph. D., CO-ADVISOR: ASST. PROF. KIATTISAK DUANGMAL, Ph. D., 89 pp.

The objective of this research was to study the effect of adding hydroxypropylmethyl cellulose (HPMC) and carboxymethyl cellulose (CMC) on staling and keeping quality of white wheat bread. The effect of storage temperature on bread quality was also investigated. HPMC and CMC were added at the levels of 0.5, 1.0 and 1.5% of wheat flour and the bread samples were stored at either ambient (25±2 °C) or refrigerated temperature (4±2 °C). Freshly baked HPMC- and CMC-added samples contained significantly higher moisture and freezable water as compared to the all-wheat control (p≤0.05). A decrease in moisture and freezable water contents with increasing storage time was observed in all samples. Among the samples stored at the same temperature, the control exhibited greatest degree of amylopectin recrystallization. Between the two storage temperatures studied, higher degree of amylopectin recrystallization was observed in refrigerated samples. Amylopectin recrystallization was found to increase sharply during the first few days of storage. Changes in soluble starch content were well correlated to the degree of amylopectin recrystallization. A decrease in soluble starch content was found to be lower in HPMC- and CMC-containing breads. Bread samples stored at refrigerated temperature were lower in soluble starch content than those stored at ambient temperature. Both freshly baked and stored HPMC- and CMC-containing breads were lower in hardness as compared to the control. HPMC and CMC addition also helped increase crumb springiness. An investigation using a stereomicroscope revealed that HPMC- and CMC-containing breads had smaller air cells than the control. The crust of all samples had hue angle of approximately 62°, representing orange-yellow color, with similar chroma and lightness. The crumb of all samples had hue angle of approximately 95°, representing yellow color, with similar chroma, whiteness index and lightness. Refrigerated breads were lower in staling flavor than those stored at ambient temperature. From sensory evaluation, HPMC- and CMC-containing breads stored for 1 day or longer obtained significantly higher overall preference score than the control did (p≤0.05).

Department : ...Food Technology... Student's Signature.....
Field of Study : ...Food Technology... Advisor's Signature
Academic Year :2009..... Co-Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ธนจันทร์ มหาวนิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำและความช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน อาจารย์ ดร. ชนิษฐา ธนานุวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิษฐิตา จันทราพรชัย ที่ให้ความรู้ พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทนี อูริยะพงศ์สรรค์ และคุณไพโรจน์ จันธานี จากภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น สำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง farinograph และให้ความรู้ในด้านการวิเคราะห์สมบัติของโด พร้อมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่เพื่อทำวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัท ดาวเคมีคอลประเทศไทย จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์ให้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณคุณยาย คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกคน ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลาจนงานวิจัยนี้สำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือมาโดยตลอด พร้อมกันนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านสำหรับความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 สตาร์ช.....	3
2.1.1 โมเลกุลสตาร์ชและสตาร์ชแอมูล.....	3
2.1.2 เจลาทีนในเซชันของสตาร์ช.....	6
2.1.3 รีโพรเกรเดชันของสตาร์ช.....	6
2.2 แป้งสาลี.....	8
2.3 ขนมปัง.....	9
2.3.1 ส่วนผสมหลักของขนมปัง.....	9
2.3.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตขนมปัง.....	10
2.3.2.1 การเตรียมโด.....	10
2.3.2.2 การหมัก.....	10
2.3.2.3 การอบ.....	10
2.4 ความไม่สดในขนมปัง.....	11
2.4.1 กลไกการเกิดความไม่สดในขนมปัง.....	11
2.4.2 บทบาทของอมิโลสและอมิโลเพกทินต่อการเกิดความไม่สดในขนมปัง.....	12
2.4.3 การประเมินความไม่สดในขนมปัง.....	13
2.4.4 ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเกิดความไม่สดในขนมปัง.....	13
2.5 ไฮโดรคอลลอยด์.....	14
2.5.1 เซลลูโลสดัดแปร.....	14
2.5.2 การใช้เซลลูโลสดัดแปรในขนมปังและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.5.2.1 การใช้เซลลูโลสดัดแปรในขนมปังที่ทำจากแป้งสาลี.....	16
2.5.2.2 การใช้เซลลูโลสดัดแปรในขนมปังที่อบเพียงบางส่วน.....	17
2.5.2.3 การใช้เซลลูโลสดัดแปรในขนมปังชนิดอื่นๆ.....	18
3 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย.....	20

	หน้า
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี.....	20
3.1.1 วัตถุดิบสำหรับผลิตขนมปัง.....	20
3.1.2 สารเคมี.....	20
3.2 อุปกรณ์.....	20
3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย	21
3.3.1 การเตรียมขนมปัง.....	21
3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติของขนมปัง.....	23
3.3.2.1 ปริมาณความชื้น.....	23
3.3.2.2 ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้และการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิไลเพกทิน.....	23
3.3.2.3 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้	24
3.3.2.4 ปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง.....	24
3.3.2.5 สมบัติด้านเนื้อสัมผัส.....	24
3.3.2.6 โครงสร้างเนื้อในของขนมปัง	25
3.3.2.7 สี.....	25
3.3.2.8 คุณภาพทางประสาทสัมผัส	26
3.3.2.8.1 การประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา	26
3.3.2.8.2 การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ	27
3.3.3 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	27
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	28
4.1 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรขนมปัง.....	28
4.2 ผลของการเติม HPMC และ CMC ต่อความไม่สดและคุณภาพการเก็บรักษาของขนมปัง	29
4.2.1 ปริมาณความชื้น.....	29
4.2.2 ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้	30
4.2.3 การเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิไลเพกทิน	33
4.2.4 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้	36
4.2.5 ปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง	37
4.2.6 สมบัติด้านเนื้อสัมผัส.....	38
4.2.7 โครงสร้างเนื้อในของขนมปัง	41
4.2.8 สีของเปลือกนอกและเนื้อในของขนมปัง	42
4.2.9 คุณภาพทางประสาทสัมผัส	46
4.2.9.1 การประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา.....	46
4.2.9.2 การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ	56
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	64
รายการอ้างอิง	66

ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....	76
ภาคผนวก ข กราฟและแบบประเมินทางประสาทสัมผัส.....	79
ภาคผนวก ค ตารางข้อมูล.....	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	89



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สัญลักษณ์แทนตัวอย่างขนมปังในงานวิจัยนี้.....	21
3.2 ปริมาณส่วนผสมสำหรับตัวอย่างขนมปัง	22
4.1 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรขนมปัง	29
4.2 สมบัติด้านสีของเปลือกนอกของขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ	45
4.3 สมบัติด้านสีของเนื้อในของขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ.....	46
4.4 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านสีของเปลือกนอกของขนมปัง (สีน้ำตาล) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	47
4.5 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านสีของเปลือกนอกของขนมปัง (สีน้ำตาล) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น	47
4.6 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านสีของเนื้อในของขนมปัง (สีขาว) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	48
4.7 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านสีของเนื้อในของขนมปัง (สีขาว) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	48
4.8 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความสม่ำเสมอของรูพรุนของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	49
4.9 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความสม่ำเสมอของรูพรุนของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	49
4.10 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านขนาดของรูพรุนของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	50
4.11 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านขนาดของรูพรุนของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	50
4.12 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความแข็งของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	51
4.13 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความแข็งของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	52
4.14 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	53
4.15 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	53
4.16 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความยืดหยุ่นของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	54
4.17 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความยืดหยุ่นของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	54

ตารางที่	หน้า
4.18 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นรสไม่สดของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	55
4.19 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาด้านกลิ่นรสไม่สดของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	56
4.20 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบด้านสีของเปลือกนอกของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	57
4.21 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบด้านสีของเปลือกนอกของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	57
4.22 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบด้านสีของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	58
4.23 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบด้านสีของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น	58
4.24 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	59
4.25 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	59
4.26 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบด้านกลิ่นรสของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	60
4.27 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบด้านกลิ่นรสของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	60
4.28 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบด้านรสชาติของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	61
4.29 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบด้านรสชาติของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	61
4.30 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบโดยรวมของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	62
4.31 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านด้านความชอบโดยรวมของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	63
ค.1.1 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง	83
ค.1.2 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	83
ค.2.1 ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	83
ค.2.2 ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ..	84
ค.3.1 เอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอมิโกลเพกทิน (J/g) ในขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ..	84

ตารางที่	หน้า
ค.3.2 เอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอมิโดเพกทิน (J/g) ในขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ แช่เย็น.....	84
ค.4.1 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ (% โดยน้ำหนัก) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง .	85
ค.4.2 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ (% โดยน้ำหนัก) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ แช่เย็น.....	85
ค.5.1 ปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ ๆ.....	85
ค.6.1 ความแข็ง (g force) ของเนื้อในของขนมปัง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	86
ค.6.2 ความแข็ง (g force) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	86
ค.6.3 การเกาะตัวกันของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	86
ค.6.4 การเกาะตัวกันของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	87
ค.6.5 ความยืดหยุ่นของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	87
ค.6.6 ความยืดหยุ่นของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	87
ค.7.1 ขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศแสดงในรูปความยาวเส้นรอบของเซลล์อากาศ (mm) ของเนื้อในของ ขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง.....	88
ค.7.2 ขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศแสดงในรูปความยาวเส้นรอบของเซลล์อากาศ (mm) ของเนื้อในของ ขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น.....	88

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 อมิโลส	3
2.2 อมิโลเพกทิน.....	4
2.3 โครงสร้างเชิงกิ่งของอมิโลเพกทิน	4
2.4 สตาร์ชแกรนูลของแป้งสาลี.....	5
2.5 โครงสร้างของสตาร์ชแกรนูลซึ่งมีลักษณะเป็นชั้นสลับกันของส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน	5
2.6 สตาร์ชแกรนูลในสารแขวนลอยของสตาร์ชข้าวโพดเข้มข้น 5% ที่อุณหภูมิ (ก) 30 °C และ (ข) 60 °C	6
2.7 การเปลี่ยนแปลงของความหนืดเมื่อให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยสตาร์ช	7
2.8 รีโทรเกรดชันของสตาร์ช รีโทรเกรดชันที่เกิดขึ้นจากการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ ส่งผลให้โมเลกุล สตาร์ชเกิดการรวมกันใหม่และตกตะกอน ในขณะที่รีโทรเกรดชันที่เกิดขึ้นจากการลดอุณหภูมิอย่าง รวดเร็วทำให้เกิดเป็นโครงสร้างเจล	7
2.9 แบบจำลองการเกิดความไม่สดในขนมปัง	12
2.10 ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเกิดความไม่สดในขนมปัง	14
2.11 ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส	15
2.12 ไฮเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส	16
4.1 ปริมาณความชื้นของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น.....	30
4.2 รูปแบบเส้นกราฟ DSC ในช่วงอุณหภูมิที่น้ำแข็งละลายซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 0 °C.....	31
4.3 ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น	32
4.4 รูปแบบเส้นกราฟ DSC ในช่วงอุณหภูมิที่ผลึกอมิโลเพกทินหลอมละลายซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 60-80 °C.....	34
4.5 เอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอมิโลเพกทินในขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ แช่เย็น.....	35
4.6 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น .	37
4.7 ปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ.....	38
4.8 ความแข็งของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น	40
4.9 การเกาะตัวกันของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น.....	40
4.10 ความยืดหยุ่นของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น.....	41
4.11 โครงสร้างของเนื้อในของขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่และที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น	43
4.12 ความยาวเส้นรอบโดยเฉลี่ยของเซลล์อากาศของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและ อุณหภูมิแช่เย็น.....	44
ก.1.1 farinogram ของโดสูตรควบคุม.....	77
ก.1.2 farinogram ของโดที่เติม HPMC 1.5%	77
ก.1.3 farinogram ของโดที่เติม CMC 1.5%	78
ข.1.1 กราฟมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้	79

รูปที่

หน้า

๗.4.1 กราฟ TPA ของขนมปัง

82



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษา ขนมปังที่ไม่สด (staled bread) มีลักษณะทั่วไปที่ผู้บริโภคสังเกตเห็นได้ง่าย คือ เนื้อในของขนมปัง (crumb) มีลักษณะแข็ง ร่วน มีความชุ่มเพิ่มขึ้น เปลือกนอกของขนมปัง (crust) มีลักษณะนิ่มลง และมีการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นรส (Setser, 1996; Bárcenas and Rosell, 2006; Ribotta and Le Bail, 2007) ความไม่สดของขนมปัง (bread staling) สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าภายใน 3-4 วันหลังจากผลิต (Pylar, 1973) Zobel และ Kulp (1996) รายงานว่าประมาณ 3% ของขนมปังที่ผลิตในสหรัฐอเมริกาถูกส่งคืนจากร้านค้าเนื่องจากการเสื่อมคุณภาพ ซึ่งการสูญเสียนี้นอกจากจะมีผลต่อผู้ผลิตโดยตรงแล้วยังส่งผลถึงผู้บริโภคในเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย ด้วยเหตุนี้ความไม่สดของขนมปังจึงได้รับความสนใจศึกษาโดยนักวิทยาศาสตร์การอาหารจากทั่วโลกเพื่อสามารถเข้าใจกลไกพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว (Schiraldi and Fessas, 2001) ความไม่สดหรือการเสื่อมคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษาหมายถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้านต่างๆ ได้แก่ รสชาติ กลิ่น ความแน่นเนื้อ ความสามารถในการรักษาความชื้น ความเป็นผลิตภัณฑ์ ความชุ่มชื้น และปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในเนื้อในของขนมปัง (Chen *et al.*, 1997) การเกิดความไม่สดในขนมปังมีสาเหตุหลักมาจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของขนมปัง (Zobel and Kulp, 1996) นอกจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชแล้ว ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเกิดความไม่สดในขนมปัง ได้แก่ การเคลื่อนย้ายของน้ำ (moisture migration) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดกับกลูเตน และการเปลี่ยนแปลงระหว่างสถานะคล้ายแก้วและสถานะคล้ายยาง (glassy-rubbery transition) ของส่วนอสัณฐาน (amorphous domain) (Vodovotz, Hallberg and Chinachoti, 1996; Baik and Chinachoti, 2000; Hallberg and Chinachoti, 2002)

เนื่องจากการเกิดความไม่สดส่งผลอย่างมากต่อคุณภาพของขนมปังและการยอมรับของผู้บริโภค จึงมีความสนใจศึกษาการชะลอการเกิดความไม่สดนี้ เช่น การใช้สารลดแรงตึงผิว (surfactant) (Rogers and Hosenev, 1983; Krog *et al.*, 1989; Knightly, 1996; Selomulyo and Zhou, 2007) การใช้สารเสริมคุณภาพขนมปัง (bread improver) (Every *et al.*, 1999) การใช้เอนไซม์ (Morgan *et al.*, 1997; Champenois *et al.*, 1999) และการเติมพอลิแซ็กคาไรด์อื่นๆ ที่ไม่ใช่สตาร์ช (Dziezak, 1991; Davidou *et al.*, 1996) เป็นต้น ไฮโดรคอลลอยด์มีความสามารถในการควบคุมสมบัติการไหลของโดและเนื้อสัมผัสของขนมปังโดยการทำให้อิมัลชัน ระบบของสารแขวนลอย และโฟมที่เกิดขึ้นมีความคงตัว ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropylmethyl

cellulose, HPMC) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่มีการนำมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของขนมปังกันอย่างแพร่หลาย (Rosell, Rojas and Benedito de Barber, 2001; Guarda *et al.*, 2004; Bárcenas and Rosell, 2007) โดยไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดมีบทบาทสำคัญในการรักษาความชื้นของขนมปังจึงช่วยให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม (Rosell *et al.*, 2001; Bárcenas and Rosell, 2006) นอกจากนี้ HPMC ยังสามารถเกิดอันตรกิริยาได้กับวัฏภาคที่ไม่มีขั้ว (non-polar phase) ในโดได้ จึงช่วยรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันในระหว่างการผลิตขนมปัง (Selomulyo and Zhou, 2007) ส่วน CMC ช่วยให้ขนมปังมีความยืดหยุ่นมากขึ้นเนื่องจากการผลัดกันของประจุลบบนสายโซ่ (วรรณตฤณ, 2549) ในปัจจุบันการศึกษาผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ในขนมปังส่วนมากมุ่งเน้นในการศึกษาสมบัติการไหลของโดและคุณภาพของขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ (Dziezak, 1991; Rosell *et al.*, 2001; Guarda *et al.*, 2004) อย่างไรก็ตาม การศึกษาผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ต่อความไม่สดและคุณภาพการเก็บรักษาของขนมปังยังมีค่อนข้างจำกัด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด ได้แก่ HPMC และ CMC ต่อความไม่สดและคุณภาพการเก็บรักษาของขนมปังขาวที่ทำจากแป้งสาลี นอกจากนี้ยังศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาที่มีต่อความไม่สดและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของขนมปังขาวที่ทำจากแป้งสาลีด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

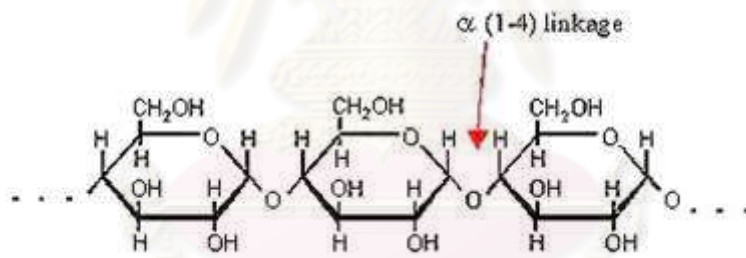
วารสารปริทัศน์

2.1 สตาร์ช

สตาร์ชเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของ α -D-glucose ประกอบด้วยพอลิเมอร์สองชนิด ได้แก่ อมิโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นและอไมโลเพกทินซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง

2.1.1 โมเลกุลสตาร์ชและสตาร์ชแกรนูล

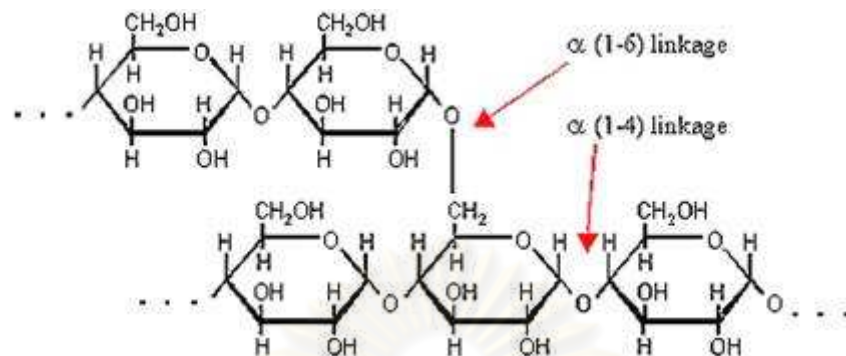
อมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นประกอบด้วยหน่วยย่อยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -(1 \rightarrow 4) (รูปที่ 2.1) โมเลกุลอมิโลสมีโครงสร้างเชิงกิ่งอยู่ในปริมาณเล็กน้อย โดยเชื่อมต่อในตำแหน่งจุดแตกกิ่งด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -(1 \rightarrow 6) อย่างไรก็ตามตำแหน่งของโซ่กิ่งในอมิโลสอยู่ห่างกันมาก สมบัติของอมิโลสจึงขึ้นกับส่วนที่เป็นโครงสร้างเชิงเส้นเป็นหลัก



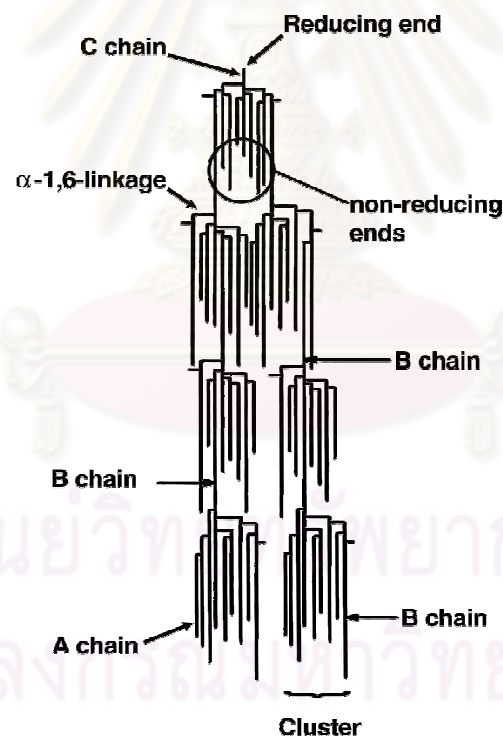
รูปที่ 2.1 อมิโลส

อไมโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นสายโซ่หลักเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -(1 \rightarrow 4) และที่ตำแหน่งจุดแตกกิ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -(1 \rightarrow 6) (รูปที่ 2.2) โครงสร้างเชิงกิ่งนี้มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณกลูโคสในอไมโลเพกทินทั้งหมด โครงสร้างเชิงกิ่งของอไมโลเพกทินประกอบด้วยสายโซ่สามชนิด ได้แก่ โซ่เอ (A-chain) โซ่บี (B-chain) และโซ่ซี (C-chain) (รูปที่ 2.3) โซ่ซีได้แก่โซ่ที่มีปลายรีดิวซ์ซึ่งมีเพียงปลายเดียวในโมเลกุลอไมโลเพกทิน ดังนั้นโมเลกุลอไมโลเพกทินหนึ่งๆ จะมีโซ่ซีเพียงสายเดียว โซ่ซีมีกิ่งมากมายเรียกกิ่งเหล่านี้ว่าโซ่บีซึ่งเชื่อมต่อกับโซ่เอต่อไป โซ่เอเป็นโครงสร้างที่ไม่มีกิ่งและเชื่อมต่อกับสายโซ่อื่นที่ตำแหน่งเดียวเท่านั้น โครงสร้างอไมโลเพกทินประกอบด้วยโซ่เอและโซ่บีในอัตราส่วน 0.8-

0.9:1 โมเลกุลอมิไคเพกทินอยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (cluster) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)



รูปที่ 2.2 อมิไคเพกทิน

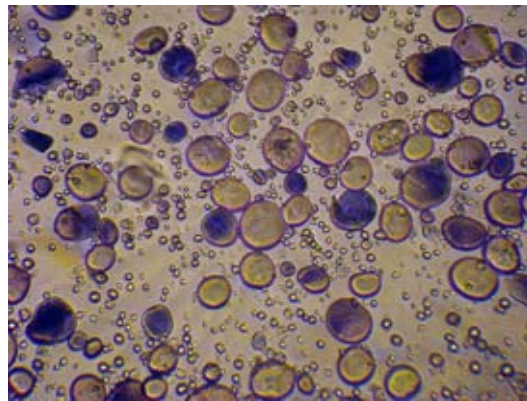


รูปที่ 2.3 โครงสร้างเชิงกิ่งของอมิไคเพกทิน

ที่มา: Manners (1989)

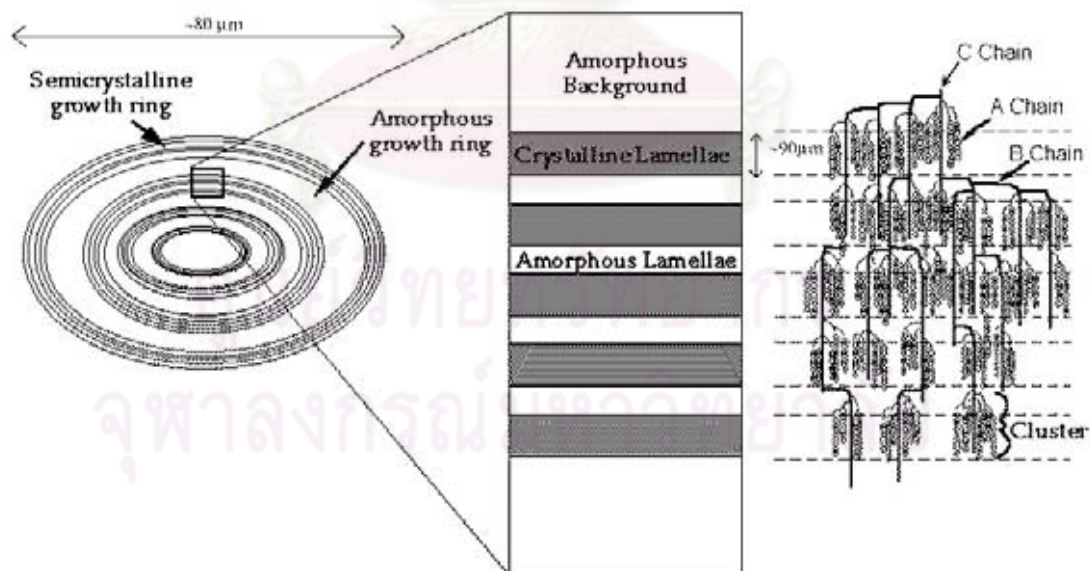
สตาร์ชแกรนูลจากพืชแต่ละชนิดมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป สตาร์ชแกรนูลของแป้งสาลีมีขนาดในช่วง 2-55 μm (BeMiller and Whistler, 1996) (รูปที่ 2.4) สตาร์ชแกรนูลประกอบ

ด้วยโมเลกุลอไมโลสและ/หรืออไมโลเพกทินซึ่งจัดเรียงตัวกันในแนวรัศมี (radial arrangement) เกิดเป็นโครงสร้างของชั้นสลับกันของส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน (รูปที่ 2.5) ส่วนที่เป็นผลึกประกอบด้วยโมเลกุลอไมโลสและโซ่กิ่งของอไมโลเพกทิน ในขณะที่ส่วนที่เป็นจุดแตกกิ่งของโมเลกุลอไมโลเพกทินเกิดการเรียงตัวที่เป็นระเบียบได้ยากเนื่องจากการขัดขวางเชิงโครงสร้าง (steric hindrance) ทำให้มีโครงสร้างแบบอสัณฐาน



รูปที่ 2.4 สตาร์ชแกรนูลของแป้งสาลี

ที่มา: Kiselov (2006)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของสตาร์ชแกรนูลซึ่งมีลักษณะเป็นชั้นสลับกันของส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน

ที่มา: Jenkins และ Donald (1995)

2.1.2 เจลาทีโนเซชันของสตาร์ช

สตาร์ชแกรนูลพองตัวได้เล็กน้อยในน้ำเย็นและเกิดเป็นสารแขวนลอย (suspension) โดยน้ำเย็นสามารถผ่านเข้าไปในส่วนที่เป็นอสัณฐาน แต่ไม่สามารถผ่านเข้าไปในส่วนที่เป็นผลึกได้ เนื่องจากโครงสร้างส่วนนี้มีความเป็นระเบียบและความหนาแน่นสูง เมื่อให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยสตาร์ช สตาร์ชแกรนูลจะดูดซับน้ำเข้าไปและพองตัวขึ้น น้ำสามารถผ่านเข้าไประหว่างสายโซ่สตาร์ชและทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่สตาร์ช ทำให้สูญเสียโครงสร้างที่เป็นผลึกและเกิดการพองตัวของสตาร์ชแกรนูลซึ่งเรียกว่าเจลาทีโนเซชัน (รูปที่ 2.6) ความหนืดของสารแขวนลอยสตาร์ชเริ่มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างสตาร์ชแกรนูลที่พองตัวจนกระทั่งถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) หากให้ความร้อนต่อไปสตาร์ชแกรนูลจะแตกออกทำให้ความหนืดลดลง (รูปที่ 2.7)



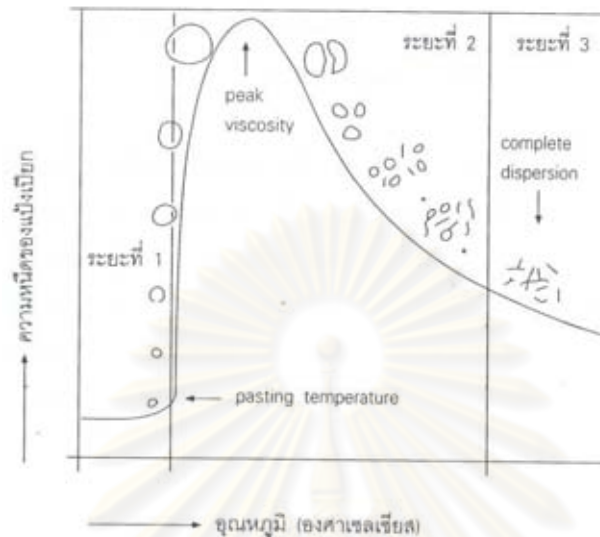
รูปที่ 2.6 สตาร์ชแกรนูลในสารแขวนลอยของสตาร์ชข้าวโพดเข้มข้น 5% ที่อุณหภูมิ (ก) 30 °C และ (ข) 60 °C

ที่มา: OSU Food Resource (2009)

2.1.3 รีโทรเกรเดชันของสตาร์ช

เมื่อเพสต์หรือเจลของสตาร์ชเย็นตัวลง สตาร์ชจะเกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) และความสามารถในการละลาย (insolubilization) โมเลกุลของสตาร์ชจับกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนเรียกปรากฏการณ์ที่สตาร์ชมีความสามารถในการละลายลดลงนี้ว่ารีโทรเกรเดชัน รีโทรเกรเดชันที่เกิดขึ้นอย่างช้าๆ ส่งผลให้โมเลกุลสตาร์ชเกิดการรวมกันใหม่ (reassociate) และตกตะกอน (precipitate) ในขณะที่รีโทรเกรเดชันที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเป็นโครงสร้างเจล (Belitz and Grosch, 1986) (รูปที่ 2.8) อมิโลสเกิดรีโทรเกรเดชันในอัตราที่เร็วกว่าอมิโลเพกทิน อัตราเร็วของการเกิดรีโทรเกรเดชันขึ้นกับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ สัดส่วนของอมิโลสต่ออมิโลเพกทิน อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสตาร์ช และโมเลกุลอื่นๆ ที่มีในระบบ ปรากฏการณ์รีโทรเกรเดชัน

สามารถพบได้ในระบบอาหารต่างๆ เช่น การเกิดความไม่เสถียรในขนมปัง การสูญเสียความหนืดและการตกตะกอนในซูปและซอส



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงของความหนืดเมื่อให้ความร้อนแก่สารแขวนลอยสตาร์ช
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)



รูปที่ 2.8 ริโพรเกรเดชันของสตาร์ช ริโพรเกรเดชันที่เกิดขึ้นจากการลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ ส่งผลให้โมเลกุลสตาร์ชเกิดการรวมกันใหม่และตกตะกอน ในขณะที่ริโพรเกรเดชันที่เกิดขึ้นจากการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเป็นโครงสร้างเจล
ที่มา: Belitz และ Grosch (1986)

2.2 แป้งสาลี

แป้งสาลีประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน รวมทั้งองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ เอนไซม์ วิตามิน และแร่ธาตุ โดยคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบที่มีปริมาณมากที่สุดในแป้งสาลี และมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก แป้งสาลีประกอบด้วยสตาร์ชประมาณ 60% (Belitz and Grosch, 1986) สตาร์ชแป้งสาลีประกอบด้วยอมิโลสในปริมาณค่อนข้างสูง (ประมาณ 23-28%) (กล้านรงค์ ศรีวรรต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) องค์ประกอบที่เป็นคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ ในแป้งสาลี ได้แก่ น้ำตาล เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพนโทแซน แป้งสาลีมีน้ำตาลในปริมาณต่ำ (น้อยกว่า 1%) (USDA, 2008) ซึ่งประกอบไปด้วย ฟรุกโทส กลูโคส ซูโครส มอลโทส และ โอลิโกแซ็กคาไรด์อื่นๆ น้ำตาลมีบทบาทในขนมอบในแง่การเป็นอาหารของยีสต์และร่วมในปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์ (non-enzymatic browning) ส่วนเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพนโทแซนในแป้งสาลีมีประมาณ 0.3, 2.4 และ 2.5% ตามลำดับ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540; Baillet, Downy and Tuohy, 2003) เพนโทแซนมีบทบาทสำคัญในการเกิดเป็นโดของแป้งสาลี เนื่องจากมีสมบัติในการอุ้มน้ำได้มากถึง 15 เท่าโดยน้ำหนัก (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540) และมีความหนืดสูงกว่าโปรตีนแป้งสาลี เพนโทแซนจึงมีส่วนช่วยให้การดูดซึมน้ำของแป้งสาลีและลดเวลาในการผสมโด

องค์ประกอบสำคัญที่เป็นตัวกำหนดคุณภาพของแป้งสาลีคือโปรตีน ปริมาณและคุณภาพของโปรตีนเป็นปัจจัยกำหนดความเหมาะสมในการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540) แป้งสาลีสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทตามปริมาณโปรตีน ได้แก่ แป้งขนมปัง (มีโปรตีน 12-14%) แป้งอเนกประสงค์ (มีโปรตีน 10-11%) และแป้งเค้ก (มีโปรตีน 7-9%) (จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2542) หากนำโปรตีนในแป้งสาลีมาแยกส่วนตามความสามารถในการละลายจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ โปรตีนที่ละลายในน้ำ (แอลบูมิน) โปรตีนที่ละลายในน้ำเกลือ (โกลบูลิน) โปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์ (ไกลอะดิน) และโปรตีนที่ละลายในสารละลายกรด (กลูเตนิน) ซึ่งมีปริมาณ 14.7, 7.0, 32.6 และ 45.7% ของน้ำหนักแป้งสาลีตามลำดับ (Belitz and Grosch, 1986) เมื่อนวดผสมไกลอะดินและกลูเตนินกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้เกิดกลูเตนซึ่งมีลักษณะยืดหยุ่นและสามารถเก็บกักก๊าซเอาไว้ได้ ทำให้เกิดโครงสร้างที่จำเป็นสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบ (จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2542) Belitz และ Grosch (1986) รายงานว่าไกลอะดินมีบทบาทสำคัญในการให้ความหนืด ในขณะที่กลูเตนินมีบทบาทสำคัญในการให้ความยืดหยุ่น

แป้งสาลีมีไขมันอยู่ประมาณ 2.2% (Belitz and Grosch, 1986) ไขมันในแป้งสาลีส่วนใหญ่ (ประมาณ 90%) เป็นโมโนเอซิลลิพิดและไลโซฟอสโฟลิพิด กรดไขมันที่สำคัญ ได้แก่ กรดปาล์มมิติกและกรดลิโนลีนิก (กล้านรงค์ ศรีวรรต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

2.3 ขนมหปัง

ขนมปังคือผลิตภัณฑ์ที่เตรียมโดยการอบโดที่ทำจากแป้งและน้ำ โดยทั่วไปแป้งที่ใช้ทำขนมปังได้แก่แป้งสาลี (Alais and Linden, 1991) ขนมปังมีลักษณะและวิธีทำที่แตกต่างกันไปในแต่ละภูมิภาค ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ ความชอบ และวัฒนธรรมของคนในภูมิภาคนั้นๆ สูตรการทำขนมปังพื้นฐานประกอบด้วยส่วนผสมหลัก 4 ชนิด ได้แก่ แป้งสาลี ยีสต์ เกลือ และน้ำ

2.3.1 ส่วนผสมหลักของขนมปัง

แป้งสาลีทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของขนมปัง แป้งสาลีที่นำมาใช้ทำขนมปังต้องมีปริมาณโปรตีนมากเพียงพอ (12-14%) ทั้งนี้เพื่อให้สามารถสร้างกลูเตนในปริมาณมากเพียงพอสำหรับโดที่มีความยืดหยุ่น ความแข็งแรง และความคงทนสูง

ยีสต์ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบเรียกโดยทั่วไปว่า baker's yeast เป็นยีสต์สายพันธุ์ *Saccharomyces cerevisiae* ทำหน้าที่หมักน้ำตาลได้ผลผลิตเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เอทานอล และน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้โดขึ้นฟูและผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ได้มีโครงสร้างโปร่งเป็นรูพรุนและมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม เอทานอลที่ผลิตขึ้นให้กลิ่นรสเฉพาะแก่ขนมอบ

เกลือในสูตรขนมปังมีหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้แก่กลูเตนทำให้ก้อนขนมปังที่ได้มีปริมาตรสูง เกลือช่วยชะลออัตราการหมักของยีสต์ ทำให้มีการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างช้าๆ และสม่ำเสมอ ส่งผลให้ขนมปังที่ได้มีรูพรุนขนาดเล็กที่กระจายทั่วทั้งก้อน นอกจากนี้เกลียวยังช่วยเพิ่มรสชาติแก่ขนมปังอีกด้วย

น้ำมีหน้าที่ทำให้ส่วนผสมต่างๆ สามารถผสมเข้าไปในเนื้อโดได้สม่ำเสมอ เมื่อนวดแป้งสาลีกับน้ำจะเกิดกลูเตนซึ่งทำให้โดมีความยืดหยุ่น นอกจากนี้ความชื้นยังช่วยให้เอนไซม์สามารถทำงานได้ ดังนั้นปฏิกิริยาต่างๆ จึงเกิดขึ้นได้ในระหว่างการหมัก นอกจากนี้น้ำยังทำให้สตาร์ชเกิดเจลาทีไนเซชันเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นขณะอบ

นอกจากส่วนผสมพื้นฐานดังกล่าวแล้ว ในสูตรขนมปังอาจมีการเติมส่วนผสมอื่นๆ เช่น ไขมันและน้ำตาล ไขมันช่วยเพิ่มปริมาตรของก้อนขนมปัง ลดความแข็งของเปลือกนอกของขนมปัง ทำให้ส่วนเนื้อในของขนมปังมีผนังของเซลล์อากาศ (air cell) ที่บาง ส่งผลให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม นอกจากนี้ไขมันยังช่วยให้กลิ่นรสแก่ขนมปังด้วย น้ำตาลที่เติมลงไปในส่วนนอกจากทำหน้าที่

ในการเป็นสับสเตอร์ทของยีสต์ในกระบวนการหมักแล้ว ยังช่วยรักษาความชื้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้นอยู่ได้นาน และมีบทบาทในการเกิดสีของเปลือกนอกจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบไม่อาศัยเอนไซม์

2.3.2 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตขนมปัง

2.3.2.1 การเตรียมโด

โดขนมปังเตรียมโดยนวดผสมแป้งสาลีกับน้ำจนได้โดที่มีความยืดหยุ่น การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในขณะเตรียมโดนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การดูดซับน้ำอย่างรวดเร็วขององค์ประกอบในแป้งสาลีและการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนอันเนื่องมาจากการนวดผสม ในขั้นตอนแรกโปรตีนในแป้งสาลีจะดูดซับน้ำเข้าไปในโครงสร้าง และน้ำผ่านเข้าไปได้เฉพาะในส่วนที่เป็นอสังฐานของสตาร์ชแกรนูล โดยกระจายอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase) ของเจลโปรตีนและวัฏภาคไม่ต่อเนื่อง (dispersed phase) ของสตาร์ชแกรนูล ในขั้นตอนต่อมาเมื่อมีการนวดผสมโด โปรตีนในแป้งสาลีจะเปลี่ยนเป็นกลูเตนซึ่งมีความสามารถขยายตัวได้เมื่อมีแรงดันที่เกิดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสามารถรักษาฟองอากาศไว้ในโครงสร้างได้

2.3.2.2 การหมัก

การหมักโดมีการเปลี่ยนแปลงที่สามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ในการหมักช่วงแรกมีการทำงานของเอนไซม์ในแป้งสาลี (แอลฟา-อไมเลสและเบต้า-อไมเลส) และเอนไซม์จากยีสต์ (มอลเทสและอินเวอร์เทส) (Kent, 1983) เอนไซม์เหล่านี้ย่อยคาร์โบไฮเดรตจากสตาร์ชแกรนูลที่ได้รับความเสียหายในระหว่างการผลิตแป้งสาลี และเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตเป็นมอลโทสและเดกซ์ทริน ในการหมักช่วงที่สอง คาร์โบไฮเดรตโมเลกุลเล็กเหล่านี้จะถูกย่อยต่อไปโดยไซเมส (zymase) ซึ่งเป็นเอนไซม์คอมเพล็กซ์จากยีสต์ ได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งทำให้เกิดการขึ้นฟูของโด รวมทั้งมีการผลิตเอทานอล สารประกอบคาร์บอนิล เอสเทอร์ และกรดต่างๆ ซึ่งให้กลิ่นรสแก่ขนมปัง (Kent, 1983; Alais and Linden, 1991)

2.3.2.3 การอบ

เมื่อนำโดขนมปังไปอบ ในช่วงต้นของการอบ (ประมาณ 10 นาทีแรก) อุณหภูมิของโดยังไม่สูงมาก กระบวนการหมักในโดจึงยังคงดำเนินต่อไปได้ ยีสต์ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ก้อนขนมปังเกิดการขยายตัว ต่อมาเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 70 °C สตาร์ชเกิดเจลาทีไนเซชันและกลูเตนสูญเสียความชื้นออกไปทำให้เสียสภาพธรรมชาติ อไมเลสที่ละลายออกมาจากสตาร์ชแกรนูลจับกับโปรตีนทำให้เกิดโครงสร้างของขนมปัง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง

100 °C น้ำภายในโดเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและระเหยออกไป เปลือกนอกของขนมปังซึ่งมีความชื้นต่ำจะเริ่มแข็งตัว ณ จุดนี้ปริมาตรของก้อนขนมปังจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงอีกต่อไป เมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงขึ้นเป็น 110 °C เปลือกนอกของขนมปังจะมีสีน้ำตาลและความมันเงา เนื่องจากปฏิกิริยาเดกซ์ทรีไนเซชันและคาราเมลไลเซชัน (Alais and Linden, 1991) เมื่อการอบใกล้เสร็จสิ้นอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 170-230 °C จะเกิดปฏิกิริยาไมยาร์ด (Maillard reaction) ของกรดอะมิโนและน้ำตาลรีดิคัล ซึ่งทำให้เปลือกนอกของขนมปังเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลและให้กลิ่นรสของขนมปัง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2540)

2.4 ความไม่สดในขนมปัง

ความไม่สดในขนมปัง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมีที่เกิดขึ้นในขนมปัง ภายหลังจากการอบ โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่รวมถึงการเปลี่ยนแปลงหรือการเสื่อมสภาพอันมีสาเหตุจากจุลินทรีย์ การเกิดความไม่สดทำให้สูญเสียกลิ่นรสของขนมปัง เกิดกลิ่นรสเปรี้ยว และมีความเป็นแป้ง (starchy) มากขึ้น (Setser, 1996) เนื้อในของขนมปังมีลักษณะแห้ง แข็ง ร่วน และชุ่มมากขึ้น (Zobel and Kulp, 1996) เปลือกนอกของขนมปังมีลักษณะนิ่มและเหนียว (Setser, 1996)

2.4.1 กลไกการเกิดความไม่สดในขนมปัง

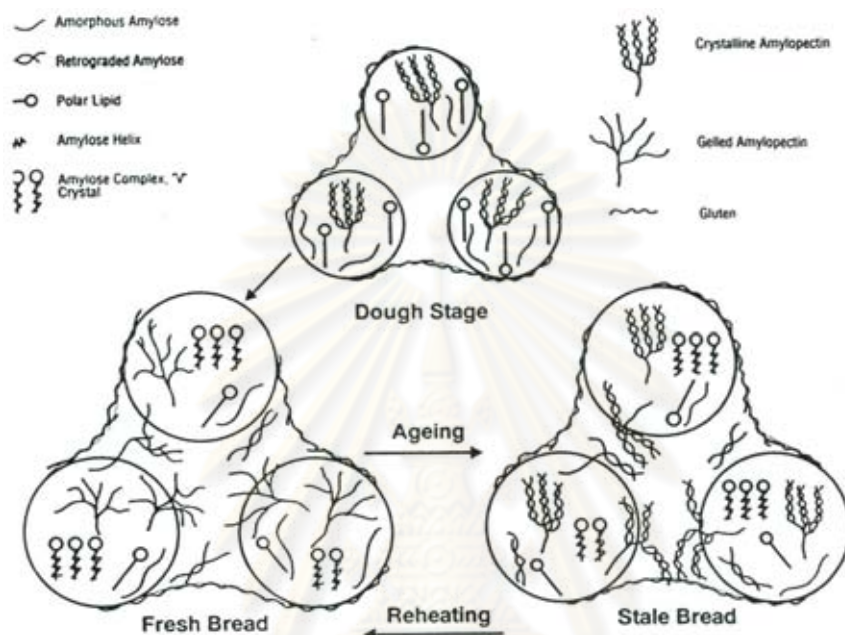
Zobel และ Kulp (1996) เสนอแบบจำลองที่อธิบายการเกิดความไม่สดในขนมปัง (รูปที่ 2.9) แบบจำลองนี้อธิบายการเปลี่ยนแปลงในขนมปังตั้งแต่โดไปเป็นขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาซึ่งทำให้ขนมปังเกิดความไม่สด รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อนำขนมปังมาคืนความสด (refreshing) โดยการให้ความร้อน

ในชั้นของโด แบบจำลองนี้แสดงสตาร์ชแกรนูลที่มีขนาดเล็กซึ่งชี้ให้เห็นถึงสถานะที่ยังไม่พองตัวของสตาร์ชแกรนูล กลูเต็นปกคลุมผิวของสตาร์ชแกรนูลและเชื่อมต่อระหว่างสตาร์ชแกรนูลเกิดเป็นภูมิภาคต่อเนื่อง ส่วนที่เป็นกิ่งของอไมโลเพกทินเกิดการจัดเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างแบบผลึก

ในระหว่างการอบโด น้ำสามารถผ่านเข้าไปในโครงสร้างที่เป็นผลึกและทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่สตาร์ช สตาร์ชเกิดเจลาทีไนเซชันและสตาร์ชแกรนูลพองตัวขึ้น บางส่วนของอไมโลสและอไมโลเพกทินอาจเคลื่อนที่ออกมาสู่ภูมิภาคเจลที่อยู่ระหว่างสตาร์ชแกรนูล

เมื่อขนมปังเย็นตัวลง อไมโลสซึ่งมีโครงสร้างเชิงเส้นเกิดการจัดเรียงตัวกันและเกิดพันธะระหว่างอไมโลสด้วยกันเองหรือส่วนกิ่งของอไมโลเพกทินได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่โครงสร้างเชิงกิ่งของอไมโลเพกทินมีผลขัดขวางเชิงโครงสร้าง ทำให้โมเลกุลอไมโลเพกทินเกิดรีโทรเกรเดชันอย่างช้าๆ

ในระหว่างการเก็บรักษา ผลจากการขัดขวางเชิงโครงสร้างนี้ทำให้อมิโลเพกทินที่เกิดรีโทรเกรเดชัน เกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่ที่ไม่แข็งแรงมากนัก จึงสามารถทำให้กระจายตัวออกได้ใหม่เมื่อให้ความร้อน



รูปที่ 2.9 แบบจำลองการเกิดความไม่สดในขนมปัง
ที่มา: Zobel และ Kulp (1996)

2.4.2 บทบาทของอไมโลสและอไมโลเพกทินต่อการเกิดความไม่สดในขนมปัง

เนื่องจากโครงสร้างเชิงเส้นของอไมโลสทำให้ง่ายต่อการจัดเรียงตัวกันและการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่ รีโทรเกรเดชันของอไมโลสจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายหลังจากนำขนมปังออกจากเตาอบและไม่มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา (Eliasson and Gudmundsson, 2006; Lai and Lin, 2006) ในขณะที่อไมโลเพกทินเกิดรีโทรเกรเดชันอย่างช้าๆ จึงเป็นสาเหตุหลักของการเกิดความไม่สดในขนมปัง (Zobel and Kulp, 1996) Ghiasi และคณะ (1984) ยืนยันบทบาทของอไมโลเพกทินในการเกิดความไม่สดในขนมปัง โดยให้ความร้อนแก่ขนมปังที่ไม่สด และรายงานว่าสามารถคืนความสดให้แก่ขนมปังที่เกิดความไม่สดโดยให้ความร้อนที่ 85-90 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิการหลอมละลายผลึกของอไมโลเพกทิน (การหลอมละลายผลึกของอไมโลสต้องให้ความร้อนสูงถึง 100-160 °C)

2.4.3 การประเมินความไม่สดในขนมปัง

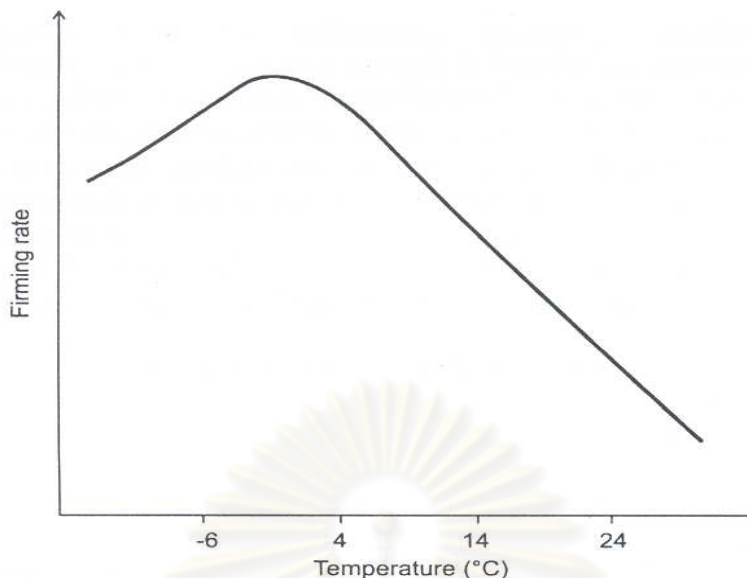
การประเมินความไม่สดในขนมปังสามารถทำได้หลายวิธี ผู้บริโภคโดยทั่วไปประเมินความไม่สดอย่างง่ายโดยการสังเกตด้วยตาเปล่าและทดสอบความแข็งด้วยการสัมผัส เนื่องจากขนมปังที่ไม่สดจะมีเนื้อในของขนมปังที่ชุ่มและมีความแข็งมากกว่าขนมปังที่สด (Watson and Boyle, 1996)

สำหรับการประเมินความไม่สดของขนมปังในงานวิจัยสามารถทำได้หลายวิธี การวัดความแข็งด้วยเครื่องมือเป็นวิธีประเมินความไม่สดที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป โดยความแข็งที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเกิดความไม่สด (Ghiasi *et al.*, 1984) วิธีประเมินความไม่สดอีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ ได้แก่ การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส เพราะนอกจากสามารถประเมินลักษณะทางเนื้อสัมผัสและลักษณะที่มองเห็นด้วยตาแล้ว ยังสามารถบอกถึงกลิ่นรสที่เปลี่ยนแปลงไปของขนมปังด้วย (Watson and Boyle, 1996)

นอกจากนี้ยังมีวิธีอื่นๆ ที่ใช้ประเมินความไม่สดของขนมปัง เช่น การใช้เทคนิค x-ray diffraction ติดตามการเกิดผลึกของสตาร์ช (Del Nobile *et al.*, 2003) การใช้ differential scanning calorimetry (DSC) ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนอันเนื่องมาจากการหลอมละลายของผลึกอไมโลเพกทินในช่วงอุณหภูมิประมาณ 40-70 °C (Vittadini and Vodovotz, 2003) Munzing และ Brack (1991) รายงานว่าเอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอไมโลเพกทินซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วย DSC มีความสัมพันธ์กับคะแนนการทดสอบความไม่สดของขนมปังด้วยวิธีทางประสาทสัมผัส

2.4.4 ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเกิดความไม่สดในขนมปัง

ขนมปังเกิดความไม่สดอย่างรวดเร็วเมื่อเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็น (รูปที่ 2.10) Pence และ Standridge (1955) รายงานว่าขนมปังมีอัตราของการเกิดความไม่สดสูงสุดที่อุณหภูมิ 4 °C ซึ่ง Gray และ BeMiller (2003) อธิบายว่าสาเหตุหลักของการเกิดความไม่สดที่อุณหภูมิต่ำเนื่องมาจากการเกิดเป็นผลึกของสตาร์ช Shalini และ Laxmi (2007) ศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเกิดความไม่สดในจapati (*Chapati* เป็น Indian flat bread ชนิดหนึ่งซึ่งทำจากแป้งสาลี) และรายงานว่างapati ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นระยะเวลา 5 วัน มีค่าแรงในการดึงขาด (force to tear) เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการยืดตัว (extensibility) มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับจapati ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นระยะเวลาเท่ากัน



รูปที่ 2.10 ผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อการเกิดความไม่สดในขนมปังซึ่งติดตามจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความแน่นเนื้อ
ที่มา: ดัดแปลงจาก Russell (1985)

2.5 ไฮโดรคอลลอยด์

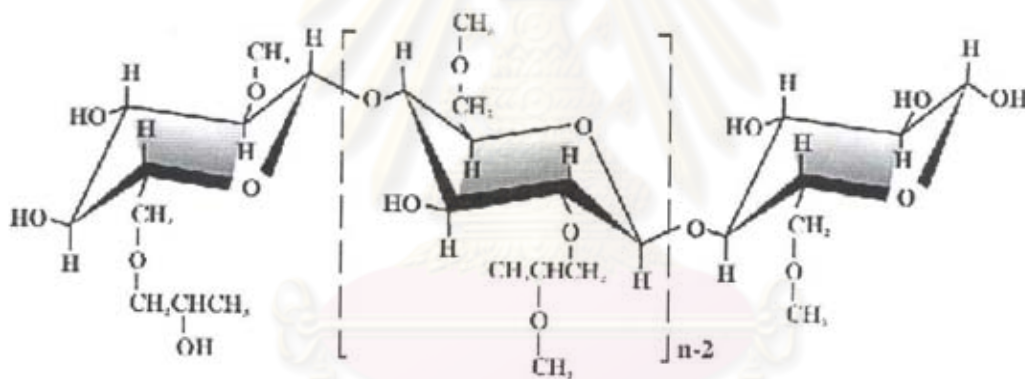
ไฮโดรคอลลอยด์หมายถึงพอลิแซ็กคาไรด์และโปรตีนที่ใช้เพื่อให้สมบัติเชิงหน้าที่ที่หลากหลาย เช่น ให้ความหนืด ช่วยให้เกิดเจล เพิ่มความคงตัวของโฟม อิมัลชันและสารแขวนลอย ป้องกันการเกิดผลึกของน้ำแข็งและน้ำตาล ควบคุมการปลดปล่อยกลิ่นรส เป็นต้น ตัวอย่างของไฮโดรคอลลอยด์ที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ สตาร์ช สตาร์ชดัดแปร อะการ์ แอลจีเนต คาราจีแนน เจลาติน เพกทิน แชนแทนกัม และเซลลูโลสดัดแปร

2.5.1 เซลลูโลสดัดแปร

เซลลูโลสสามารถนำมาดัดแปรได้ทั้งทางกายภาพและทางเคมี สำหรับการดัดแปรเซลลูโลสทางเคมีทำได้หลายวิธี อย่างไรก็ตามอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่ได้จากการดัดแปรทางเคมีที่อนุญาตให้ใช้ได้ ในอาหารมีเพียงอนุพันธ์อีเทอร์ของเซลลูโลสบางชนิดเท่านั้น (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2549) ตัวอย่างของเซลลูโลสอีเทอร์ที่นำมาใช้ในอาหาร ได้แก่ เมทิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีโพรพิลเซลลูโลส ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น ความยาวสายของโครงเซลลูโลส (cellulose backbone) ในอนุพันธ์เหล่านี้ยังคงเท่ากับในเซลลูโลสดั้งต้น แต่ชนิด

ของหมู่แทนที่และระดับการแทนที่ (degree of substitution) แปรผันไป ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติในการดูดซับน้ำ การเกิดเจล และการเพิ่มความหนืดของอนุพันธ์เซลลูโลสนั้นๆ

ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (hydroxypropylmethyl cellulose, HPMC) (รูปที่ 2.11) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่มีหมู่เมทิลและไฮดรอกซีโพรพิลเป็นหมู่แทนที่ HPMC เป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่ไม่แตกตัวให้หมู่ที่มีประจุ (non-ionic hydrocolloid) หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุล HPMC สามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นจากผลิตภัณฑ์ขนมอบในระหว่างการอบและการเก็บรักษา (Armero and Collar, 1998; Asghar, Anjum and Hussain, 2005) นอกจากนี้ HPMC ยังสามารถเกิดอันตรกิริยากับวัตถุที่ไม่มีขั้วในโดได้ จึงช่วยรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันในโดขนมอบ (Selomulyo and Zhou, 2007) ในแง่การใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาอนุญาตให้ใช้ HPMC ได้ในปริมาณที่เหมาะสม (ไม่กำหนดปริมาณสูงสุด) (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2547)

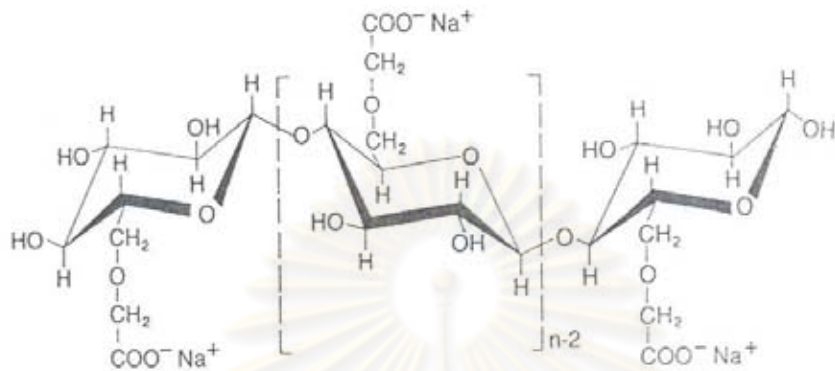


รูปที่ 2.11 ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส

ที่มา: Dow Chemical Company (2009)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) (รูปที่ 2.12) เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสที่มีหมู่คาร์บอกซีเมทิลเป็นหมู่แทนที่ มักอยู่ในรูปเกลือโซเดียม เรียกโดยทั่วไปว่าเซลลูโลสแกม CMC เป็นไฮโดรคอลลอยด์ชนิดที่แตกตัวให้หมู่ที่มีประจุลบ (anionic hydrocolloid) อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรดต่างในช่วง 5-9 มีผลน้อยมากต่อความหนืดของสารละลาย CMC หมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุล CMC สามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลน้ำด้วยพันธะไฮโดรเจน จึงช่วยป้องกันการสูญเสียความชื้นจากผลิตภัณฑ์ขนมอบในระหว่างการอบและการเก็บรักษาได้เช่นเดียวกับ HPMC (Armero and Collar, 1998; Asghar *et al.*, 2005) นอกจากนี้การผลัดกัน

ของประจุลบบนสายโซ่ของ CMC ยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับโดขนมปัง (วรรณา ตูลยธัญ, 2549) ในแง่การใช้เป็นวัตถุเจือปนอาหาร สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาอนุญาตให้ใช้ CMC ได้ในปริมาณที่เหมาะสม (ไม่กำหนดปริมาณสูงสุด) (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2547)



รูปที่ 2.12 โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

ที่มา: Stephen (1995)

2.5.2 การใช้เซลลูโลสดัดแปรในขนมปังและผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

มีการนำเซลลูโลสดัดแปรมาใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมปังโดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อปรับปรุงคุณภาพของขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ เนื่องจากมีรายงานว่าเซลลูโลสดัดแปรสามารถรักษาความชื้น เพิ่มปริมาตรของก้อนขนมปัง และลดความแข็งของขนมปัง (Rosell *et al.*, 2001; Sharadanant and Khan, 2003; Guarda *et al.*, 2004) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าเซลลูโลสดัดแปรสามารถชะลอการเกิดความไม่สดในขนมปัง (Davidou *et al.*, 1996) อย่างไรก็ตามการศึกษาการเกิดความไม่สดในผลิตภัณฑ์ขนมปังที่เติมเซลลูโลสดัดแปรยังมีค่อนข้างจำกัด

2.5.2.1 การใช้เซลลูโลสดัดแปรในขนมปังขาวที่ทำจากแป้งสาลี (white wheat bread)

Rosell และคณะ (2001) ศึกษาผลของการเติม HPMC ในปริมาณ 0.5% ที่มีต่อสมบัติของโดและขนมปังขาว พบว่าความคงตัวของโด (dough stability) ในระหว่างการหมักมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ขนมปังที่ผลิตได้ยังมีปริมาตรจำเพาะและความสามารถในการรักษาความชื้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความแน่นเนื้อ (firmness) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติม HPMC

Guarda และคณะ (2004) ศึกษาผลของการเติม HPMC ที่มีต่อคุณภาพของขนมปังขาว พบว่าการเติม HPMC ในปริมาณ 0.1% เพียงพอที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในด้าน

ต่างๆ ของขนมปัง โดย HPMC สามารถปรับปรุงคุณภาพในด้านการรักษาความชื้น ความแข็งแรง ปริมาตรของก้อนขนมปัง รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัส นอกจากนี้ HPMC ยังสามารถช่วยชะลอการแข็งขึ้นของเนื้อในของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษาอีกด้วย

Bárcenas และ Rosell (2005) ติดตามการเกิดความไม่สดในขนมปังขาวที่เติม HPMC และรายงานว่าการเติม HPMC ช่วยชะลออัตราการแข็งขึ้นของเนื้อในของขนมปังและการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช ผู้วิจัยเสนอว่าการที่ HPMC สามารถชะลอการเกิดความไม่สดอาจเนื่องมาจากการที่ HPMC เกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบอื่นๆ ในโดและมีผลขัดขวางการเกิดอันตรกิริยาระหว่างองค์ประกอบเหล่านั้นด้วยตัวเอง ซึ่งก่อนหน้านี้ Davidou และคณะ (1996) และ Collar และคณะ (1999) รายงานว่า HPMC สามารถเกิดอันตรกิริยากับสตาร์ชทำให้มีผลยับยั้งอันตรกิริยาระหว่างสตาร์ชกับกลูเตน นอกจากนี้ยังชะลอการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลสตาร์ชด้วยตัวเอง ต่อมา Rosell และ Foegeding (2007) เสนอว่านอกจาก HPMC จะเกิดอันตรกิริยากับสตาร์ชแล้ว HPMC ยังสามารถแทนที่โปรตีนในโครงสร้างกลูเตนทำให้ขัดขวางการรวมตัวกันของโปรตีนในระหว่างการอบและทำให้ขนมปังที่ผลิตได้มีเนื้อในที่นุ่ม

สำหรับการใช้ CMC ในขนมปังขาว Angliolini และ Collar (2009) ทดแทนแป้งสาลีในสูตรขนมปังขาวด้วย CMC ในปริมาณ 6, 9 และ 12% และรายงานว่าการเติม CMC ช่วยชะลออัตราการแข็งขึ้นของเนื้อในของขนมปังระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ของ Zhou และคณะ (2008) ซึ่งศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลสตาร์ชข้าวสาลีเข้มข้น 35% และรายงานว่าการเกิดรีโทรเกรเดชันของตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติม CMC สูงกว่าตัวอย่างที่เติม CMC ในปริมาณ 5% ถึง 2 เท่า นอกจากนี้ Alam และคณะ (2009) ยังรายงานว่าการเติม CMC ทำให้การคืนตัวของแป้งเปียก (setback) ของแป้งจากข้าวสาลีชนิดแข็ง (hard wheat) มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติม CMC ซึ่งชี้ให้เห็นว่าแป้งเปียกเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง

2.5.2.2 การใช้เซลดูโลสตัดแปรในขนมปังที่อบเพียงบางส่วน (partially baked bread)

Bárcenas และ Rosell (2006) ศึกษาผลของการเติม HPMC ต่อคุณภาพของขนมปังที่อบเพียงบางส่วน พบว่าการเติม HPMC ช่วยเพิ่มปริมาตรของก้อนขนมปัง นอกจากนี้ยังช่วยรักษาความชื้น ลดความแข็งของเนื้อในของขนมปัง ในขณะที่คุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ต่อมา Bárcenas และ Rosell (2007) ศึกษาผลของการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (2°C) ต่อการเกิดความไม่สดในขนมปังที่อบเพียงบางส่วน พบว่าในระหว่างการเก็บรักษาตัวอย่างขนมปังมีการเพิ่มขึ้นของความแข็งของเนื้อในและการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลเพกทินอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามสามารถทำให้การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวผันกลับ

ได้โดยการให้ความร้อนเพื่อให้ได้ขนมปังที่อบโดยสมบูรณ์ (fully baked bread) การเติม HPMC ช่วยชะลอการแข็งขึ้นของเนื้อในของขนมปังและการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอิมิโดเพกทินทั้งในขนมปังที่อบเพียงบางส่วนและขนมปังที่อบโดยสมบูรณ์

2.5.2.3 การใช้เซลลูโลสดัดแปรในขนมปังชนิดอื่นๆ

Nishita และคณะ (1976) ศึกษาผลของการเติม HPMC CMC โลคัสปีนัม กัวร์กัม คาราจีแนน และแซนแทนกัมในขนมปังแป้งข้าวเจ้า พบว่า HPMC เป็นไฮโดรคอลลอยด์เพียงชนิดเดียวที่สามารถเพิ่มความหนืดของโดจนถึงระดับที่เพียงพอต่อการเก็บกักก๊าซไว้ภายในโครงสร้างได้ ทำให้ได้ขนมปังที่มีความโปร่งเป็นรูพรุนและมีปริมาตรของก้อนขนมปังที่สูง ในขณะที่ขนมปังที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นมีปริมาตรที่ต่ำ อย่างไรก็ตามผลที่ได้ขัดแย้งกับงานวิจัยต่อมาที่รายงานโดย Lazaridou และคณะ (2007) ซึ่งศึกษาการเติม CMC ในขนมปังที่ประกอบด้วยแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพดและไซเดียมเคซีเนต ผู้วิจัยรายงานว่าขนมปังที่เติม CMC ในปริมาณ 1% มีปริมาตรของก้อนขนมปังและความเป็นรูพรุนสูงกว่าตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติม CMC อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่มีความยืดหยุ่นของเนื้อในของขนมปังไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) ในขณะที่ขนมปังที่เติม CMC ในปริมาณ 2% มีปริมาตรของก้อนขนมปังไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) แต่มีความเป็นรูพรุนและความยืดหยุ่นสูงกว่าตัวอย่างควบคุม ($p \leq 0.05$) ความแน่นเนื้อของขนมปังที่เติม CMC ในปริมาณ 1 และ 2% ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม ($p > 0.05$) และจากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสผู้ประเมินให้คะแนนการยอมรับโดยรวมสูงสุดสำหรับตัวอย่างที่เติม CMC ในปริมาณ 2%

Tavakolipour และ Kalbasi-Ashtari (2006) ศึกษาผลของการเติม HPMC และ CMC ในลาวอช (Lavash เป็น Persian flat bread ชนิดหนึ่งซึ่งทำจากแป้งสาลี) พบว่าการเติม HPMC หรือ CMC ในปริมาณ 0.3% ในโดขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวสาลีสายพันธุ์ Sorkheh และในปริมาณ 0.5% ในโดขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวสาลีสายพันธุ์ Sardar ช่วยเพิ่มการดูดซับน้ำและลดความต้านทานในการนวดผสมของโด การเติม HPMC และ CMC ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปัง นอกจากนี้ยังช่วยชะลอการแข็งขึ้นของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา ในอีกงานวิจัยหนึ่ง Gavilighi และคณะ (2006) ติดตามการเกิดเป็นผลึกใหม่ของสตาร์ชในลาวอชที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 7 วัน จากการติดตามการเกิดเป็นผลึกใหม่โดยใช้เทคนิค DSC และ x-ray diffraction พบว่าการเติม CMC ในปริมาณ 1% ของน้ำหนักแป้งสาลีสามารถชะลอการเกิดการเกิดเป็นผลึกใหม่ของสตาร์ชได้

Shalini และ Laxmi (2007) ศึกษาผลของการเติม HPMC และ CMC ในजाปาตี พบว่าแรงในการดึงขาดสำหรับขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบสำหรับผลิตขนมปัง

แป้งสาลีสำหรับทำขนมปัง ตราหงส์ขาว มีปริมาณโปรตีน 13.50% (บริษัท ยูไนเต็ด ฟลาวมิลล์ จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ)

ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส เกรดสำหรับอาหาร (บริษัท ดาวเคมีคอลประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เกรดสำหรับอาหาร (China Aroma Chemical, Co., Ltd., Zhejiang, China)

ยีสต์ผง (instant baker's yeast) ตราเฟอร์มิแพน (Mauri La-Nga Fermentation, Co., Ltd., Dong Nai, Vietnam)

เกลือป่นเสริมไอโอดีน ตราปรงทิพย์ (บริษัท สหพัฒน์พิบูล จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ)

น้ำตาลทรายบริสุทธิ์ ตรามิตรผล (บริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด, กรุงเทพฯ)

เนยขาว ตราโอลิมปิกครีม (บริษัท เกตุวานิชอุตสาหกรรม จำกัด, กรุงเทพฯ)

แคลเซียมโพรพิโอเนต เกรดสำหรับอาหาร (บริษัท ยูเอฟเอ็มฟู้ดเซ็นเตอร์ จำกัด, กรุงเทพฯ)

3.1.2 สารเคมี

Iodine, AR grade (Carlo Erba, Rodano, Italy)

Potassium iodide, AR grade (Ajax Finechem, Taren Point, Australia)

3.2 อุปกรณ์

Color meter system, Colorflex[®] (Hunter Associates Laboratory, Reston, VA)

Convection kitchen oven, Model KO-02 (Kittiwattana, Bangkok, Thailand)

Differential scanning calorimeter (DSC), Diamond DSC[®] (Perkin Elmer, Waltham, MA)

Farinograph, Brabender[®] OHG (Brabender GmbH&Co.KG, Duisburg, Germany)

Food mixer, Model 5K5SS (KitchenAid, St. Joseph, MI)

Laboratory hot air oven, Model 600 (Mettler, Schwabach, Germany)

Stereomicroscope, Model SMZ-1000, with Plan Apo 1x WD-70 objective lens (Nikon Instruments, Melville, NY)

Refrigerator, Sharp® Model SJ-D55H-BL (Sharp Thai, Bangkok, Thailand)

Universal materials testing machine, Instron® Model 5565 (Instron, Norwood, MA)

UV/Vis spectrophotometer, Model V-530 (Jasco, Easton, MD)

3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมขนมปัง

สูตรขนมปังขาวดัดแปลงจากปริยาพร ชุนดี (2546) ใช้เป็นตัวอย่างควบคุม สำหรับตัวอย่างขนมปังที่เติมไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (HPMC) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) แปรปริมาณเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 0.5, 1.0 และ 1.5% โดยน้ำหนักแป้งสาลี โดยสำหรับงานวิจัยนี้ใช้สัญลักษณ์แทนตัวอย่างต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์แทนตัวอย่างขนมปังในงานวิจัยนี้

สัญลักษณ์	ตัวอย่างขนมปัง
Control	ตัวอย่างควบคุม (ไม่เติม HPMC หรือ CMC)
HPMC 0.5	ตัวอย่างที่เติม HPMC ในปริมาณ 0.5% ของน้ำหนักแป้งสาลี
HPMC 1.0	ตัวอย่างที่เติม HPMC ในปริมาณ 1.0% ของน้ำหนักแป้งสาลี
HPMC 1.5	ตัวอย่างที่เติม HPMC ในปริมาณ 1.5% ของน้ำหนักแป้งสาลี
CMC 0.5	ตัวอย่างที่เติม CMC ในปริมาณ 0.5% ของน้ำหนักแป้งสาลี
CMC 1.0	ตัวอย่างที่เติม CMC ในปริมาณ 1.0% ของน้ำหนักแป้งสาลี
CMC 1.5	ตัวอย่างที่เติม CMC ในปริมาณ 1.5% ของน้ำหนักแป้งสาลี
/A	ตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (ambient temperature) (25 ± 2 °C)
/R	ตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (refrigerated temperature) (4 ± 2 °C)

วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรขนมปังโดยใช้เครื่อง farinograph (Brabender GmbH&Co.KG, Duisburg, Germany) ตามวิธีของ AACC (2000) (ภาคผนวก ก.1) โดยปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรขนมปังขาวที่ทำจากแป้งสาลีได้แก่ปริมาณน้ำที่ให้ค่าความคงตัวของโด

(dough consistency) เท่ากับ 500 หน่วยบราเบนเดอร์ (Brabender unit, BU) (Soupe and Naeye, 1999; Huma 2004; Gavilighi *et al.*, 2006; Maforimbo *et al.*, 2008) สูตรขนมปังแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ปริมาณส่วนผสมสำหรับตัวอย่างขนมปัง แสดงในรูป baker percentage

ส่วนผสม	Control*	HPMC 0.5	HPMC 1.0	HPMC 1.5	CMC 0.5	CMC 1.0	CMC 1.5
แป้งสาลี	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
HPMC	-	0.5	1.0	1.5	-	-	-
CMC	-	-	-	-	0.5	1.0	1.5
น้ำ**	76.50	79.00	82.75	85.50	78.50	82.50	85.25
ยีสต์	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
เนยขาว	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
น้ำตาล	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
เกลือ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
แคลเซียม	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
โพรพิโอ							
เน็ต***							

*ดัดแปลงจากปริยาพร ชุนดี (2546)

**ปริมาณจากการวิเคราะห์โดยใช้ farinograph

***แคลเซียมโพรพิโอเน็ตใช้เป็นสารป้องกันการเจริญของรา โดยประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่องข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547 อนุญาตให้ใช้ในขนมปังในปริมาณที่เหมาะสม (ไม่กำหนดปริมาณสูงสุด) (สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา, 2547)

ในงานวิจัยนี้ตัวอย่างขนมปังผลิตโดยวิธีหมักชั้นตอนเดียว (straight dough method) เตรียมโดยขนมปังโดยใช้แป้งสาลี 500 g สำหรับการนวดผสมแต่ละครั้ง ผสมส่วนผสมแห้ง ได้แก่ แป้งสาลี ยีสต์ แคลเซียมโพรพิโอเน็ต และ HPMC หรือ CMC (ถ้ามี) เข้าด้วยกันแล้วร่อนผ่านตะแกรงสำหรับร่อนแป้ง จากนั้นบรรจุส่วนผสมแห้งที่ร่อนแล้วลงในอ่างผสมของเครื่องผสมอาหาร KitchenAid (รุ่น 5K5SS, KitchenAid, St. Joseph, MI) ละลายเกลือและน้ำตาลในน้ำแล้วเติมลงในส่วนผสมแห้งอย่างช้าๆ ในขณะที่นวดผสม ใช้หัวผสมรูปตะขอ (dough hook) ความเร็วเครื่องที่ระดับ 3 (จาก 6 ระดับ) เป็นเวลา 5 นาทีที่จะได้ของผสมที่ไม่ติดข้างอ่างผสม เติมเนยขาวแล้วนวดผสมด้วยความเร็วเครื่องที่ระดับ 5 (จาก 6 ระดับ) เป็นเวลา 2 นาทีที่จะได้โดที่เรียบเนียน นำโดออกมาคลึงให้กลม บรรจุลงในอ่างผสมสเตนเลสสตีล คลุมด้วยผ้าขาวบางที่ขึ้นแล้วพักไว้ให้ขึ้นฟูที่อุณหภูมิ 32 ± 2 °C เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำโดที่ขึ้นฟูมาใส่อากาศ ตัดแบ่งโดออกเป็นชิ้นๆ ละ 150 g คลึงให้กลม แล้วพักโดให้ขึ้นฟูอีกครั้งที่อุณหภูมิ 32 ± 2 °C เป็นเวลา 30 นาที ใช้ไม้วัด

แป้งคลึงได้ออกเป็นแผ่น ม้วนโดให้เป็นรูปทรงของก้อนขนมปังแล้วบรรจุลงในพิมพ์ขนมปัง อลูมิเนียมขนาด 3.5x5.5x2.5 นิ้วที่ทำนายขาวไว้ พักโดไว้ที่อุณหภูมิ 32±2 °C เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำโดเข้าอบที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 20 นาที พักขนมปังที่อบเสร็จแล้วให้เย็นตัวลงที่ อุณหภูมิห้อง (25±2 °C) บรรจุขนมปังลงในถุงพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ ปิดผนึกด้วยความร้อน แบ่งตัวอย่างขนมปังไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25±2 °C) และอุณหภูมิแช่เย็น (4±2 °C) สุ่มตัวอย่างขนมปังมาวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ตามหัวข้อ 3.3.2 โดยวัดปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังและสีของตัวอย่างขนมปัง ณ วันที่ 0 และวิเคราะห์ปริมาณความชื้น สมบัติด้านเนื้อสัมผัส โครงสร้างของเนื้อในของขนมปัง (crumb structure) และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างขนมปัง ณ วันที่ 0, 1, 3 และ 5 ส่วนปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ การเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทิน และปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ของตัวอย่างขนมปังวิเคราะห์ ณ วันที่ 0, 1, 2, 3, 5 และ 7

3.3.2 การวิเคราะห์สมบัติของขนมปัง

3.3.2.1 ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของตัวอย่างขนมปังตามวิธีของ AOAC (2000) (ภาคผนวก ก. 2)

3.3.2.2 ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ (freezable water content) และการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทิน (amylopectin recrystallization)

วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้และติดตามการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทินโดยใช้เครื่อง Diamond DSC® (Perkin Elmer, Waltham, MA) ตามวิธีของ Vittadini และ Vodovotz (2003) ซึ่งเนื้อในของขนมปังประมาณ 18 mg ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน บรรจุลงในถาด DSC (DSC pan) ชนิดอลูมิเนียม (Perkin Elmer, Waltham, MA) แล้วปิดผนึกสนิทไม่ให้อากาศผ่านเข้าออก (hermetic seal) ใช้ถาด DSC เปล่าที่ปิดผนึกสนิทเป็นถาดอ้างอิง (reference pan) ลดอุณหภูมิตัวอย่างจนถึง -40 °C ติดตามการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนโดยเพิ่มอุณหภูมิจาก -40 จนถึง 95 °C อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 5 °C/นาที การละลายของน้ำแข็งสามารถติดตามได้จากการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (การดูดความร้อน) ที่อุณหภูมิประมาณ 0 °C (Vodovotz *et al.*, 1996, Baik and Chinachoti, 2001) คำนวณปริมาณน้ำที่แช่แข็ง (FW) ได้จากเอนทัลปีของพีค (peak enthalpy) โดยใช้สมการ 3.1 (Vittadini and Vodovotz, 2003)

$$\%FW = \text{peak enthalpy} \times \frac{1}{\text{latent heat of fusion of ice}} \times \frac{1}{g \text{ total water/g sample}} \times 100 \quad (3.1)$$

การเกิดเป็นผลึกใหม่ของอิมิโกลเพกทินสามารถติดตามได้จากการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (การดูดความร้อน) ที่อุณหภูมิในช่วง 40-70 °C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ผลึกอิมิโกลเพกทินหลอมละลาย (Vittadini and Vodovotz, 2003) รายงานในรูปแบบเอนทาลปีต่อกรัมของตัวอย่าง

3.3.2.3 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ (water soluble starch content)

วิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ตามวิธีของ Shaikh, Ghodke และ Anathanarayan (2007) โดยมีรายละเอียดดังนี้ ซึ่งเนื้อในของขนมปัง 200 mg ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 100 ml ปิดปากน้ำกลั่นใส่ลงไป 15 ml แล้วนำไปใส่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่ 25 °C เป็นเวลา 20 นาทีจะได้ของผสมที่มีลักษณะเป็นสเลอรี นำสเลอรีที่ได้ไปเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 5000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที ปิดเปิดส่วนใสมา 10 ml เติมสารละลายไอโอดีนมาตรฐาน 2 ml (สารละลายไอโอดีนมาตรฐานเตรียมโดยละลายไอโอดีน 2 mg และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 20 mg ในน้ำกลั่น 100 ml) วัดค่า optical density (OD) ที่ความยาวคลื่น 680 nm ด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer (รุ่น V-530, Jasco, Easton, MD) กราฟเทียบมาตรฐานของความเข้มข้นของสตาร์ชกับค่า OD ที่ 680 nm (OD_{680}) แสดงในภาคผนวก ข.1

3.3.2.4 ปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง

วัดปริมาตรของก้อนขนมปังโดยวิธีแทนที่เมล็ดงาซึ่งดัดแปลงจากวิธีของ Bárcenas และ Rosell (2006) บรรจุเมล็ดงาลงในภาชนะขนาด 800 ml โดยเทเมล็ดงาลงไปช้าๆ จนกระทั่งเต็มและให้เมล็ดงาพูนขึ้นมาเล็กน้อย ใช้พาย (spatula) ปาดเมล็ดงาที่พูนออกให้มีระดับเท่ากับขอบของภาชนะ นำเมล็ดงาในภาชนะบรรจุลงในกระบอกรวดขนาด 1000 ml แล้วบันทึกปริมาตรบรรจุตัวอย่างขนมปังลงในภาชนะเดิม เทเมล็ดงาลงในภาชนะช้าๆ จนกระทั่งเต็มและให้เมล็ดงาพูนขึ้นมาเล็กน้อย ใช้พายปาดเมล็ดงาที่พูนออกให้มีระดับเท่ากับขอบของภาชนะ นำเมล็ดงาในภาชนะบรรจุลงในกระบอกรวดขนาด 1000 ml แล้วบันทึกปริมาตร ปริมาตรของก้อนขนมปังมีค่าเท่ากับส่วนต่างจากการวัดทั้งสองครั้ง คำนวณปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังโดยหารปริมาตรของก้อนขนมปังด้วยน้ำหนักของก้อนขนมปัง

3.3.2.5 สมบัติด้านเนื้อสัมผัส

วิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อในของขนมปังด้วยวิธี texture profile analysis (TPA) ตามวิธีของ Guarda และคณะ (2004) โดยใช้เครื่อง Instron® universal materials testing machine (รุ่น 5565, Instron, Norwood, MA) ซึ่งติดตั้งด้วย load cell ขนาด 5 kg ใช้ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ยาวด้านละ 2 cm กดด้วยหัววัดทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 cm ด้วย

ความเร็ว 1.0 mm/วินาที จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการยุบตัว (deformation) 70% คำนวณค่าความแข็ง (hardness) การเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง (cohesiveness) และความยืดหยุ่น (springiness) จากกราฟ TPA โดยใช้ Merlin™ materials testing software (version 8.30.00, Instron, Norwood, MA)

3.3.2.6 โครงสร้างเนื้อในของขนมปัง

ศึกษาโครงสร้างเนื้อในของขนมปังโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (stereomicroscope) รุ่น SMZ-1000, Nikon Instruments, Melville, NY) ซึ่งติดตั้งด้วยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective lens) รุ่น Plan Apo 1x WD-70 ถ่ายภาพเนื้อในของขนมปังบริเวณกึ่งกลางของแผ่นขนมปังโดยใช้กำลังขยาย 8 เท่า และวัดขนาดเซลล์อากาศในรูปความยาวเส้นรอบของเซลล์อากาศ (air cell perimeter) โดยใช้ Image Tool image processing and analysis software (version 3.0, Department of Dental Diagnostic Science, University of Texas Health Science Center, San Antonio, TX) วัดขนาดเซลล์อากาศจำนวน 5 เซลล์ต่อขนมปัง 1 แผ่น ทำซ้ำจำนวน 4 แผ่นจะได้ความยาวเส้นรอบของเซลล์อากาศจำนวน 20 เซลล์แล้วนำมาคำนวณขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศ

3.3.2.7 สี

วัดค่าสีของเปลือกนอกและเนื้อในของขนมปังโดยใช้เครื่อง Colorflex® color meter system (Hunter Associates Laboratory, Reston, VA) โดยวัดในระบบ CIE $L^* a^* b^*$ ใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 ที่มุมมอง 10° ค่า L^* แสดงความสว่าง ค่า a^* แสดงความเป็นสีแดง/เขียว โดยค่า a^* ที่เป็นบวกแสดงความเป็นสีแดงและ a^* ที่เป็นลบแสดงความเป็นสีเขียว ค่า b^* แสดงความเป็นสีเหลือง/น้ำเงินโดยค่า b^* ที่เป็นบวกแสดงความเป็นสีเหลืองและ b^* ที่เป็นลบแสดงความเป็นสีน้ำเงิน ใช้ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ยาวด้านละ 5 cm สำหรับแต่ละตัวอย่างวัดที่ตำแหน่งแตกต่างกัน 8 จุด คำนวณมุมสี (hue angle) และความเข้มสี (chroma) โดยใช้สมการ 3.2 และ 3.3 สำหรับตัวอย่างเนื้อในของขนมปังคำนวณดัชนีความขาว (whiteness index) โดยใช้สมการ 3.4

$$\text{Hue angle} = \arctan (b^*/a^*) \quad (3.2)$$

$$\text{Chroma} = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (3.3)$$

$$\text{Whiteness index} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (3.4)$$

3.3.2.8 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

3.3.2.8.1 การประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (descriptive analysis)

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของเปลือกนอก (สีน้ำตาล) สีของเนื้อใน (สีขาว) ความสม่ำเสมอของรูพรุน ขนาดของรูพรุน ความแข็ง การเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง ความยืดหยุ่น และกลิ่นรสไม่สด โดยกำหนดคำบรรยาย (description) ของลักษณะต่างๆ ที่ประเมินดังนี้ สีของเปลือกนอก (สีน้ำตาล) หมายถึงความเป็นสีน้ำตาลที่มองเห็นได้ด้วยตา สีของเนื้อใน (สีขาว) หมายถึงความเป็นสีขาวที่มองเห็นได้ด้วยตา ความสม่ำเสมอของรูพรุนหมายถึงการกระจายตัวของรูพรุนต่อพื้นที่ของตัวอย่างที่ประเมิน ขนาดของรูพรุนหมายถึงขนาดโดยเฉลี่ยของรูพรุนของตัวอย่างที่ประเมิน ความแข็งหมายถึงขนาดของแรงที่ใช้ในการเคี้ยวตัวอย่างระหว่างฟันกราม เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังหมายถึงความต้านทานของตัวอย่างต่อแรงเคี้ยวก่อนที่เนื้อขนมปังจะแยกออกจากกัน ความยืดหยุ่นหมายถึงความสามารถในการคืนตัวกลับมาเท่ากับขนาดเดิมของตัวอย่างเมื่อมีการถอนแรงกดออกไป และกลิ่นรสไม่สด หมายถึงระดับกลิ่นรสเปรี้ยว กลิ่นรสอับ หรือกลิ่นรสที่แตกต่างไปจากกลิ่นรสของขนมปังที่อบเสร็จใหม่ๆ (Civille and Szczesniak, 1973; Setser, 1996) ในการประเมินให้ผู้ประเมินจำนวน 15 คน ซึ่งเป็นนิสิตจากภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีอายุในช่วง 23-27 ปี เป็นผู้ที่ไม่สูบบุหรี่และบริโภคขนมปังขาวเป็นประจำ โดยดำเนินการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน คือ การฝึกฝนผู้ประเมินและการทดสอบตัวอย่าง

สำหรับขั้นตอนการฝึกฝน ในช่วงแรกเป็นการฝึกฝนให้ผู้ประเมินเข้าใจและคุ้นชินกับลักษณะทางประสาทสัมผัสที่จะทดสอบ โดยตัวอย่างอ้างอิงที่ใช้ในการฝึกฝนเป็นตัวอย่างขนมปังที่ผลิตขึ้นเองซึ่งมีระดับคะแนนของลักษณะทางประสาทสัมผัสครอบคลุมช่วงที่ทำการทดสอบ (0-15 คะแนน) จากนั้นจึงฝึกให้ผู้ประเมินทำแบบประเมินซึ่งเป็นแบบสเกลความยาว 15 cm (ภาคผนวก ข.2) ผู้วิจัยติดตามผลการประเมินของผู้ประเมินแต่ละคนและฝึกฝนเพิ่มเติมหากจำเป็นเพื่อให้การประเมินมีความแม่นยำมากขึ้น

สำหรับขั้นตอนการทดสอบตัวอย่าง ผู้ประเมินแต่ละคนทดสอบตัวอย่างที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง (25 ± 2 °C) ซึ่งนำเสนอนิงานพลาสติกสีขาวที่ปลดกลิ่น ทำการทดสอบภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ (25 ± 2 °C) ผู้ประเมินใช้น้ำดื่มบรรจุขวดแก้วปากก่อนทำการทดสอบแต่ละตัวอย่าง

3.3.2.8.2 การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ (preference test)

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านสีของเปลือกนอก สีของเนื้อใน เนื้อสัมผัส กลิ่นรสชาติ และความชอบโดยรวม โดยใช้สเกลฮีโดนิคแบบ 9 คะแนน โดย 1 คะแนนหมายถึงไม่ชอบมากที่สุด 5 คะแนนหมายถึงเฉยๆ และ 9 คะแนนหมายถึงชอบมากที่สุด (ภาคผนวก ข.3) ใช้ผู้ประเมินจำนวน 50 คน ผู้ประเมินแต่ละคนทดสอบตัวอย่างที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง (25 ± 2 °C) ซึ่งนำเสนอในงานพลาสติกสีขาวที่ปลอดกลิ่น ทำการทดสอบภายใต้แสงฟลูออเรสเซนต์ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ (25 ± 2 °C) ผู้ประเมินใช้น้ำดื่มบรรจุขวดกลั้วปากก่อนทำการทดสอบแต่ละตัวอย่าง

3.3.3 การวางแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely randomized design, CRD) สำหรับทุกการทดลอง ยกเว้นในส่วนการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสซึ่งวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCBD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้ analysis of variance (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new multiple range test ที่ $p=0.05$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรขนมปัง

ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรขนมอบคือปริมาณน้ำที่ให้โดที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับการหมักให้ขึ้นฟูและการอบ รวมทั้งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสและรสชาติที่ดี (Huma, 2004) โดยปริมาณน้ำที่เหมาะสมแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของขนมอบ (Soupe and Naeye, 1999) ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรขนมอบสามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่อง farinograph ซึ่งเป็นเครื่องมือที่วัดแรงต้าน (resistance) ของโดในระหว่างการนวดผสม สำหรับปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรขนมปังขาวที่ทำจากแป้งสาลีได้แก่ปริมาณน้ำที่ให้ค่าความคงตัวของโดเท่ากับ 500 BU (Soupe and Naeye, 1999; Huma, 2004; Gavilighi *et al.*, 2006; Maforimbo *et al.*, 2008) ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรขนมปังสำหรับงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าโดขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ต้องการน้ำในปริมาณที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับโดสูตรควบคุมซึ่งไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ เมื่อปริมาณของ HPMC และ CMC เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรเพิ่มสูงขึ้น โดยสูตรขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ในปริมาณเท่ากันต้องการน้ำในการเตรียมโดในปริมาณใกล้เคียงกัน HPMC และ CMC มีหมู่ไฮดรอกซิลที่มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลน้ำได้ดี (Rosell *et al.*, 2001) เป็นผลให้โดขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ต้องการปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดโดที่ดีต้องการน้ำอีกส่วนหนึ่งในปริมาณที่เพียงพอต่อการเกิดอันตรกิริยากับไกลอะดินและกลูเตนินทำให้สามารถสร้างกลูเตนในปริมาณที่จำเป็นต่อโครงสร้างที่ดีของขนมปังได้ (Rosell *et al.*, 2001) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Guarda และคณะ (2004) ที่รายงานว่าโดขนมปังขาวที่เติม HPMC ในปริมาณ 0.5% ของน้ำหนักแป้งมีปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรเท่ากับ 68.8% เพิ่มสูงขึ้นจากโดสูตรควบคุมที่ไม่เติม HPMC ซึ่งมีปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรเท่ากับ 64.6% ในทำนองเดียวกัน Gavilighi และคณะ (2006) รายงานว่าโดขนมปังลาวอชที่เติม CMC ในปริมาณ 1.0% ของน้ำหนักแป้งมีปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรเท่ากับ 63.4% เพิ่มสูงขึ้นจากโดสูตรควบคุมที่ไม่เติม CMC ซึ่งมีปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรเท่ากับ 50.4% นอกจากนี้ยังมีรายงานในทำนองเดียวกันสำหรับโดทอร์ทิญาที่ทำจากแป้งสาลี (wheat tortilla) (Friend, Waniska and Rooney, 1993) โดจาปาตี (Shalini and Laxmi, 2007) และโดขนมปังที่ประกอบด้วยแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพดและไซเตียมเคซีเนต (Lazaridou *et al.*, 2007)

ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรขนมปัง*

ตัวอย่าง	ปริมาณน้ำ (%)**
Control	76.50
HPMC 0.5	79.00
HPMC 1.0	82.75
HPMC 1.5	85.50
CMC 0.5	78.50
CMC 1.0	82.50
CMC 1.5	85.25

*สูตรขนมปังแสดงดังตารางที่ 3.2

**ปริมาณน้ำแสดงในรูป baker percentage

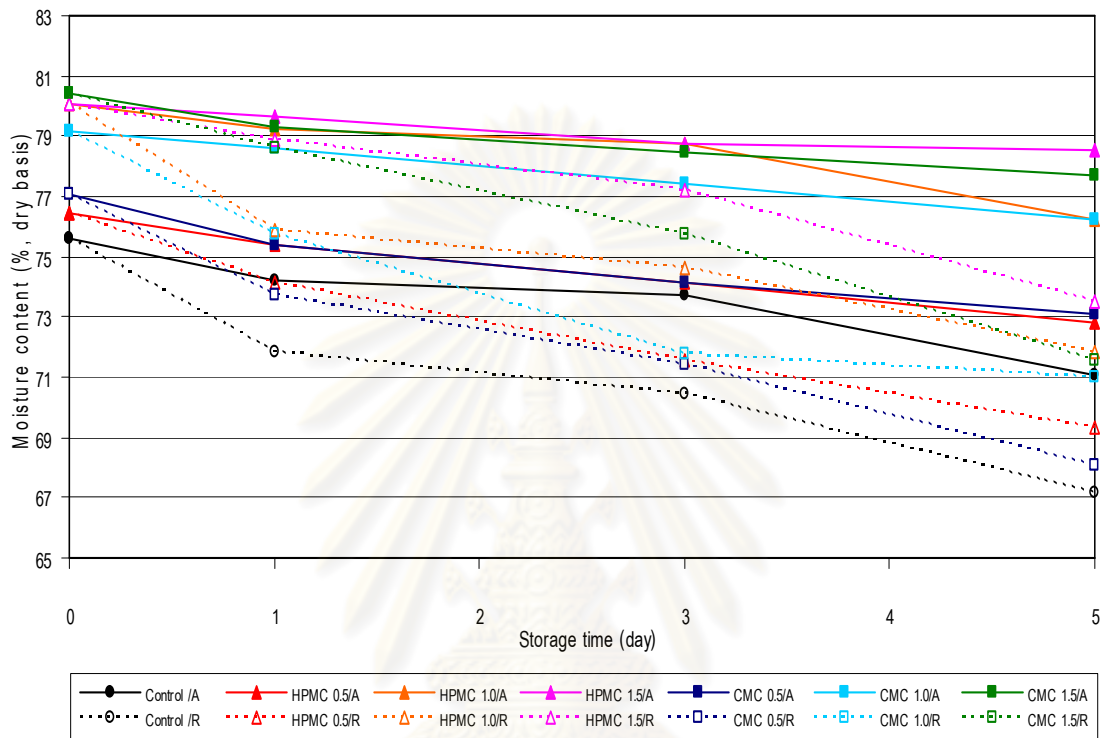
4.2 ผลของการเติม HPMC และ CMC ต่อความไม่สดและคุณภาพการเก็บรักษาของขนมปัง

4.2.1 ปริมาณความชื้น

เนื้อในของขนมปังสูตรควบคุมที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีปริมาณความชื้น 75.61% โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อเติม HPMC และ CMC ปริมาณความชื้นของขนมปังมีค่าสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรควบคุม (รูปที่ 4.1 และตารางที่ ค.1.1-ค.1.2) เมื่อปริมาณ HPMC และ CMC เพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นของขนมปังมีค่าเพิ่มขึ้น โดย HPMC 1.5 และ CMC 1.5 ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 80.04 และ 80.39% โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ผลที่ได้สอดคล้องกับรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ (Rosell *et al.*, 2001; Guarda *et al.*, 2004) การที่ขนมปังที่เติม HPMC และ CMC มีปริมาณความชื้นเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำในสูตรที่สูงกว่า นอกจากนี้จากการที่ HPMC และ CMC มีหมู่เคมีที่ชอบน้ำจึงทำให้สามารถรักษาความชื้นในระหว่างการอบได้ดี (Bell, 1990; Dziezak, 1991)

ปริมาณความชื้นของขนมปังทุกตัวอย่างมีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น (รูปที่ 4.1) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Baik และ Chinachoti (2000) ในระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 วัน ขนมปังทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันมีแนวโน้มการลดลงของปริมาณความชื้นที่ใกล้เคียงกัน ตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีการลดลงของปริมาณความชื้นสูงกว่าตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเล็กน้อย การลดลงของปริมาณความชื้นในเนื้อในขนมปังเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนย้ายของความชื้น (moisture migration) จากเนื้อในไปยังบริเวณเปลือกนอกของขนมปังและจากเปลือก

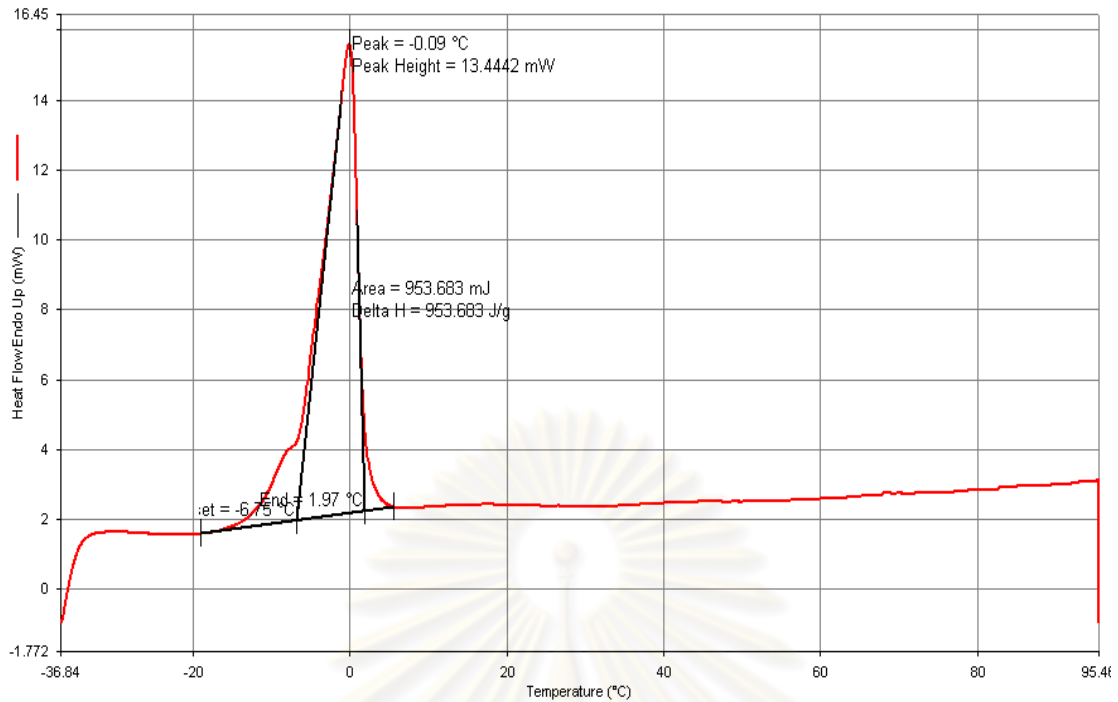
นอกของขนมปังไปสู่บรรยากาศรอบๆ (Ribotta and Le Bail, 2007) อย่างไรก็ตาม Lai และ Lin (2006) เสนอว่าการสูญเสียความชื้นของขนมปังอาจไม่ได้เป็นสาเหตุของการเกิดความไม่สดโดยตรง แต่การสูญเสียความชื้นอาจมีผลในแง่การเร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่นำไปสู่การเกิดความไม่สดได้



รูปที่ 4.1 ปริมาณความชื้นของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

4.2.2 ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้

น้ำที่แช่แข็งได้สามารถติดตามได้โดยเทคนิค DSC (Vittadini and Vodovotz, 2003) โดยสาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (การดูดความร้อน) ที่อุณหภูมิประมาณ 0°C เกิดจากการละลายของน้ำแข็ง (Vodovotz *et al.*, 1996; Baik and Chinachoti, 2001) เส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการละลายของน้ำแข็งที่ติดตามโดย DSC แสดงดังรูปที่ 4.2 สำหรับงานวิจัยนี้พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature) ของการละลายของน้ำแข็งในตัวอย่างขนมปังมีค่าอยู่ในช่วง -8.34 ถึง -6.45°C ซึ่งใกล้เคียงกับรายงานของ Vittadini และ Vodovotz (2003) (-15.2 ถึง -13.5°C) และ Roongthongsri (2008) (-14.35 ถึง -12.45°C)

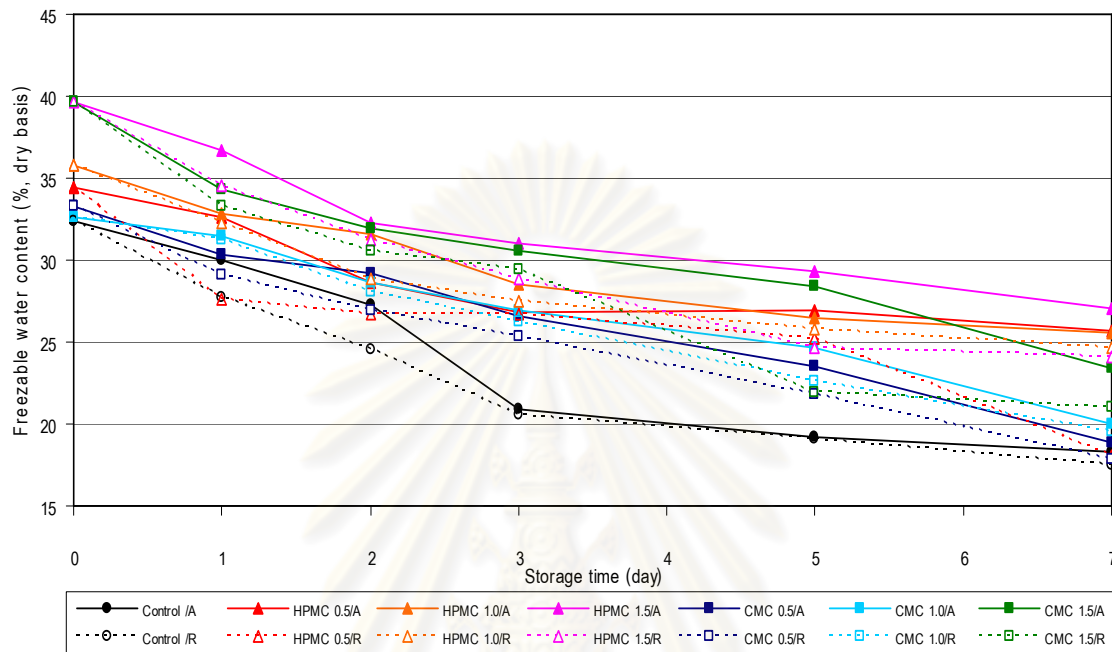


รูปที่ 4.2 รูปแบบเส้นกราฟ DSC ในช่วงอุณหภูมิที่น้ำแข็งละลายซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 0 °C

ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้สามารถคำนวณได้จากเอนทาลปีของพีคการดูดความร้อน รูปที่ 4.3 และตารางที่ ค.2.1-ค.2.2 แสดงปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ในตัวอย่างขนมปัง พบว่าขนมปังสูตรควบคุมที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้เท่ากับ 32.35% โดยน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ตัวอย่างที่เติม HPMC และ CMC มีปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้สูงกว่าขนมปังสูตรควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอย่างขนมปังที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในปริมาณสูง ได้แก่ HPMC 1.5 และ CMC 1.5 ซึ่งมีปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้เท่ากับ 39.67 และ 39.64% โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ Vittadini และ Vodovotz (2003) และ Roongthongsri (2008) รายงานว่าปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้มีค่าแปรผันตามปริมาณความชื้นในตัวอย่าง

ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้มีค่าลดลงตามระยะเวลาการเก็บรักษาในทุกตัวอย่าง (รูปที่ 4.3) มีรายงานเกี่ยวกับการลดลงของปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ระหว่างการเก็บรักษาขนมปังแบ่งสาลีโดยนักวิจัยหลายกลุ่ม (Baik and Chinachoti, 2000, 2001; Rasmussen and Hansen, 2001; Vittadini and Vodovotz, 2003; Roongthongsri, 2008) Lodi และ Vodovotz (2008) รายงานว่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนย้ายของความชื้นภายในก้อนขนมปังระหว่างการเก็บรักษา โดยพบว่าขนมปังที่เกิดการเคลื่อนย้ายของความชื้นต่ำจะมีการลดลงของปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ต่ำด้วย Baik และ Chinachoti (2000) สนับสนุนคำกล่าวนี้โดย

ศึกษาในขนมปังที่กำจัดเปลือกนอกออกเพื่อลดความแตกต่างของความชื้น (moisture gradient) ระหว่างเนื้อในและเปลือกนอกของขนมปัง ซึ่งจะจำกัดการเคลื่อนย้ายของความชื้นภายในก้อนขนมปัง ผู้วิจัยรายงานว่าปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้มีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา



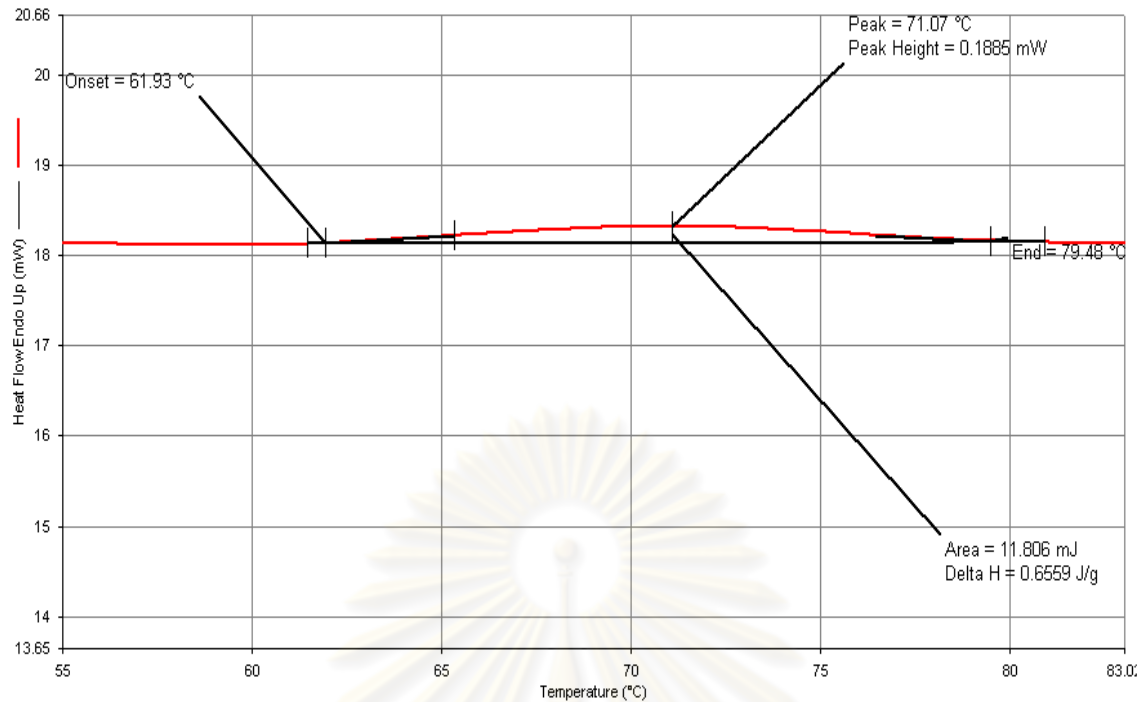
รูปที่ 4.3 ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

จากงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ในขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ลดลงน้อยกว่าขนมปังสูตรควบคุม (รูปที่ 4.3) มีรายงานว่าส่วนผสมที่มีสมบัติชอบน้ำที่เติมในสูตรขนมปังมีบทบาทสำคัญในการรักษาความชื้นและช่วยกระจายความชื้นให้สม่ำเสมอทั่วทั้งก้อนขนมปัง ส่งผลให้การเคลื่อนย้ายของความชื้นภายในก้อนขนมปังลดต่ำลง (Davidou *et al.*, 1996; Vittadini and Vodovotz, 2003) Hallberg และ Chinachoti (2002) เสนอว่าการเคลื่อนย้ายของความชื้นอาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดความไม่สดในขนมปัง

จากการที่การสูญเสียความชื้นและการเคลื่อนย้ายของความชื้นอาจมีผลต่อการเกิดความไม่สดในขนมปัง การเติม HPMC และ CMC ซึ่งมีบทบาทในการรักษาความชื้นและช่วยกระจายความชื้นให้สม่ำเสมอจึงอาจชะลอการเกิดความไม่สดในขนมปังได้ งานวิจัยในขั้นต่อไปจึงติดตามการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของขนมปังและเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของขนมปังในระหว่างเก็บรักษา (Zobel and Kulp, 1996)

4.2.3 การเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลเพกทิน

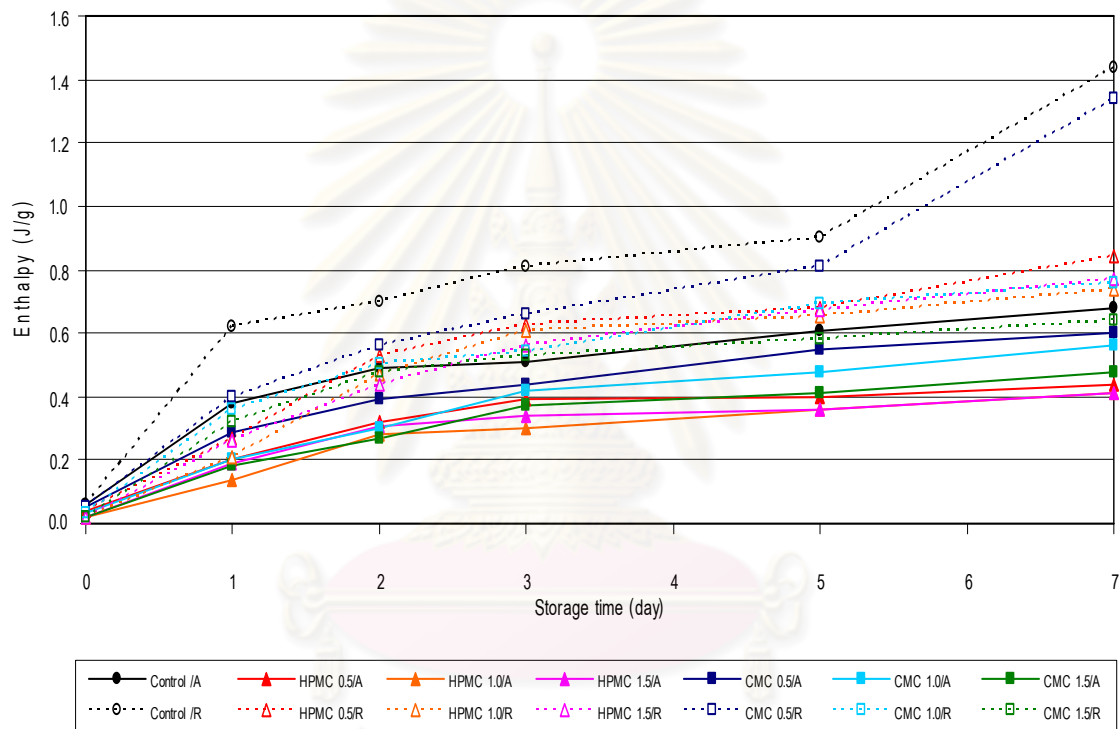
องค์ประกอบหลักของแป้งสาลีคือสตาร์ชซึ่งมีปริมาณประมาณ 60% โดยน้ำหนัก (Belitz and Grosch, 1986) การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชจึงมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากแป้งสาลี เมื่อเพสต์หรือเจลของสตาร์ชเย็นตัวลง โมเลกุลของสตาร์ชเกิดการจัดเรียงตัวใหม่และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโซ่ สตาร์ชจะเกิดการสูญเสียน้ำ (dehydration) และความสามารถในการละลาย (insolubilization) เรียกปรากฏการณ์ที่สตาร์ชมีความสามารถในการละลายลดลงนี้ว่ารีโทรเกรดชัน อไมโลสเกิดรีโทรเกรดชันในอัตราที่เร็วกว่าอไมโลเพกทิน เนื่องจากโครงสร้างเชิงเส้นทำให้โมเลกุลอไมโลสสามารถมาจัดเรียงตัวกันและเกิดพันธะระหว่างสายโซ่ได้ง่ายกว่า ในระหว่างการพักขนมปังที่อบเสร็จให้เย็นตัวลงอไมโลสจะเกิดรีโทรเกรดชันอย่างรวดเร็วและกระบวนการนี้จะเสร็จสิ้นสมบูรณ์ในเวลาอันสั้นภายหลังจากที่นำขนมปังออกจากเตาอบ ดังนั้นการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลสจึงไม่มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดความไม่สดในขนมปังในระหว่างการเก็บรักษา (Eliasson and Gudmundsson, 2006; Lai and Lin, 2006) ในขณะที่โครงสร้างเชิงกิ่งของอไมโลเพกทินมีผลขัดขวางเชิงโครงสร้าง (steric hindrance) ทำให้โมเลกุลอไมโลเพกทินมาจัดเรียงตัวเป็นระเบียบและเกิดพันธะระหว่างกันได้ยากกว่าอไมโลส อไมโลเพกทินจึงเกิดรีโทรเกรดชันอย่างช้าๆ ดังนั้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชในระหว่างการเก็บรักษาขนมปังจึงมุ่งเน้นในเรื่องการเกิดรีโทรเกรดชันหรือการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลเพกทิน (Ribotta and Le Bail, 2007) DSC เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งสามารถใช้เพื่อติดตามการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลเพกทินได้ โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน (การดูดความร้อน) ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 40-70 °C (Vittadini and Vodovotz, 2003) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ผลึกของอไมโลเพกทินหลอมละลาย สำหรับงานวิจัยนี้พบว่า การหลอมละลายของผลึกอไมโลเพกทินในตัวอย่างขนมปังเริ่มที่อุณหภูมิประมาณ 60 °C มีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 70 °C และสิ้นสุดที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C เส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการหลอมละลายของผลึกอไมโลเพกทินที่ติดตามโดย DSC แสดงดังรูปที่ 4.4 Roongthongsri (2008) รายงานอุณหภูมิการหลอมละลายของผลึกอไมโลเพกทินในขนมปังแป้งสาลีในช่วง 65-80 °C ในขณะที่ Campas-Baypoli และคณะ (2002) และ Bueso Ucles (2003) รายงานอุณหภูมิการหลอมละลายของผลึกอไมโลเพกทินในทอริทิลลาที่ทำจากแป้งข้าวโพด (corn tortilla) ในช่วง 45-64 °C และ 50-57 °C ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 รูปแบบเส้นกราฟ DSC ในช่วงอุณหภูมิที่ผลึกอไมโลเพกทินหลอมละลายซึ่งอยู่ในช่วงประมาณ 60-80 °C

รูปที่ 4.5 และตารางที่ ค.3.1-ค.3.2 แสดงเอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอไมโลเพกทินในตัวอย่างขนมปัง พบว่าขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ ทุกตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิการหลอมละลายของผลึกอไมโลเพกทินต่ำมาก (0.02-0.06 J/g) แสดงให้เห็นว่าในขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลเพกทินในระดับต่ำ เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นพบว่าเอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอไมโลเพกทินมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในทุกตัวอย่าง โดยขนมปังสูตรควบคุมมีอัตราการเพิ่มขึ้นของเอนทาลปีสูงกว่าตัวอย่างที่เติม HPMC และ CMC ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิเดียวกัน เอนทาลปีที่ใช้เพื่อหลอมละลายผลึกอไมโลเพกทินมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2-3 วันแรกของการเก็บรักษา และอัตราการเพิ่มขึ้นของเอนทาลปีมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณ HPMC และ CMC สูงขึ้น ขนมปังสูตรควบคุมมีเอนทาลปีของการหลอมละลายผลึกอไมโลเพกทินสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิเดียวกันตลอดการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน มีรายงานว่าส่วนผสมที่เติมในสูตรขนมปังซึ่งสามารถจับน้ำได้ดีสามารถช่วยชะลอการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลเพกทินและการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช (Longton and LeGrys, 1981; Roulet *et al.*, 1988; Vittadini and Vodovotz, 2003; Roongthongsri, 2008; Zhou *et al.*, 2008) Ribotta and Le Bail (2007)

อธิบายว่าในระหว่างการเกิดความร้อนของขนมปัง นอกจากจะเกิดการเคลื่อนย้ายของความชื้นจากเนื้อในไปยังเปลือกนอกของขนมปังแล้ว น้ำยังถูกควมรวมไว้ในโครงสร้างผลึกของสตาร์ชที่เกิดขึ้นใหม่ โดยในการเกิดผลึกต้องมีน้ำในปริมาณมากเพียงพอต่อการเกิดไฮเดรชันของผลึกสตาร์ช ผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรดชันของสตาร์ชเป็นผลึกชนิดบี (B-type crystal) ซึ่งต้องการน้ำในการไฮเดรชันสูงมากถึง 36 โมเลกุลต่อหน่วยเซลล์ผลึก (เปรียบเทียบกับผลึกชนิดเอ (A-type crystal) ที่ต้องการน้ำในการไฮเดรชันเพียง 8 โมเลกุลต่อหน่วยเซลล์ผลึก) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ที่มีค่าต่ำที่สุดในขนมปังสูตรควบคุมซึ่งมีการเกิดเป็นผลึกของอไมโลเพกทินสูงกว่าในตัวอย่างขนมปังที่เติมไฮโดรคอลลอยด์



รูปที่ 4.5 เอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอไมโลเพกทินในขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีเอนทาลปีในการหลอมละลายผลึกอไมโลเพกทินสูงกว่าตัวอย่างเดียวกันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (รูปที่ 4.5) โดยขนมปังสูตรควบคุมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นเป็นระยะเวลา 7 วันมีการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอไมโลเพกทินสูงสุด (1.44 J/g เปรียบเทียบกับเอนทาลปี 0.68 J/g สำหรับขนมปังสูตรควบคุมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาเท่ากัน) สำหรับผลของอุณหภูมิแช่เย็นต่อการเกิดผลึกของอไมโลเพกทินในระบบของสตาร์ชที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 70% Slade และ Levine (1987) และ

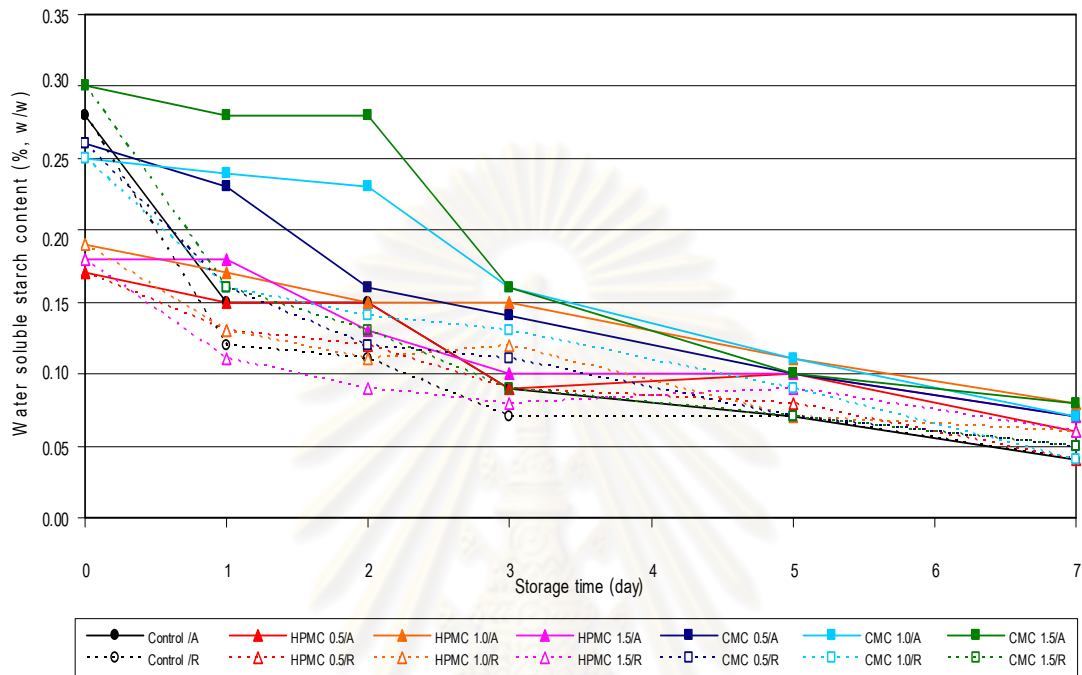
Marsh และ Blanshard (1988) อธิบายว่าการเกิดผลึกของอไมโลเพกทินนั้นเป็น nucleation-limiting process ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงของอุณหภูมิสูงกว่า glass transition temperature ของ maximally freeze-concentrated starch (T_g') (อุณหภูมิประมาณ -5°C) เมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชต่ำกว่า 70% และอุณหภูมิต่ำกว่า melting temperature (T_m) (อุณหภูมิประมาณ 60°C) โดยการเกิด nucleation มีอัตราสูงสุดที่อุณหภูมิสูงกว่า T_g' เล็กน้อย ในขณะที่การเกิด propagation มีอัตราสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำกว่า T_m เล็กน้อย ซึ่งอัตราของ nucleation และ propagation มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล นั่นคืออัตราของ nucleation เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงจนถึง T_g' ในขณะที่อัตราของ propagation เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึง T_m ดังนั้นการเกิดเป็นผลึกจึงเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำและมีอัตราการเกิดเป็นผลึกลดลงที่อุณหภูมิสูงขึ้น (เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง nucleation เกิดขึ้นในอัตราต่ำ) การเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ชจึงเกิดขึ้นที่อุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) ของการเกิด nucleation และ propagation ซึ่ง Slade และ Levine (1987) สรุปว่าอุณหภูมิแช่เย็น (4°C) เป็นจุดที่มีสมดุลของการเกิด nucleation และ propagation สตาร์ชที่เก็บรักษาที่อุณหภูมินี้จึงเกิดรีโทรเกรดชันในอัตราสูงสุด

4.2.4 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้

ในโครงสร้างแบบผลึกมีอันตรกิริยาเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลทำให้มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบและส่งผลให้โครงสร้างแบบผลึกมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้จึงสามารถใช้เป็นดัชนีแสดงการเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ช ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในตัวอย่างขนมปังระหว่างการเก็บรักษาแสดงดังรูปที่ 4.6 และตารางที่ ค.4.1-ค.4.2

ขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้อยู่ในช่วง 0.17-0.30% โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.6) ขนมปังสูตรควบคุมมีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ลดลงอย่างรวดเร็วภายในวันแรกของการเก็บรักษา โดยขนมปังสูตรควบคุมที่มีอายุการเก็บรักษา 1 วันมีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ประมาณครึ่งหนึ่งของขนมปังสูตรควบคุมที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ ในขณะที่ขนมปังที่เติม HPMC และ CMC มีอัตราการลดลงของปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าขนมปังสูตรควบคุม โดยลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงประมาณ 2 วันแรกของการเก็บรักษา หลังจากนั้นปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้จึงลดลงในอัตราที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิการเก็บรักษาที่ต่างกัน พบว่าขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ต่ำกว่าขนมปังตัวอย่างเดียวกันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ตั้งแต่วันที่ 5 ของการเก็บรักษาเป็นต้นไปปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) Shaikh และคณะ (2007)

รายงานว่ามีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในจาปาตีมีค่าลดลงจาก 5.23% เป็น 0.30% เมื่อเก็บรักษาไว้เป็นเวลา 1 เดือนที่อุณหภูมิห้อง Vittadini และ Vodovotz (2003) และ Roongthongsri (2008) รายงานว่ามีปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ในขนมปังขาวมีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาของขนมปังนานขึ้นและสัมพันธ์กับการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทิน

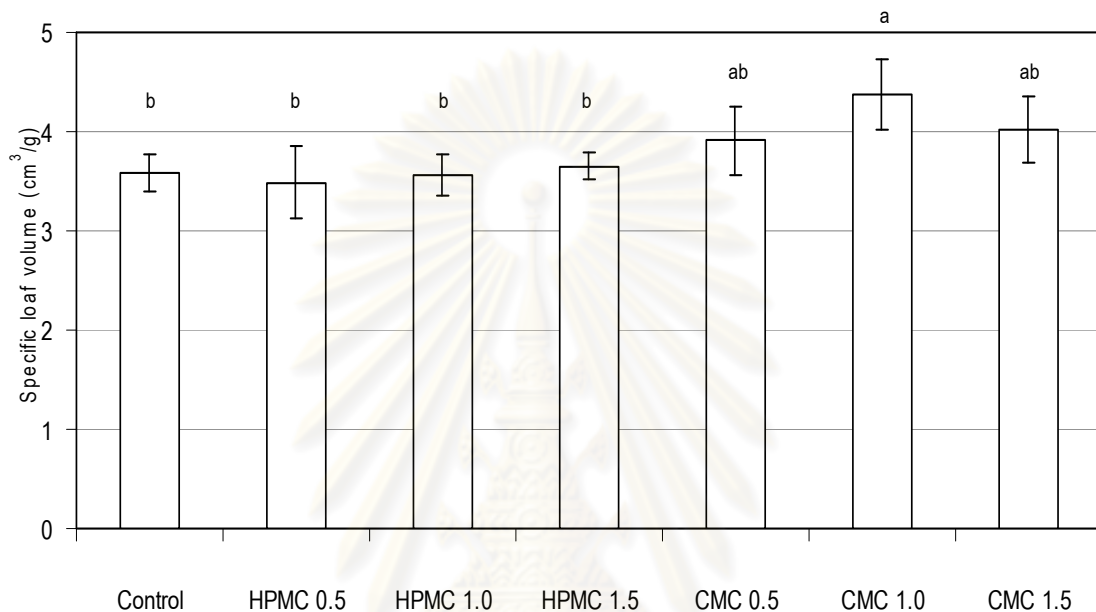


รูปที่ 4.6 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

4.2.5 ปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง

ในการเติมส่วนผสมที่ช่วยรักษาคุณภาพของขนมปัง นอกจากจะพิจารณาบทบาทของส่วนผสมนั้นๆ ในแง่การชะลอการเกิดความไม่สดแล้วยังต้องคำนึงถึงผลที่มีต่อคุณภาพขนมปังในด้านอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งลักษณะคุณภาพที่ผู้บริโภคใช้พิจารณาในการเลือกซื้อด้วย รูปที่ 4.7 และตารางที่ ค.5.1 แสดงผลของการเติม HPMC และ CMC ต่อปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ ขนมปังสูตรควบคุมมีปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังเท่ากับ $3.59 \text{ cm}^3/\text{g}$ ในขณะที่ขนมปังที่เติม HPMC และ CMC มีปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังอยู่ในช่วง $3.49\text{-}4.37 \text{ cm}^3/\text{g}$ ซึ่งไม่แตกต่างจากขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้น CMC 1.0 Rosell และคณะ (2001) รายงานว่า HPMC และ CMC ช่วยเพิ่มความหนืดของโด ทำให้สามารถเก็บกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตโดยยีสต์ระหว่างกระบวนการหมักทำให้โดมีปริมาตรเพิ่มขึ้น จึงมีการนำ

CMC มาใช้เพื่อช่วยเพิ่มปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังแป้งข้าวเจ้าซึ่งไม่มีกลูเตนช่วยในการเก็บกักก๊าซและให้โครงสร้างที่จำเป็นของขนมปัง (Lazaridou *et al.*, 2007) อย่างไรก็ตามการที่ไม่พบความแตกต่างระหว่างปริมาตรจำเพาะของขนมปังตัวอย่างต่างๆ ในงานวิจัยนี้ อาจเนื่องมาจากขนมปังทุกสูตรเตรียมโดยใช้แป้งสาลีในปริมาณเท่ากัน ทำให้มีกลูเตนเพียงพอต่อการเก็บกักก๊าซและให้โครงสร้างของขนมปัง



รูปที่ 4.7 ปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ

4.2.6 สมบัติด้านเนื้อสัมผัส

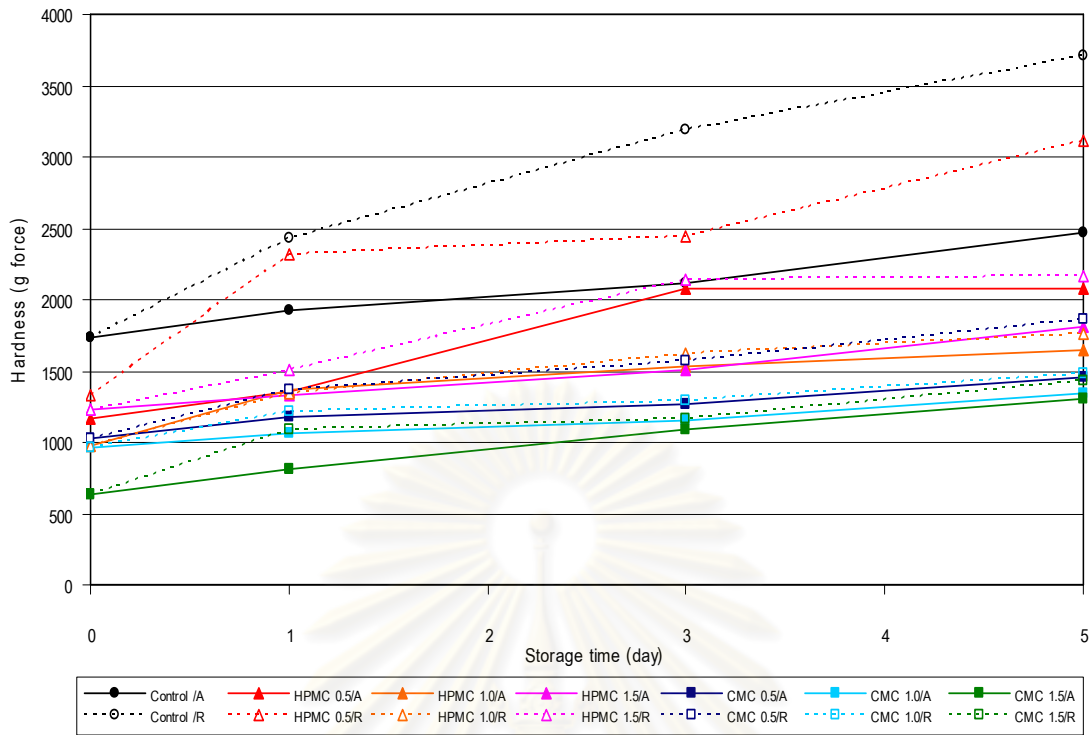
เนื้อสัมผัสเป็นลักษณะคุณภาพที่สำคัญประการหนึ่งของขนมปัง ผู้บริโภคโดยทั่วไปตระหนักถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสกับความไม่สดของขนมปังเป็นอย่างดี โดยจะเห็นได้ว่าผู้บริโภคจำนวนมากมีวิธีประเมินความไม่สดของขนมปังแบบง่าย ๆ โดยการทดลองบีบ

ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อในของขนมปังด้วยวิธี TPA ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์ที่เลียนแบบการเคี้ยวของมนุษย์ TPA เป็นเทคนิคที่ให้ข้อมูลพารามิเตอร์ด้านเนื้อสัมผัสที่มีความสัมพันธ์สูงกับพารามิเตอร์ที่ได้จากการประเมินทางประสาทสัมผัส (Stable Micro Systems, 1996) โดยมีพารามิเตอร์ 7 ตัวที่สามารถคำนวณได้จากกราฟ TPA ได้แก่ ความแข็ง (hardness) การเกาะตัวกันของเนื้ออาหาร (cohesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness) การเกาะติดพื้นผิว (adhesiveness) ความเปราะ (brittleness) ความยากในการเคี้ยวตัวอย่างที่เป็น

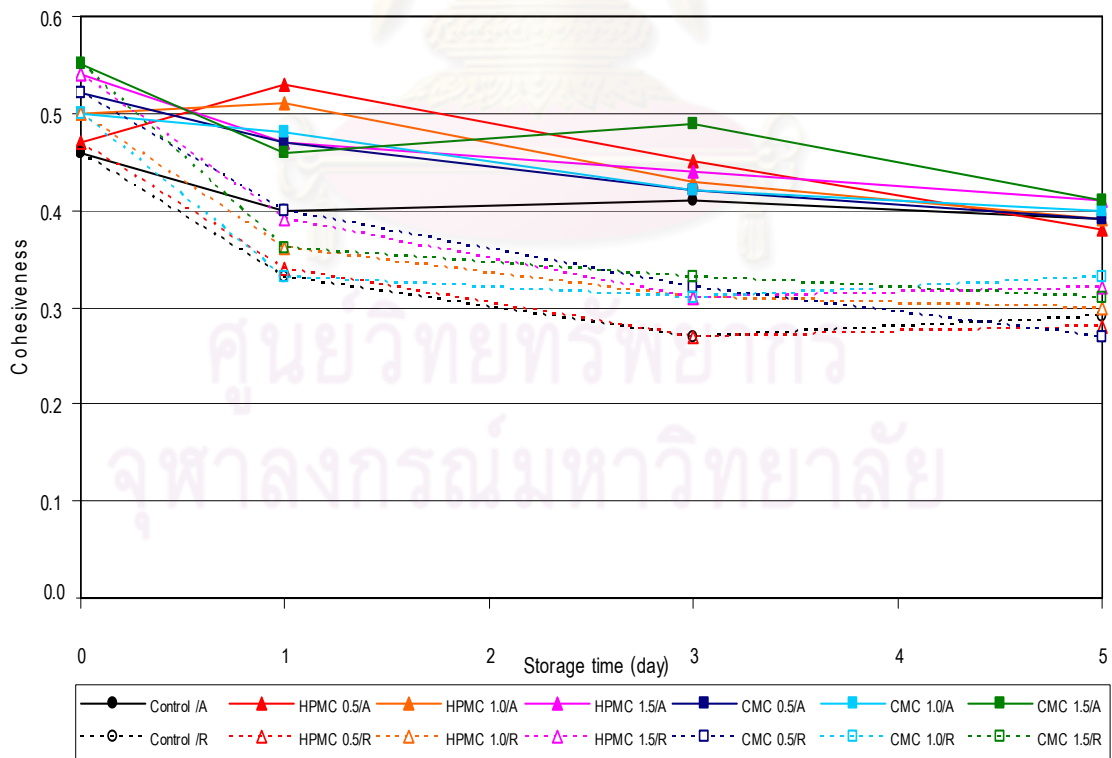
ของแข็ง (chewiness) และความยากในการเคี้ยวตัวอย่างที่เป็นของกึ่งแข็ง (gumminess) (Rosenthal, 1999) กราฟ TPA โดยทั่วไปมีลักษณะดังภาคผนวก ข.4 งานวิจัยนี้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของความแข็ง การเกาะตัวกันของเนื้ออาหาร และความยืดหยุ่นเนื่องจากเป็นลักษณะด้านเนื้อสัมผัสที่สำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมปัง

รูปที่ 4.8 และตารางที่ ค.6.1-ค.6.2 แสดงความแข็งของเนื้อในของขนมปัง พบว่าตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีความแข็งต่ำกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับรายงานของ Kaur และ Singh (1999) และ Bárcenas และ Rosell (2005) เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นขนมปังทุกตัวอย่างมีความแข็งเพิ่มสูงขึ้น โดยขนมปังสูตรควบคุมมีความแข็งสูงกว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา ซึ่ง Armero และ Collar (1998) รายงานผลในทำนองเดียวกัน ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่เท่ากัน ตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีความแข็งสูงกว่าตัวอย่างเดียวกันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยขนมปังสูตรควบคุมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีความแข็งสูงที่สุด ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา Bárcenas และ Rosell (2007) ศึกษาผลของอุณหภูมิการเก็บรักษาต่อความไม่สดของขนมปังแป้งสาลีที่อบบางส่วน (partially baked bread) และอบจนสุก (fully baked bread) และรายงานว่าที่อุณหภูมิการเก็บรักษาเท่ากับ 2 °C การเติม HPMC ในปริมาณ 0.5% ของน้ำหนักแป้งสาลีสามารถช่วยชะลอการแข็งขึ้นของเนื้อในของขนมปังเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรควบคุมซึ่งไม่เติม HPMC ในขณะที่ Lazaridou และคณะ (2007) รายงานผลในทำนองเดียวกันสำหรับขนมปังที่ประกอบด้วยแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด โซเดียมเคซีเนตและเติม CMC

การเปลี่ยนแปลงของการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังแสดงดังรูปที่ 4.9 และตารางที่ ค.6.3-ค.6.4 ขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังไม่แตกต่างจากขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้น CMC 1.5 โดยทั่วไปการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Tian และคณะ (2009) ณ วันที่ 5 ของการเก็บรักษาตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิเดียวกันมีการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังใกล้เคียงกัน (0.38-0.41 สำหรับตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 0.27-0.33 สำหรับตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น)

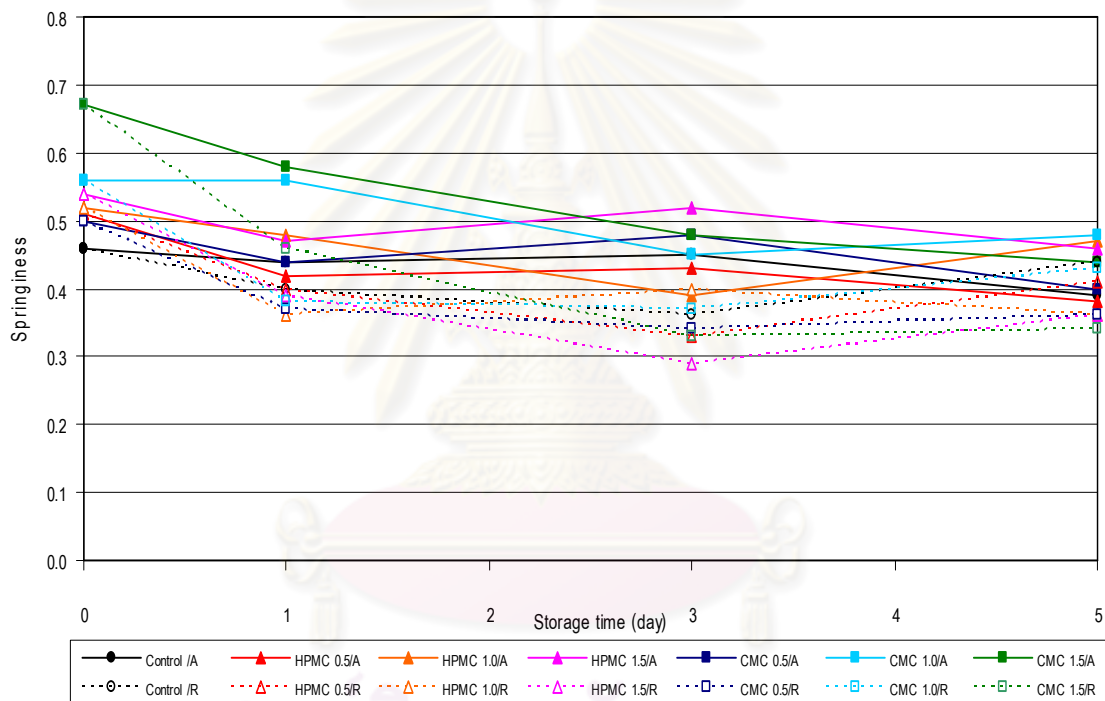


รูปที่ 4.8 ความแข็งของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น



รูปที่ 4.9 การเกาะตัวกันของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

รูปที่ 4.10 และตารางที่ ค.6.5-ค.6.6 แสดงความยืดหยุ่นของเนื้อในของขนมปัง พบว่า ตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีความยืดหยุ่นสูงกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ในปริมาณเท่ากันมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้นที่ระดับการเติม 1.5% ซึ่ง HPMC 1.5 มีความยืดหยุ่นเท่ากับ 0.54 ในขณะที่ CMC 1.5 มีความยืดหยุ่นเท่ากับ 0.67 โดยทั่วไปความยืดหยุ่นของตัวอย่างขนมปังมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น ณ วันที่ 5 ของการเก็บรักษา ตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิเดียวกันมีความยืดหยุ่นใกล้เคียงกัน (0.38-0.48 สำหรับตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และ 0.34-0.44 สำหรับตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น)



รูปที่ 4.10 ความยืดหยุ่นของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

4.2.7 โครงสร้างเนื้อในของขนมปัง

โครงสร้างเนื้อในของขนมปังที่ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอแสดงดังรูปที่ 4.11 และขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศ (แสดงในรูปความยาวเส้นรอบโดยเฉลี่ยของเซลล์อากาศ) แสดงดังรูปที่ 4.12 และตารางที่ ค.7.1-ค.7.2 พบว่าขนมปังสูตรควบคุมที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศใหญ่กว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยขนมปังสูตรควบคุมที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีความยาวเส้นรอบโดยเฉลี่ยของเซลล์อากาศเท่ากับ 8.36 mm

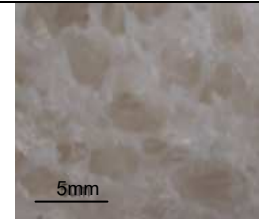
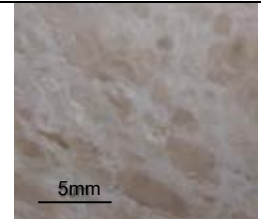
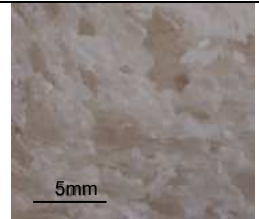
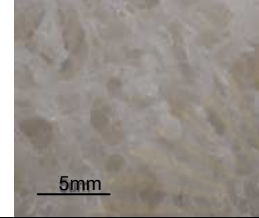
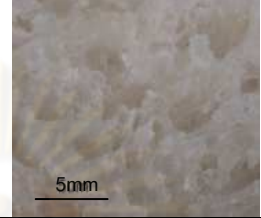
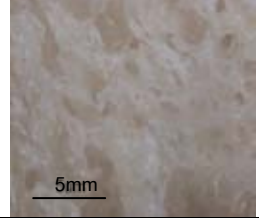
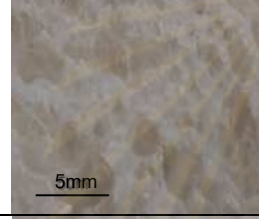




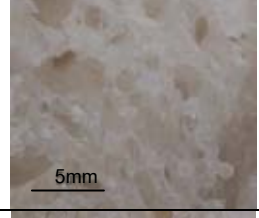
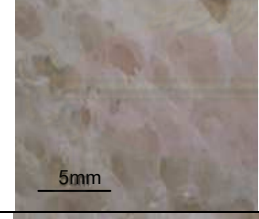
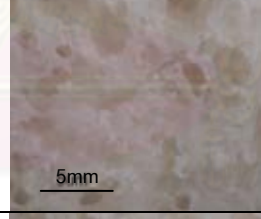


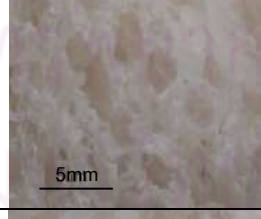

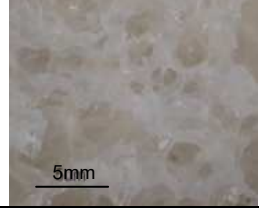


ในขณะที่ความยาวเส้นรอบโดยเฉลี่ยของเซลล์อากาศของขนมปังที่เติม HPMC และ CMC มีค่าอยู่ในช่วง 6.48-7.47 mm Selomulyo และ Zhou (2007) อธิบายว่า HPMC ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซีโพรพิลซึ่งสามารถเกิดอันตรกิริยากับน้ำและหมู่เมทิลซึ่งสามารถเกิดอันตรกิริยากับวัฏภาคที่ไม่มีขั้ว (non-polar phase) ภายในโด จึงช่วยรักษาเสถียรภาพของอิมัลชันในโดและทำให้โดมีลักษณะที่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ทั้ง HPMC และ CMC ช่วยเพิ่มความหนืดของโดทำให้สามารถเก็บกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักจึงทำให้ขนมปังที่ได้มีเซลล์อากาศที่มีขนาดเล็กและมีความสม่ำเสมอ

เซลล์อากาศมีขนาดเล็กลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น (รูปที่ 4.12) โดยการลดลงของขนาดเฉลี่ยเซลล์อากาศมีอัตราใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่าง โดยทั่วไปตัวอย่างขนมปังที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิแช่เย็นมีขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศเล็กกว่าตัวอย่างเดียวกันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้จากการติดตามการเปลี่ยนแปลงของลักษณะเนื้อในของขนมปังระหว่างการเก็บรักษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (รูปที่ 4.11) พบว่าเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 5 วันมีความชุ่มชื้นมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างเดียวกันที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ

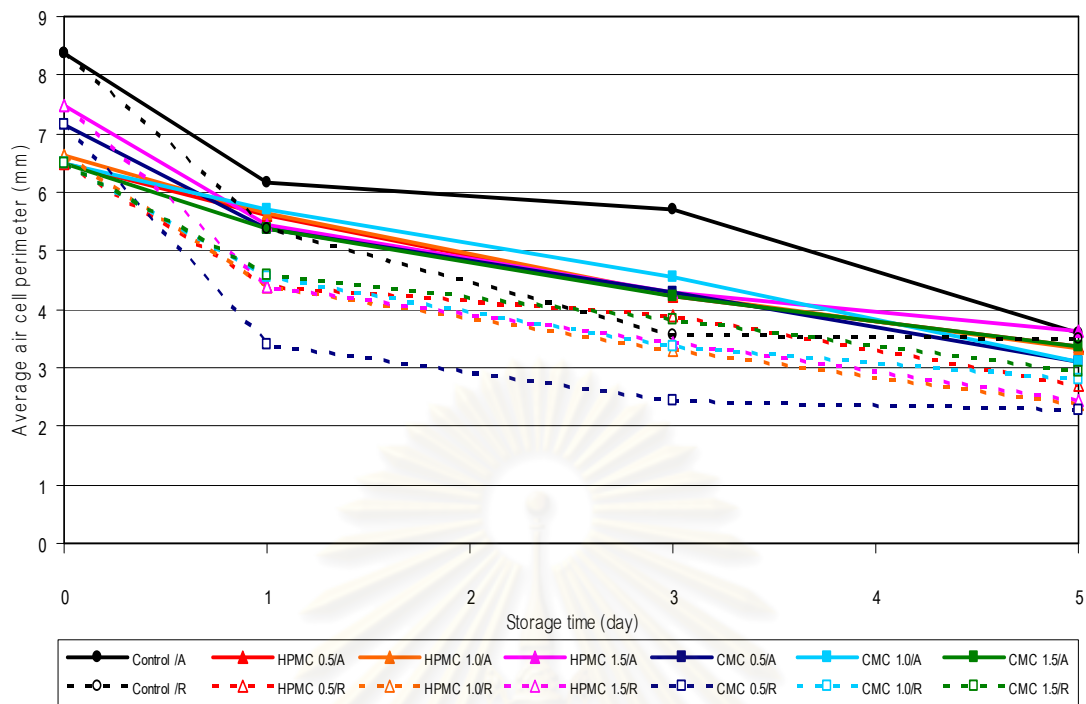
4.2.8 สีของเปลือกนอกและเนื้อในของขนมปัง

สีของขนมปังเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภค สำหรับขนมปังขาวผู้บริโภคโดยทั่วไปต้องการขนมปังที่มีสีของเปลือกนอกและเนื้อในที่อ่อน ในงานวิจัยนี้วัดค่าสีของเปลือกนอกและเนื้อในของขนมปังในระบบ CIELAB โดยรายงานสมบัติด้านสีของเนื้อในของขนมปังในรูปมุมสี (hue angle) ความเข้มสี (chroma) ดัชนีความขาว (whiteness index) และความสว่าง (lightness, L^*) และรายงานสมบัติด้านสีของเปลือกนอกของขนมปังในรูปมุมสี ความเข้มสี และความสว่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง	ขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่	วันที่ 5 ของการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิห้อง	วันที่ 5 ของการเก็บรักษาที่ อุณหภูมิแช่เย็น
Control			
HPMC 0.5			
HPMC 1.0			
HPMC 1.5			
CMC 0.5			
CMC 1.0			
CMC 1.5			

รูปที่ 4.11 โครงสร้างของเนื้อในของขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่และที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น



รูปที่ 4.12 ความยาวเส้นรอบโดยเฉลี่ยของเซลล์อากาศในเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

สมบัติด้านสีของเปลือกนอกของตัวอย่างขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ แสดงดังตารางที่ 4.2 มุมสีของเปลือกนอกของขนมปังทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยมีค่าประมาณ 62° ซึ่งได้แก่สีเหลืองส้ม ก่อนหน้านี้ Roongthongsri (2008) รายงานมุมสีในช่วง 60° สำหรับเปลือกนอกของขนมปังขาว การเกิดสีของเปลือกนอกของขนมปังเกิดจากปฏิกิริยาคาราเมลไลเซชันของน้ำตาลและปฏิกิริยาไมยาร์ดของน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งกับกรดอะมิโนอิสระหรือหมู่อะมิโนของโปรตีน (นิธิยา รัตนานนท์, 2549) เปลือกนอกของขนมปังทุกตัวอย่างมีความเข้มสีไม่แตกต่างจากขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้น HPMC 1.0 ซึ่งมีความเข้มสีต่ำกว่าตัวอย่างอื่นเล็กน้อย ความสว่างของเปลือกนอกของขนมปังทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.2 สมบัติด้านสีของเปลือกนอกของขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ

ตัวอย่าง	มุมสี ^{ns}	ความเข้มสี	ความสว่าง ^{ns}
Control	62.74±0.67	33.06±0.73 ^a	52.84±1.36
HPMC 0.5	63.13±2.03	31.07±2.33 ^{ab}	52.89±4.51
HPMC 1.0	63.16±0.42	30.26±1.03 ^b	53.42±1.03
HPMC 1.5	63.25±2.28	32.19±0.90 ^{ab}	50.25±0.48
CMC 0.5	62.42±0.35	32.79±0.64 ^{ab}	52.10±0.66
CMC 1.0	60.89±1.86	31.70±0.39 ^{ab}	49.97±2.18
CMC 1.5	62.27±0.70	33.19±2.38 ^a	51.88±1.34

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

สมบัติด้านสีของเนื้อในของตัวอย่างขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ แสดงดังตารางที่ 4.3 มุมสีของเนื้อในของขนมปังทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยมีค่าประมาณ 95° ซึ่งได้แก่สีเหลือง ก่อนหน้านี้ Waliszewski, Padio และ Carreon (2002) และ Roongthongsri (2008) รายงานมุมสีในช่วง 90° สำหรับทอรัทญาที่ทำจากแป้งข้าวโพดและเนื้อในของขนมปังขาวตามลำดับ นอกจากนี้เนื้อในของขนมปังทุกตัวอย่างยังมีความเข้มสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดัชนีความขาวและความสว่างของเนื้อในของขนมปังที่เติม HPMC และ CMC โดยทั่วไปไม่แตกต่างจากขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้น HPMC 1.5 และ CMC 1.0 อย่างไรก็ตามสมบัติด้านสีทั้งสองประการมีค่าแปรผันอยู่ในช่วงแคบๆ (63.48-65.23 สำหรับดัชนีความขาว และ 64.77-66.59 สำหรับความสว่าง)

ตารางที่ 4.3 สมบัติด้านสีของเนื้อในของขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ

ตัวอย่าง	มุมสี ^{ns}	ความเข้มสี ^{ns}	ดัชนีความขาว	ความสว่าง
Control	95.66±1.22	9.56±1.22	65.23±0.38 ^a	66.59±0.19 ^a
HPMC 0.5	96.31±0.40	9.60±0.28	64.26±0.81 ^{ab}	65.58±0.89 ^{ab}
HPMC 1.0	96.71±1.54	10.21±0.31	64.13±0.40 ^{ab}	65.61±0.34 ^{ab}
HPMC 1.5	95.07±0.77	10.03±0.50	63.48±0.25 ^b	64.90±0.13 ^b
CMC 0.5	95.60±1.17	9.53±0.88	64.53±0.15 ^{ab}	65.84±0.36 ^{ab}
CMC 1.0	96.09±0.37	9.21±1.17	63.57±0.65 ^b	64.77±0.97 ^b
CMC 1.5	95.51±0.42	9.48±0.54	64.08±1.28 ^{ab}	65.36±1.43 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.2.9 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

4.2.9.1 การประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

ในงานวิจัยนี้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนาของตัวอย่างขนมปังในด้านต่างๆ ได้แก่ สีของเปลือกนอก (สีน้ำตาล) สีของเนื้อใน (สีขาว) ความสม่ำเสมอของรูพรุน ขนาดของรูพรุน ความแข็ง การเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง ความยืดหยุ่น และกลิ่นรสไม่สด โดยใช้สเกลความยาว 15 cm เทียบเท่ากับ 15 คะแนน แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงดังภาคผนวก ข.2

ตารางที่ 4.4 และ 4.5 แสดงคะแนนด้านสีของเปลือกนอกของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ ตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ ได้คะแนนไม่แตกต่างจากตัวอย่างสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้น HPMC 1.5 และ CMC 1.0 ซึ่งได้คะแนนสูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ เล็กน้อย ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการวัดสีด้วยเครื่องมือ (4.2.8) และคะแนนด้านสีของเปลือกนอกของขนมปังมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วันทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

ตารางที่ 4.4 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านสีของเปลือกนอกของขนมปัง (สีน้ำตาล) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	8.82±0.97 ^c	8.73±1.08 ^{bc}	9.23±1.04 ^{bc}	9.33±1.19 ^{ab}
HPMC 0.5	9.45±1.11 ^{bc}	8.42±1.03 ^c	8.26±1.03 ^d	8.69±0.88 ^b
HPMC 1.0	9.49±0.90 ^{bc}	9.34±1.09 ^{ab}	9.01±0.85 ^{bcd}	8.79±1.07 ^b
HPMC 1.5	10.13±1.08 ^b	9.45±0.68 ^a	8.41±0.77 ^d	9.45±1.10 ^{ab}
CMC 0.5	9.43±0.83 ^{bc}	9.33±1.06 ^{ab}	9.75±1.17 ^b	9.41±0.82 ^{ab}
CMC 1.0	10.83±1.13 ^a	9.07±0.83 ^{abc}	10.58±1.19 ^a	9.97±1.15 ^a
CMC 1.5	9.52±0.97 ^{bc}	9.47±1.08 ^a	8.47±1.05 ^{cd}	9.08±1.19 ^b

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.5 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านสีของเปลือกนอกของขนมปัง (สีน้ำตาล) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	8.82±0.97 ^c	8.90±0.85 ^b	8.73±1.07 ^a	9.69±1.16 ^a
HPMC 0.5	9.45±1.11 ^{bc}	9.37±0.48 ^{ab}	7.60±1.61 ^b	8.67±1.12 ^{bc}
HPMC 1.0	9.49±0.90 ^{bc}	9.14±1.35 ^{ab}	9.25±0.68 ^a	9.14±1.46 ^{abc}
HPMC 1.5	10.13±1.08 ^b	9.68±1.69 ^{ab}	8.86±0.99 ^a	8.45±1.08 ^c
CMC 0.5	9.43±0.83 ^{bc}	8.97±1.11 ^b	9.35±1.01 ^a	9.42±1.08 ^{ab}
CMC 1.0	10.83±1.13 ^a	10.08±1.62 ^a	8.69±1.00 ^a	9.35±0.83 ^{ab}
CMC 1.5	9.52±0.97 ^{bc}	8.85±1.25 ^b	9.09±1.17 ^a	9.55±1.04 ^a

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 และ 4.7 แสดงคะแนนด้านสีของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ ขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ ทุกตัวอย่างได้คะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการวัดสีด้วยเครื่องมือ (4.2.8) และคะแนนด้านสีของเนื้อในของขนมปังมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วันทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

ตารางที่ 4.6 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านสีของเนื้อในของขนมปัง (สีขาว) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0 ^{ns}	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	9.77±1.34	8.53±1.15 ^c	7.52±0.90 ^c	7.90±1.21 ^{cd}
HPMC 0.5	10.27±1.59	9.10±1.29 ^{abc}	8.38±1.15 ^b	8.53±1.06 ^b
HPMC 1.0	10.35±1.40	9.74±0.61 ^a	9.29±0.99 ^a	9.19±1.18 ^a
HPMC 1.5	9.79±1.01	9.49±0.93 ^{ab}	9.17±1.15 ^a	9.29±1.36 ^a
CMC 0.5	10.15±1.05	9.40±0.95 ^{ab}	7.69±0.84 ^c	7.46±1.07 ^d
CMC 1.0	9.58±1.23	8.85±0.91 ^{bc}	8.76±0.75 ^{ab}	8.76±1.15 ^{ab}
CMC 1.5	9.86±1.08	9.33±0.88 ^{ab}	8.49±1.01 ^b	8.47±1.24 ^{bc}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.7 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านสีของเนื้อในของขนมปัง (สีขาว) ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0 ^{ns}	วันที่ 1 ^{ns}	วันที่ 3 ^{ns}	วันที่ 5
Control	9.77±1.34	8.17±1.24	7.80±1.18	7.83±1.21 ^{ab}
HPMC 0.5	10.27±1.59	8.55±0.99	7.81±1.11	8.02±1.02 ^{ab}
HPMC 1.0	10.35±1.40	8.36±1.12	7.95±1.23	7.99±1.19 ^{ab}
HPMC 1.5	9.79±1.01	8.82±1.01	8.39±0.86	8.49±1.09 ^a
CMC 0.5	10.15±1.05	8.21±0.83	7.79±1.12	7.18±1.23 ^b
CMC 1.0	9.58±1.23	8.19±1.19	8.24±1.01	8.08±1.00 ^a
CMC 1.5	9.86±1.08	8.45±1.14	8.48±1.12	8.19±1.05 ^a

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.8 และ 4.9 แสดงคะแนนด้านความสม่ำเสมอของรูพรุนของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่าคะแนนด้านความสม่ำเสมอของรูพรุนมีความแตกต่างกันในระหว่างตัวอย่างขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของคะแนนแปรผันอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างแคบ (9.29-10.55)

คะแนนด้านความสม่ำเสมอของรูปพูนมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 5 วันทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

ตารางที่ 4.8 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความสม่ำเสมอของรูปพูนของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	10.15±1.33 ^{abc}	9.50±1.52 ^{ab}	10.15±1.41 ^a	9.15±1.56 ^{ab}
HPMC 0.5	10.55±1.68 ^a	9.79±1.73 ^{ab}	9.54±1.22 ^b	8.87±1.12 ^b
HPMC 1.0	10.17±1.70 ^{abc}	8.94±0.93 ^b	9.82±1.28 ^{ab}	9.98±1.34 ^a
HPMC 1.5	9.29±0.88 ^d	9.05±0.93 ^b	9.49±0.90 ^b	9.58±0.88 ^{ab}
CMC 0.5	10.35±1.68 ^{ab}	9.07±1.18 ^b	9.81±1.31 ^{ab}	9.99±1.31 ^a
CMC 1.0	9.49±0.72 ^{bc}	9.43±1.02 ^{ab}	9.35±1.14 ^b	9.49±1.15 ^{ab}
CMC 1.5	9.69±1.13 ^{abc}	10.09±1.63 ^a	9.87±1.10 ^{ab}	9.53±1.21 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความสม่ำเสมอของรูปพูนของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5 ^{ns}
Control	10.15±1.33 ^{abc}	8.14±1.15 ^{bc}	8.35±0.89 ^b	9.07±1.19
HPMC 0.5	10.55±1.68 ^a	8.73±1.61 ^{abc}	9.40±0.92 ^a	9.77±1.39
HPMC 1.0	10.17±1.70 ^{abc}	8.75±1.46 ^{abc}	9.45±1.02 ^a	9.34±1.33
HPMC 1.5	9.29±0.88 ^d	8.92±1.26 ^{ab}	9.05±1.27 ^{ab}	9.34±1.23
CMC 0.5	10.35±1.68 ^{ab}	9.39±1.59 ^a	9.69±1.02 ^a	9.89±1.17
CMC 1.0	9.49±0.72 ^{bc}	8.22±1.51 ^{bc}	9.47±1.35 ^a	9.91±1.01
CMC 1.5	9.69±1.13 ^{abc}	7.93±1.54 ^c	9.39±1.15 ^a	9.61±0.85

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.10 และ 4.11 แสดงคะแนนด้านขนาดของรูพรุนของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ ตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ ได้คะแนนต่ำกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการประเมินขนาดเฉลี่ยเซลล์อากาศในหัวข้อ 4.2.7 ตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ในปริมาณต่างกันได้คะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) คะแนนด้านขนาดของรูพรุนมีค่าลดลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 วันทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

ตารางที่ 4.10 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านขนาดของรูพรุนของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	10.69±1.02 ^a	9.75±0.67 ^a	8.65±0.70 ^{ab}	8.77±0.89 ^a
HPMC 0.5	9.70±0.95 ^b	8.85±1.12 ^{bc}	8.76±0.94 ^{ab}	8.41±1.23 ^{ab}
HPMC 1.0	9.33±1.06 ^b	9.36±1.06 ^{ab}	8.03±0.73 ^b	8.19±0.82 ^{ab}
HPMC 1.5	9.90±1.26 ^b	8.61±1.24 ^c	8.53±0.82 ^{ab}	8.77±1.10 ^a
CMC 0.5	9.77±1.36 ^b	9.23±0.97 ^{ab}	8.07±1.07 ^b	8.05±1.19 ^b
CMC 1.0	9.43±0.99 ^b	8.82±1.03 ^{bc}	8.93±0.99 ^a	8.83±1.15 ^a
CMC 1.5	9.43±0.95 ^b	9.66±1.22 ^a	8.29±1.02 ^{ab}	8.83±1.10 ^a

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านขนาดของรูพรุนของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5 ^{ns}
Control	10.69±1.02 ^a	8.42±1.47 ^{ab}	8.21±1.32 ^{ab}	8.15±1.13
HPMC 0.5	9.70±0.95 ^b	7.64±1.69 ^b	8.05±1.21 ^{ab}	7.37±1.35
HPMC 1.0	9.33±1.06 ^b	8.71±1.68 ^a	7.36±1.23 ^b	7.40±1.61
HPMC 1.5	9.90±1.26 ^b	8.61±1.67 ^{ab}	8.46±1.38 ^a	7.93±1.76
CMC 0.5	9.77±1.36 ^b	8.55±1.73 ^{ab}	7.93±1.47 ^{ab}	7.21±1.25
CMC 1.0	9.43±0.99 ^b	8.99±1.75 ^a	8.23±1.02 ^{ab}	7.89±1.45
CMC 1.5	9.43±0.95 ^b	8.89±1.40 ^a	8.36±1.56 ^a	7.89±1.50

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.12 และ 4.13 แสดงคะแนนด้านความแข็งของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ ตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ ได้คะแนนต่ำกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการประเมินความแข็งด้วยเครื่องมือ (4.2.6) ตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ในปริมาณต่างกันได้คะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ขนมปังทุกตัวอย่างมีคะแนนด้านความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ตัวอย่างควบคุมมีความแข็งเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดย ณ วันที่ 5 ของการเก็บรักษาขนมปังสูตรควบคุมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีคะแนนด้านความแข็งสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 11.85

ตารางที่ 4.12 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความแข็งของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	3.87±0.88 ^a	5.45±0.94 ^a	9.97±0.77 ^a	10.91±0.82 ^a
HPMC 0.5	3.47±0.77 ^b	4.57±1.20 ^b	8.29±1.85 ^b	9.67±0.96 ^b
HPMC 1.0	3.41±1.17 ^b	3.93±1.27 ^b	8.07±1.81 ^{bc}	8.90±1.58 ^{bc}
HPMC 1.5	3.57±0.98 ^b	4.58±1.58 ^b	8.31±1.66 ^b	9.47±1.62 ^b
CMC 0.5	3.33±0.94 ^b	3.99±1.16 ^b	7.20±1.28 ^{cd}	8.41±1.47 ^c
CMC 1.0	3.19±1.20 ^{bc}	3.86±1.23 ^b	6.83±1.26 ^d	8.17±1.83 ^{cd}
CMC 1.5	3.03±0.88 ^c	3.91±1.46 ^b	6.65±1.30 ^d	7.35±1.36 ^d

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยาศาสตร์การ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.13 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความแข็งของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	3.87±0.88 ^a	8.13±1.55 ^a	10.86±1.10 ^a	11.85±1.17 ^a
HPMC 0.5	3.47±0.77 ^b	6.89±1.25 ^b	8.62±1.46 ^b	9.23±1.22 ^b
HPMC 1.0	3.41±1.17 ^b	6.62±1.05 ^b	8.52±1.14 ^b	8.90±1.53 ^b
HPMC 1.5	3.57±0.98 ^b	6.43±1.61 ^b	8.99±1.31 ^b	9.74±1.50 ^b
CMC 0.5	3.33±0.94 ^b	6.23±1.35 ^b	8.95±1.59 ^b	9.87±1.16 ^b
CMC 1.0	3.19±1.20 ^{bc}	6.01±1.15 ^b	8.67±1.06 ^b	9.48±0.99 ^b
CMC 1.5	3.03±0.88 ^c	5.66±1.70 ^b	8.35±1.54 ^b	9.01±1.09 ^b

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.14 และ 4.15 แสดงคะแนนด้านการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติพบว่าคะแนนด้านการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังมีความแตกต่างกันในระหว่างตัวอย่างขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของคะแนนแปรผันอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างแคบ (9.34-10.47) ผลที่ได้นี้สอดคล้องกับการประเมินการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังด้วยเครื่องมือ (4.2.6) ซึ่งพบว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังไม่แตกต่างจากขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้น CMC 1.5 คะแนนด้านการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังตัวอย่างเดียวกันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปพบว่าขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีคะแนนด้านการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังต่ำกว่าเล็กน้อย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	9.34±0.99 ^c	8.38±0.64 ^b	7.08±0.70 ^c	6.72±1.34 ^c
HPMC 0.5	9.56±1.30 ^{bc}	8.75±0.65 ^{ab}	7.99±1.28 ^{ab}	6.75±1.28 ^c
HPMC 1.0	9.77±1.43 ^{abc}	9.29±1.19 ^a	7.56±0.74 ^{abc}	7.67±1.16 ^{ab}
HPMC 1.5	10.18±1.58 ^{ab}	9.21±1.14 ^a	7.93±1.00 ^{ab}	7.71±1.20 ^{ab}
CMC 0.5	10.12±1.34 ^{abc}	8.77±1.24 ^{ab}	7.50±1.11 ^{abc}	7.09±1.45 ^{bc}
CMC 1.0	9.92±1.11 ^{abc}	9.15±0.88 ^a	7.20±0.92 ^{bc}	8.00±1.20 ^a
CMC 1.5	10.47±1.46 ^a	8.76±0.94 ^{ab}	8.04±1.67 ^a	8.05±1.46 ^a

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.15 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านการเกาะตัวกันของเนื้อขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	9.34±0.99 ^c	7.41±1.04 ^b	6.78±0.87 ^b	6.98±0.92 ^{bcd}
HPMC 0.5	9.56±1.30 ^{bc}	7.52±1.02 ^b	6.99±0.81 ^b	6.57±0.66 ^{cd}
HPMC 1.0	9.77±1.43 ^{abc}	8.01±1.38 ^{ab}	7.77±1.04 ^a	7.17±1.09 ^{abc}
HPMC 1.5	10.18±1.58 ^{ab}	8.03±1.48 ^{ab}	7.29±1.07 ^{ab}	7.51±1.47 ^{ab}
CMC 0.5	10.12±1.34 ^{abc}	8.45±1.02 ^a	7.79±1.04 ^a	6.30±1.44 ^d
CMC 1.0	9.92±1.11 ^{abc}	7.47±1.06 ^b	7.43±0.83 ^{ab}	7.97±0.78 ^a
CMC 1.5	10.47±1.46 ^a	7.64±1.21 ^b	7.91±1.08 ^a	7.46±1.59 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.16 และ 4.17 แสดงคะแนนด้านความยืดหยุ่นของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ ตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีคะแนนด้านความยืดหยุ่นสูงกว่าขนมปังสูตรควบคุม อย่างไรก็ตามคะแนนที่ได้ไม่แตกต่างจากขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ยกเว้น HPMC 1.5 จากการประเมินความยืดหยุ่นของขนมปังด้วยเครื่องมือ (4.2.6) พบว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ

มีความยืดหยุ่นสูงกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ในปริมาณเท่ากันมีความยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) คะแนนด้านความยืดหยุ่นลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น

ตารางที่ 4.16 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความยืดหยุ่นของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	9.41±1.19 ^b	8.79±0.88 ^b	7.97±1.00 ^{ab}	7.29±0.97 ^b
HPMC 0.5	9.99±0.89 ^{ab}	9.12±0.75 ^{ab}	8.21±1.28 ^{ab}	7.58±1.51 ^{ab}
HPMC 1.0	9.89±1.24 ^{ab}	9.53±1.38 ^{ab}	7.69±1.09 ^b	8.19±1.06 ^a
HPMC 1.5	10.35±1.52 ^a	9.71±1.89 ^a	8.53±1.10 ^a	7.65±1.21 ^{ab}
CMC 0.5	10.01±1.59 ^{ab}	9.31±1.35 ^{ab}	7.66±0.99 ^b	7.40±0.78 ^{ab}
CMC 1.0	9.60±0.86 ^{ab}	9.31±1.17 ^{ab}	7.55±1.01 ^b	8.20±1.19 ^a
CMC 1.5	10.07±1.50 ^{ab}	9.03±1.08 ^{ab}	8.53±1.13 ^a	7.66±1.52 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.17 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านความยืดหยุ่นของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	9.41±1.19 ^b	7.51±1.01 ^{ab}	7.34±1.12 ^b	7.51±1.04 ^a
HPMC 0.5	9.99±0.89 ^{ab}	7.33±0.77 ^b	7.51±0.81 ^b	7.29±1.26 ^a
HPMC 1.0	9.89±1.24 ^{ab}	7.41±0.80 ^b	8.03±1.02 ^{ab}	6.75±0.92 ^{ab}
HPMC 1.5	10.35±1.52 ^a	8.07±1.08 ^a	7.57±0.94 ^b	6.33±0.77 ^b
CMC 0.5	10.01±1.59 ^{ab}	7.95±1.28 ^{ab}	7.54±0.98 ^b	7.36±1.07 ^a
CMC 1.0	9.60±0.86 ^{ab}	7.31±0.87 ^b	8.61±1.46 ^a	7.51±1.25 ^a
CMC 1.5	10.07±1.50 ^{ab}	7.36±0.70 ^b	7.77±1.05 ^b	7.33±1.22 ^a

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.18 และ 4.19 แสดงคะแนนด้านกลิ่นรสไม่สดของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ ขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ ทุกตัวอย่างได้คะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) คะแนนด้านกลิ่นรสไม่สดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยทั่วไปขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องมีคะแนนด้านกลิ่นรสไม่สดสูงกว่าขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นเป็นเวลาเท่ากัน Lorenz และ Maga (1972) วิเคราะห์สารประกอบคาร์บอนิลในขนมปังขาวโดยใช้แก๊ส-ลิควิดโครมาโทกราฟี พบว่าในขนมปังที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 5 วันมีการลดลงของปริมาณแอลดีไฮด์ (ได้แก่ ฟอรัมาลดีไฮด์ อะเซทาลดีไฮด์ โพรพาแนล บิวทาแนล เฮกซาแนล เฮพทาแนล และโนนาแนล) และการเพิ่มขึ้นของปริมาณอะซีโตน (ได้แก่ 2-บิวทาโนน 2-เฮกซาโนน และ 2-เฮพทาโนน) โดยผู้วิจัยรายงานว่าขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีปริมาณแอลดีไฮด์และอะซีโตนเท่ากับ 72.9 และ 27.1% ของสารประกอบคาร์บอนิลทั้งหมดตามลำดับ ในขณะที่ขนมปังที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 5 วันมีปริมาณแอลดีไฮด์และอะซีโตนเท่ากับ 15.1 และ 84.9% ของสารประกอบคาร์บอนิลทั้งหมดตามลำดับ ความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลโดยรวมเพิ่มขึ้นจาก 224 ส่วนในล้านส่วน (parts per million) ในขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ เป็น 328 ส่วนในล้านส่วนในขนมปังที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 5 วัน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังรายงานว่า การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนิลสอดคล้องกับระดับความชอบที่ลดลงเมื่อประเมินทางประสาทสัมผัส

ตารางที่ 4.18 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านกลิ่นรสไม่สดของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0 ^{ns}	วันที่ 1	วันที่ 3 ^{ns}	วันที่ 5 ^{ns}
Control	2.47±0.95	4.62±1.01 ^a	7.30±1.11	9.08±1.45
HPMC 0.5	2.42±0.99	3.88±1.53 ^{ab}	7.97±1.41	8.22±1.60
HPMC 1.0	2.53±0.84	4.39±1.52 ^{ab}	7.46±1.27	8.69±0.97
HPMC 1.5	2.53±0.80	4.21±1.64 ^{ab}	7.86±1.32	8.52±1.43
CMC 0.5	2.19±0.86	3.69±1.55 ^b	7.53±1.56	8.15±1.46
CMC 1.0	2.51±0.73	4.43±1.43 ^{ab}	7.62±1.37	8.62±1.59
CMC 1.5	2.32±0.83	3.97±1.10 ^{ab}	7.88±1.43	8.79±1.57

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.19 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณาด้านกลิ่นรสไม่สดของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0 ^{ns}	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	2.47±0.95	5.54±1.79 ^{bc}	7.09±1.70 ^b	8.16±1.77 ^{ab}
HPMC 0.5	2.42±0.99	4.64±1.74 ^c	6.14±1.53 ^c	6.83±1.48 ^c
HPMC 1.0	2.53±0.84	5.37±1.88 ^c	7.00±0.99 ^{bc}	7.30±0.93 ^{bc}
HPMC 1.5	2.53±0.80	6.84±1.81 ^a	8.11±1.74 ^a	8.47±1.20 ^a
CMC 0.5	2.19±0.86	6.59±1.69 ^{ab}	7.55±1.32 ^{ab}	8.21±1.34 ^{ab}
CMC 1.0	2.51±0.73	6.81±1.77 ^a	7.56±1.45 ^{ab}	7.94±1.66 ^{ab}
CMC 1.5	2.32±0.83	5.65±1.69 ^{bc}	7.03±1.76 ^{bc}	7.88±1.75 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

4.2.9.2 การประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบ

งานวิจัยนี้ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบของตัวอย่างขนมปังในด้านต่างๆ ได้แก่ สีของเปลือกนอก สีของเนื้อใน เนื้อสัมผัส กลิ่นรส รสชาติ และความชอบโดยรวม ประเมินโดยใช้สเกลฮีโดนิคแบบ 9 คะแนน โดย 1 คะแนนหมายถึงไม่ชอบมากที่สุด 5 คะแนนหมายถึงเฉยๆ และ 9 คะแนนหมายถึงชอบมากที่สุด (แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสแสดงดังภาคผนวก ข.3) ในงานวิจัยนี้กำหนดว่าตัวอย่างที่ได้คะแนนตั้งแต่ 5 คะแนนขึ้นไปถือว่าได้รับการยอมรับจากผู้ประเมิน

ตารางที่ 4.20 และ 4.21 แสดงคะแนนด้านสีของเปลือกนอกของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ ส่วนตารางที่ 4.22 และ 4.23 แสดงคะแนนด้านสีของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ พบว่าตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ทั้งที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ และที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 5 วันได้คะแนนใกล้เคียงกับขนมปังสูตรควบคุม และขนมปังทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นเป็นระยะเวลาเท่ากันได้คะแนนใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.20 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านสีของเปลือกนอกของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1 ^{ns}	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	6.88±1.35 ^a	6.76±1.45	6.72±1.50 ^{ab}	6.40±1.11 ^{ab}
HPMC 0.5	6.58±1.47 ^{ab}	6.82±1.37	6.86±1.21 ^a	6.52±1.03 ^a
HPMC 1.0	6.32±1.39 ^b	6.88±1.19	6.70±1.20 ^{ab}	5.98±1.27 ^c
HPMC 1.5	6.52±1.34 ^{ab}	6.72±1.28	6.56±1.25 ^{ab}	6.68±1.13 ^a
CMC 0.5	6.92±1.48 ^a	6.52±1.49	6.44±1.59 ^{ab}	6.50±1.23 ^a
CMC 1.0	6.92±1.41 ^a	6.80±1.39	6.60±1.51 ^{ab}	6.08±1.14 ^{bc}
CMC 1.5	6.30±1.75 ^b	6.56±1.61	6.30±1.75 ^b	6.46±1.05 ^a

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.21 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านสีของเปลือกนอกของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	6.88±1.35 ^a	6.54±1.51 ^{ab}	6.28±1.55 ^b	6.40±1.25 ^{abc}
HPMC 0.5	6.58±1.47 ^{ab}	6.56±1.62 ^{ab}	6.48±1.57 ^{ab}	6.68±0.98 ^{ab}
HPMC 1.0	6.32±1.39 ^b	6.50±1.60 ^{ab}	6.94±1.52 ^a	5.98±1.25 ^d
HPMC 1.5	6.52±1.34 ^{ab}	6.12±1.59 ^b	6.48±1.58 ^{ab}	6.28±1.37 ^{bcd}
CMC 0.5	6.92±1.48 ^a	6.16±1.78 ^b	6.48±1.61 ^{ab}	6.70±1.30 ^a
CMC 1.0	6.92±1.41 ^a	5.98±1.61 ^b	6.42±1.44 ^{ab}	6.06±1.36 ^{cd}
CMC 1.5	6.30±1.75 ^b	6.84±1.33 ^a	6.82±1.53 ^{ab}	6.46±0.91 ^{abc}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.22 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านสีของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1 ^{ns}	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	6.60±1.37 ^{ab}	6.66±1.48	6.60±1.31 ^{ab}	6.42±1.03 ^a
HPMC 0.5	6.58±1.25 ^{ab}	6.80±1.32	6.68±1.08 ^a	6.04±0.92 ^{bc}
HPMC 1.0	6.30±1.50 ^b	6.80±1.18	6.58±1.16 ^{ab}	6.08±1.21 ^{bc}
HPMC 1.5	6.22±1.62 ^b	6.48±1.52	6.50±1.28 ^{ab}	6.02±1.08 ^{bc}
CMC 0.5	6.84±1.17 ^a	6.58±1.16	6.58±1.16 ^{ab}	6.28±0.93 ^{ab}
CMC 1.0	6.54±1.34 ^{ab}	6.60±1.20	6.34±1.38 ^{ab}	5.86±1.16 ^c
CMC 1.5	6.16±1.31 ^b	6.34±1.26	6.16±1.31 ^b	6.00±0.99 ^{bc}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.23 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านสีของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3 ^{ns}	วันที่ 5
Control	6.60±1.37 ^{ab}	6.54±1.20 ^{ab}	6.48±1.20	6.40±1.11 ^{ab}
HPMC 0.5	6.58±1.25 ^{ab}	6.70±1.30 ^a	6.76±1.06	6.22±1.07 ^b
HPMC 1.0	6.30±1.50 ^b	6.30±1.28 ^{ab}	6.54±1.07	6.44±1.31 ^{ab}
HPMC 1.5	6.22±1.62 ^b	6.46±1.36 ^{ab}	6.70±1.16	6.68±1.19 ^a
CMC 0.5	6.84±1.17 ^a	6.30±1.30 ^{ab}	6.50±1.34	6.46±1.28 ^{ab}
CMC 1.0	6.54±1.34 ^{ab}	6.62±1.09 ^{ab}	6.72±1.20	6.52±1.03 ^{ab}
CMC 1.5	6.16±1.31 ^b	6.24±1.27 ^b	6.52±1.15	6.42±1.18 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.24 และ 4.25 แสดงคะแนนด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ พบว่าตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ทั้งที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ และที่เก็บรักษาไว้เป็นระยะเวลา 5 วันได้คะแนนสูงกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขนมปังทุกตัวอย่างมีคะแนนลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยขนมปังสูตรควบคุมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นมีคะแนนลดลงต่ำกว่า 5 ในวันที่ 5 และ 3 ตามลำดับ ในขณะที่ขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ทุกตัวอย่างยังมีคะแนนสูงกว่า 5 ณ วันที่ 5 ของการเก็บรักษา

ตารางที่ 4.24 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	5.94±1.32 ^b	5.70±1.29 ^b	5.36±1.26 ^c	4.52±1.17 ^d
HPMC 0.5	7.18±0.83 ^a	7.22±0.83 ^a	6.74±1.10 ^a	6.60±1.18 ^a
HPMC 1.0	7.24±0.93 ^a	7.18±1.06 ^a	6.54±1.33 ^{ab}	6.44±1.28 ^{ab}
HPMC 1.5	7.20±1.12 ^a	7.22±1.08 ^a	6.36±1.37 ^{abc}	6.18±1.19 ^{bc}
CMC 0.5	7.16±0.93 ^a	6.92±1.12 ^a	6.10±1.27 ^{bc}	6.58±0.88 ^a
CMC 1.0	6.96±0.97 ^a	6.94±0.89 ^a	6.60±1.09 ^{ab}	6.00±1.20 ^c
CMC 1.5	7.26±1.19 ^a	7.25±1.14 ^a	6.62±1.31 ^{ab}	6.06±1.17 ^{bc}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.25 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านเนื้อสัมผัสของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	5.94±1.32 ^b	5.22±1.31 ^b	4.79±1.28 ^b	3.85±1.44 ^d
HPMC 0.5	7.18±0.83 ^a	6.46±1.25 ^a	6.46±1.13 ^a	5.24±1.12 ^c
HPMC 1.0	7.24±0.93 ^a	6.12±1.24 ^{ab}	6.42±1.01 ^a	5.38±1.28 ^{bc}
HPMC 1.5	7.20±1.12 ^a	6.44±1.37 ^a	6.48±1.09 ^a	5.84±1.46 ^{ab}
CMC 0.5	7.16±0.93 ^a	6.32±1.13 ^{ab}	6.32±1.08 ^a	5.30±1.34 ^c
CMC 1.0	6.96±0.97 ^a	6.24±1.27 ^{ab}	6.58±1.11 ^a	5.90±1.28 ^a
CMC 1.5	7.26±1.19 ^a	6.50±1.28 ^a	6.54±1.30 ^a	5.48±1.39 ^{abc}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.26 และ 4.27 แสดงคะแนนด้านกลิ่นรสของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ ตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีคะแนนใกล้เคียงกับขนมปังสูตรควบคุม ในระหว่างการเก็บรักษาขนมปังทุกตัวอย่างมีคะแนนลดลง ขนมปังที่มีอายุการเก็บรักษาเท่ากันมีคะแนนใกล้เคียงกันทั้งที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น

ตารางที่ 4.26 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านกลิ่นรสของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3 ^{ns}	วันที่ 5
Control	6.54±1.46 ^a	6.14±1.25 ^{ab}	6.28±1.34	5.54±1.39 ^{bc}
HPMC 0.5	6.40±1.56 ^a	6.46±1.30 ^a	6.12±1.79	5.84±1.06 ^{ab}
HPMC 1.0	5.90±1.56 ^{ab}	6.62±1.35 ^a	6.12±1.49	5.90±1.20 ^a
HPMC 1.5	5.70±1.56 ^b	5.76±1.41 ^b	6.02±1.24	5.84±1.39 ^{ab}
CMC 0.5	6.32±1.39 ^{ab}	6.08±1.50 ^{ab}	5.92±1.60	5.22±1.33 ^c
CMC 1.0	5.98±1.60 ^{ab}	6.20±1.46 ^{ab}	5.90±1.67	5.50±1.42 ^{bc}
CMC 1.5	5.92±1.87 ^{ab}	6.30±1.72 ^{ab}	5.92±1.87	5.50±1.13 ^{bc}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.27 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านกลิ่นรสของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	6.54±1.46 ^a	5.90±1.18 ^{ab}	5.80±1.37 ^{ab}	5.64±1.27 ^{ab}
HPMC 0.5	6.40±1.56 ^a	5.98±1.61 ^{ab}	5.92±1.43 ^{ab}	5.74±1.26 ^a
HPMC 1.0	5.90±1.56 ^{ab}	6.16±1.42 ^a	6.14±1.44 ^a	5.74±1.40 ^a
HPMC 1.5	5.70±1.56 ^b	5.56±1.67 ^b	5.48±1.71 ^b	5.56±1.42 ^{ab}
CMC 0.5	6.32±1.39 ^{ab}	5.70±1.43 ^{ab}	5.34±1.52 ^b	5.64±1.40 ^{ab}
CMC 1.0	5.98±1.60 ^{ab}	5.80±1.44 ^{ab}	5.68±1.40 ^{ab}	5.20±1.54 ^b
CMC 1.5	5.92±1.87 ^{ab}	5.80±1.44 ^{ab}	6.18±1.41 ^a	5.48±1.33 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.28 และ 4.29 แสดงคะแนนด้านรสชาติของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ ตัวอย่างขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีคะแนนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) คะแนนของขนมปังทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยตัวอย่างขนมปังที่มีอายุการเก็บรักษาเท่ากันมีคะแนนใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.28 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านรสชาติของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0 ^{ns}	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5 ^{ns}
Control	6.30±1.40	6.32±1.33 ^{ab}	6.34±1.36 ^{ab}	5.52±1.15
HPMC 0.5	6.30±1.33	6.66±1.24 ^a	6.52±1.66 ^a	5.68±1.62
HPMC 1.0	5.98±1.52	6.74±1.27 ^a	6.14±1.52 ^{ab}	5.68±1.24
HPMC 1.5	6.00±1.44	6.14±1.25 ^b	6.10±1.39 ^{ab}	5.58±1.30
CMC 0.5	6.40±1.53	6.34±1.33 ^{ab}	5.98±1.65 ^{ab}	5.50±1.53
CMC 1.0	6.00±1.46	6.24±1.25 ^{ab}	5.92±1.48 ^b	5.72±1.51
CMC 1.5	6.00±1.77	6.28±1.51 ^{ab}	6.00±1.77 ^{ab}	5.74±1.34

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.29 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบด้านรสชาติของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0 ^{ns}	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	6.30±1.40	5.78±1.27 ^{ab}	5.64±1.26 ^{ab}	5.20±1.29 ^b
HPMC 0.5	6.30±1.33	6.16±1.49 ^a	5.92±1.37 ^{ab}	5.28±1.52 ^b
HPMC 1.0	5.98±1.52	6.00±1.32 ^{ab}	5.90±1.63 ^{ab}	5.68±1.54 ^{ab}
HPMC 1.5	6.00±1.44	5.64±1.65 ^b	5.44±1.70 ^b	5.78±1.74 ^a
CMC 0.5	6.40±1.53	6.04±1.28 ^{ab}	5.66±1.57 ^{ab}	5.26±1.48 ^b
CMC 1.0	6.00±1.46	5.92±1.35 ^{ab}	6.12±1.38 ^a	5.48±1.43 ^{ab}
CMC 1.5	6.00±1.77	5.80±1.40 ^{ab}	6.00±1.53 ^{ab}	5.22±1.59 ^b

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.30 และ 4.31 แสดงคะแนนด้านความชอบโดยรวมของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นตามลำดับ ตัวอย่างขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ มีคะแนนสูงกว่าขนมปังสูตรควบคุม อย่างไรก็ตามคะแนนที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) ยกเว้น CMC 1.5 อย่างไรก็ตามในระหว่างการเก็บรักษาขนมปังสูตรควบคุมมีคะแนนลดลงอย่างรวดเร็ว โดย ณ วันที่ 1 ของการเก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ขนมปังสูตรควบคุมมีคะแนนต่ำกว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) ขนมปังสูตรควบคุมที่เก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็นเป็นเวลา 5 วันมีคะแนนต่ำกว่า 5 ซึ่งแสดงถึงการไม่ยอมรับของผู้ประเมิน ขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ยังคงมีคะแนนสูงกว่า 5 เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 วัน

ตารางที่ 4.30 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	6.02±1.36 ^b	5.87±0.93 ^c	5.33±1.32 ^c	4.76±1.27 ^c
HPMC 0.5	6.70±0.95 ^{ab}	6.82±0.94 ^{ab}	6.94±1.08 ^a	6.44±1.09 ^{ab}
HPMC 1.0	6.72±1.12 ^{ab}	6.97±1.02 ^a	6.72±0.97 ^{ab}	6.16±1.02 ^b
HPMC 1.5	6.58±1.01 ^b	6.52±1.09 ^b	6.46±1.07 ^{ab}	6.54±1.13 ^a
CMC 0.5	6.74±1.16 ^{ab}	6.80±0.97 ^{ab}	6.62±1.23 ^{ab}	6.40±1.03 ^{ab}
CMC 1.0	6.44±0.97 ^b	6.50±0.99 ^b	6.52±1.03 ^{ab}	6.22±1.02 ^{ab}
CMC 1.5	7.10±1.02 ^a	6.90±0.95 ^{ab}	6.78±1.15 ^{ab}	6.08±1.07 ^b

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.31 คะแนนจากการประเมินทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	6.02±1.36 ^b	6.54±1.02 ^c	5.05±1.11 ^c	4.29±1.25 ^c
HPMC 0.5	6.70±0.95 ^{ab}	6.70±1.05 ^a	6.42±1.05 ^{ab}	6.02±1.29 ^{ab}
HPMC 1.0	6.72±1.12 ^{ab}	6.48±0.97 ^{ab}	6.58±0.99 ^{ab}	5.74±1.41 ^{bc}
HPMC 1.5	6.58±1.01 ^b	6.68±0.96 ^a	6.38±1.01 ^{ab}	6.20±1.54 ^a
CMC 0.5	6.74±1.16 ^{ab}	6.44±0.95 ^{ab}	6.16±1.04 ^{bc}	5.74±1.17 ^{bc}
CMC 1.0	6.44±0.97 ^b	6.64±1.05 ^a	6.58±0.99 ^{ab}	5.82±1.35 ^{bc}
CMC 1.5	7.10±1.02 ^a	6.54±1.09 ^{ab}	6.70±1.05 ^a	5.92±0.97 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสมมติเดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากงานวิจัยนี้พบว่า การเติม HPMC หรือ CMC มีผลสำคัญต่อคุณภาพด้านความแข็ง ขนาดของเซลล์อากาศ และความชอบโดยรวมของผู้บริโภคทั้งในขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ และ ระหว่างการเก็บรักษา โดยการเติม HPMC หรือ CMC ทำให้ขนมปังมีความแข็งลดลง ขนาดของเซลล์อากาศเล็กลง และความชอบโดยรวมของผู้บริโภคสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรควบคุม โดยทั่วไปพบว่า การเติม HPMC หรือ CMC ในปริมาณเพียง 0.5% เพียงพอต่อการช่วยชะลอการเกิดความไม่สดของขนมปังโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของความแข็งของเนื้อในขนมปัง และการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอิมิไลเพกทิน อย่างไรก็ตาม การเติม HPMC และ CMC ไม่ทำให้คุณภาพด้านปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง การเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง ความยืดหยุ่น สีของเปลือกนอกและเนื้อในของขนมปัง ความสม่ำเสมอของรูพรุนในเนื้อขนมปัง และกลิ่นรสไม่สดเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรควบคุม โดยไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดมีผลต่อคุณภาพของขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ และคุณภาพของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษาที่คล้ายคลึงกัน

ในด้านอุณหภูมิการเก็บรักษาพบว่า การเก็บรักษาขนมปังที่อุณหภูมิแช่เย็นทำให้ความไม่สดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับ การเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง โดยการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ ได้แก่ ความแข็งและการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอิมิไลเพกทินที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม การเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นสามารถชะลอการเกิดกลิ่นรสไม่สดในขนมปังได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

HPMC และ CMC ที่เติมในขนมปังขาวซึ่งทำจากแป้งสาลีมีผลทั้งต่อคุณภาพของขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ และการเกิดความไม่สดในระหว่างการเก็บรักษา การเติม HPMC และ CMC ในปริมาณ 0.5, 1.0 และ 1.5% โดยน้ำหนักแป้งสาลีส่งผลให้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการเตรียมโดเพิ่มสูงขึ้น การเติม HPMC และ CMC ยังส่งผลให้ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ในขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรควบคุมซึ่งไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการรักษาความชื้นและการกระจายความชื้นของไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิด

การเติม HPMC และ CMC มีผลให้เกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิไลเพกทินในระหว่างการเก็บรักษาลดต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรควบคุม และการเปลี่ยนแปลงนี้สอดคล้องกับปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ซึ่งมีค่าสูงกว่าขนมปังสูตรควบคุม ขนมปังที่เติม HPMC และ CMC มีความแข็งต่ำกว่าขนมปังสูตรควบคุมทั้งภายหลังจากผลิตเสร็จใหม่ๆ และในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ขนมปังที่เติม HPMC และ CMC ยังมีความยืดหยุ่นสูงกว่าและมีขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศที่เล็กกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามพบว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC มีคุณภาพด้านปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง การเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง สีของเปลือกนอก สีของเนื้อใน และความสม่ำเสมอของรูพรุน ใกล้เคียงกับขนมปังสูตรควบคุม

การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำมีผลสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชและเนื้อสัมผัสของขนมปัง พบว่าขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น (4°C) มีการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิไลเพกทินเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้เมื่อเปรียบเทียบกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (25°C) ขนมปังสูตรควบคุมที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีการเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิไลเพกทินสูงสุดตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 7 วัน และขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นมีความแข็งสูงกว่าตัวอย่างเดียวกันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลาเท่ากัน อย่างไรก็ตามพบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็นส่งผลดีในด้านการชะลอการเกิดกลิ่นรสไม่สด จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้านความชอบพบว่า การเติม HPMC และ CMC มีผลในเชิงบวกต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัส สำหรับคะแนนด้านความชอบโดยรวมแม้ว่าขนมปังสูตรควบคุมที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ ได้คะแนนต่ำกว่าขนมปังที่เติม HPMC และ CMC แต่คะแนนที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามตั้งแต่

วันที่ 1 ถึงวันที่ 5 ของการเก็บรักษาทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิแช่เย็น ขนมหังสุทรควบคุมได้
คะแนนต่ำกว่าขนมหังที่เดิม HPMC และ CMC อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า HPMC และ CMC สามารถชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันของ
สตาร์ชข้าวสาลีได้ จึงมีความน่าสนใจที่จะศึกษาบทบาทของ HPMC และ CMC ในการชะลอการ
เกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชจากพืชชนิดอื่น หรือการใช้ HPMC และ CMC เพื่อชะลอการเกิดรีโทร
เกรเดชันในผลิตภัณฑ์อื่นที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 303 หน้า.
- คณะกรรมการอาหารและยา, สำนักงาน. 2547. ประกาศสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา เรื่องข้อกำหนดการใช้วัตถุเจือปนอาหาร ลงวันที่ 3 พฤศจิกายน 2547.
- จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล. 2542. เบเกอรี่เทคโนโลยีเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 224 หน้า.
- นิตยา รัตนাপนนท์. 2549. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์โอเดียน, หน้า 189-228.
- ปรียาพร ชุนดี. 2546. ผลของการทดแทนแป้งสาลีบางส่วนด้วยแป้งมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลังคืนตัวต่อความไม่สดในขนมปัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรรณดา ตูลย์ธัญ. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 137-141.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2540. ข้าวสาลี: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: กราฟฟิกแอนด์ปริ้นติงเซ็นเตอร์, หน้า 133-169.

ภาษาอังกฤษ

- AACC. 2000. Approved Methods of the AACC. 10th ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Adamson, J. C. 2009. Hue, value & chroma - the characteristics of color [Online]. Available from: <http://www.greatreality.com/color/ColorHVC.htm> [2009, August 7]
- Alais, C. and Linden, G. 1991. Food Biochemistry. New York: Ellis Horwood.
- Alam, F., Siddiqui, A., Luffi, Z. and Hasnain, A. 2009. Effect of different hydrocolloids on gelatinization behaviour of hard wheat flour. Trakia Journal of Sciences 7 (1): 1-6.
- Angioloni, A. and Collar, C. 2009. Gel dough and fibre enriched fresh breads: relationships between quality features and staling kinetics. Journal of Food Engineering 91 (4): 526-532.

- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis, 17th ed. Washington, D. C.: The Association of Analytical Chemists.
- Armero, E. and Collar, C. 1998. Crumb firming kinetics of wheat breads with anti-staling additives. Journal of Cereal Science 28 (2): 165-174.
- Asghar, A., Anjum, F. M. and Hussain, S. 2005. Effect of carboxymethyl cellulose and gum arabic on the stability of frozen dough for bakery product. Turkish Journal of Biology 29 (4): 237-241.
- Baik, M. Y. and Chinachoti, P. 2000. Moisture redistribution and phase transitions during bread staling. Cereal Chemistry 77 (4): 484-488.
- Baik, M. Y. and Chinachoti, P. 2001. Effects of glycerol and moisture gradient on thermo-mechanical properties of white bread. Journal of Agricultural and Food Chemistry 49 (8): 4031-4038.
- Baillet, E., Downey, G. and Tuohy, M. 2003. Improvement of texture and volume in white bread rolls by incorporation of microbial hemicellulase preparations. In C. M. Courtin, W. S. Veraverbeke and J. A. Delcour (eds.), Recent Advances in Enzymes in Grain Processing: Proceedings of the 3rd European Symposium on Enzymes in Grain Processing, pp. 255-259. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven.
- Bárcenas, M. E. and Rosell, C. M. 2005. Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. Food Hydrocolloids 19 (6): 1037-1043.
- Bárcenas, M. E. and Rosell, C. M. 2006. Different approaches for improving the quality and extending the shelf life of the partially baked bread: low temperatures and HPMC addition. Journal of Food Engineering 72 (1): 92-99.
- Bárcenas, M. E. and Rosell, C. M. 2007. Different approaches for increasing the shelf life of partially baked bread: low temperatures and hydrocolloid addition. Food Chemistry 100 (4): 1594-1601.
- Belitz, H. D. and Grosch, W. 1986. Food Chemistry. Berlin: Springer Verlag.
- Bell, D. A. 1990. Methylcellulose as a structure enhancer in bread baking. Cereal Foods World 35 (10): 1001-1006.
- BeMiller, J. N. and Whistler, R. L. 1996. Carbohydrates. In O. R. Fennema (ed.), Food Chemistry, 3rd edition, pp. 157-223. New York: Marcel Dekker.

- Bueso Ucles, F. J. 2003. Antistaling properties of amylases, wheat gluten and CMC on corn tortilla. Ph. D. Dissertation. Texas A&M University, College Station, TX.
- Campas-Baypoli, O. N., Rosas-Burgos, E. C., Torres-Chávez, P. I., Ramírez-Wong, B. and Serna-Saldivar, S. O. 2002. Physicochemical changes of starch in maize tortillas during storage at room and refrigeration temperatures. Starch/Stärke 54 (8): 358-363.
- Champenois, Y., Della Valle, G., Planchot, V., Buléon, A. and Colonna, P. 1999. Influence of α -amylases on bread staling and on retrogradation of wheat starch models. Sciences des Aliments 19 (3-4): 471-486.
- Chen, P. L., Long, Z., Ruan, R. and Labuza, T. P. 1997. Nuclear magnetic resonance studies of water mobility in bread during storage. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 30 (2): 178-183.
- Civille, G. V. and Szczesniak, S. 1973. Guidelines to training a texture profile panel. Journal of Texture Studies 4 (2): 204-223.
- Collar, C., Andreu, P., Martínez, J. C. and Armero, E. 1999. Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study. Food Hydrocolloids 13 (6): 467-475.
- Davidou, S., Le Meste, M., Debever, E. and Bekaert, D. 1996. A contribution to the study of staling of white bread: effect of water and hydrocolloid. Food Hydrocolloids 10 (4): 375-383.
- Del Nobile, M. A., Martoriello, T., Mocci, G. and La Notte, E. 2003. Modeling of starch retrogradation kinetic of durum wheat bread. Journal of Food Engineering 59 (2-3): 123-128.
- Dow Chemical Company. 2009. Typical chemical structures of METHOCEL™ products. [Online]. Available from: <http://www.dow.com/methocel/food/resource/chem.html> [2009, August 7]
- Dziezak, J. D. 1991. A focus on gums. Food Technology 45 (3): 115-132.
- Eliasson, A. C. and Gudmundsson, M. 2006. Starch: physicochemical and functional aspects. In A. C. Eliasson (ed.), Carbohydrates in Food, 2nd ed., pp. 391-470. Boca Raton: CRC Press.

- Every, D., Simmons, L., Sutton, K. H. and Ross, M. 1999. Studies on the mechanism of the ascorbic acid improver effect on bread using flour fractionation and reconstitution methods. Journal of Cereal Science 30 (2): 147–158.
- Friend, C. P., Waniska, R. D. and Rooney, L. W. 1993. Effects of hydrocolloids on processing and qualities of wheat tortillas. Cereal Chemistry 70 (3): 252-256.
- Gavilighi, H. A., Azizi, M. H., Barzegar, M. and Ameri, M. A. 2006. Effect of selected hydrocolloids on bread staling as evaluated by DSC and XRD. Journal of Food Technology 4 (3): 185-188.
- Ghiasi, K., Hosney, R. C., Zeleznak, K. and Rogers, D. E. 1984. Effect of waxy barley starch and reheating on firmness of bread crumb. Cereal Chemistry 61 (4): 281-285.
- Gray, J. A. and BeMiller, J. N. 2003. Bread staling: molecular basis and control. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 2 (1): 1-21.
- Guarda, A., Rosell, C. M., Benedito, C. and Galotto, M. J. 2004. Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. Food Hydrocolloids 18 (2): 241-247.
- Hallberg, L. M. and Chinachoti, P. 2002. A fresh perspective on staling: the significance of starch recrystallization on the firming of bread. Journal of Food Science. 67 (3): 1092-1096.
- Handprint Media. 2001. Color wheels [Online]. Available from: <http://www.handprint.com/HP/WCL/color13.html> [2009, September 25]
- Huma, N. 2004. Fortification of whole wheat flour with iron for the production of unleavened flat bread (Chapattis). Ph. D. Dissertation. University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan.
- Jenkins, P. J. and Donald, A. M. 1995. The influence of amylase on starch granule structure. International Journal of Biological Macromolecules 17 (6): 315-321.
- Kaur, K. and Singh, N. 1999. Effect of acetic acid and CMC on rheological and baking properties of flour. Journal of Food Quality 22 (3): 317-327.
- Kent, N. L. 1983. Technology of Cereals, 3rd ed. Oxford: Pergamon Press.
- Kiselov, Y. 2006. Wheat starch granules [Online]. Available from: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wheat_starch_granules.JPG [2009, August 7]

- Knightly, W. H. 1996. Surfactants. In R. E. Hebeda and H. F. Zobel (eds.), Baked Goods Freshness, pp. 65-103. New York: Marcel Dekker.
- Krog, N., Olesen, S. K., Toernase, H. and Joensson, T. 1989. Retrogradation of the starch fraction in wheat bread. Cereal Foods World 34 (3): 281-283.
- Lai, H. M. and Lin, T. C. 2006. Bakery products: science and technology. In Y. H. Hui, H. Corke, De Leyn, I., Nip, W. K. and N. Cross (eds.), Bakery Products: Science and Technology, pp. 3-68. Ames: Blackwell Publishing.
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N. and Biliaderis, C. G. 2007. Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. Journal of Food Engineering 79 (3): 1033-1047.
- Leighliter, G. and Trinklein, B. 2007. Evaluating plastics color: a combination of art and science [Online]. Available from: http://www.ides.com/articles/design/evaluating_color.asp [2009, September 29]
- Levine, H. and Slade, L. 1990. Influences of the glassy and rubbery states on the thermal, mechanical, and structural properties of doughs and baked products. In H. Faridi and J. M. Faubion (eds.), Dough Rheology and Baked Product Texture, pp. 157-330. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Lodi, A. and Vodovotz, Y. 2008. Physical properties and water state changes during storage in soy bread with and without almond. Food Chemistry 110 (3): 554-561.
- Longton, J. and LeGrys, G. A. 1981. Differential scanning calorimetry studies on the crystallinity of ageing wheat starch gels. Starch/Stärke 33 (12): 410-414.
- Lorenz, K. and Maga, J. 1972. Staling of white bread: changes in carbonyl composition and GLC headspace profiles. Journal of Agricultural and Food Chemistry 20 (2): 211-213.
- Maforimbo, E., Skurray, G., Uthayakumaran, S. and Wrigley, C. 2008. Incorporation of soy proteins into the wheat-gluten matrix during dough mixing. Journal of Cereal Sciences 47 (2): 380-385.
- Manners, D. J. 1989. Carbohydrate polymers [Online]. Available from: <http://www.jic.ac.uk/STAFF/cliff-hedley/cluster.gif> [2009, September 28].

- Marsh, R. D. L. and Blanshard, J. M. V. 1988. The application of polymer crystal growth theory to the kinetics of formation of the β -amylose polymorph in a 50% wheat starch gel. Carbohydrate Polymers 9 (4): 301-317.
- Morgan, K. R., Hutt, L., Gerrard, J., Every, D., Ross, M. and Gilpin, M. 1997. Staling in starch breads: the effect of antistaling α -amylase. Starch/Stärke 49 (2): 54-59.
- Munzing, K. and Brack, G. 1991. DSC-studies of flour confectionery. Thermochimica Acta 187 (1): 167-173.
- Nishita, K. D., Roberts, R. I., Bean, M. M. and Kenedy, B. M. 1976. Development of a yeast-leavened rice bread formula. Cereal Chemistry 53 (5): 626-635.
- OSU Food Resource. 2009. Starch [Online]. Available from: <http://food.oregonstate.edu/learn/starch.html> [2009, September 15]
- Pence, J. W. and Standridge, N. N. 1955. Effect of storage temperature and freezing on the firming of a commercial bread. Cereal Chemistry 32: 519-526.
- Pylar, E. J. 1973. Baking Science and Technology. Chicago: Siebel Publishing.
- Rasmussen, P. T. and Hansen, A. 2001. Staling of wheat bread stored in modified atmosphere. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 34 (7): 487-491.
- Ribotta, P. D. and Le Bail, A. 2007. Thermo-physical assessment of bread during staling. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie 40 (5): 879-884.
- Rogers, D. E. and Hosney, R. C. 1983. Breadmaking properties of DATEM. Bakers Digest 57 (5): 12-14.
- Roongthongsri, S. 2008. Effects of soymilk residue (okara) or soy flour on staling and keeping quality of bread. M. Sc. Thesis. Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.
- Rosell, C. M., Rojas, J. A. and Benedito de Barber, C. 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. Food Hydrocolloids 15 (1): 75-81.
- Rosell, C. M. and Foegeding, A. 2007. Interaction of hydroxypropylmethylcellulose with gluten proteins: small deformation properties during thermal treatment. Food Hydrocolloids 21 (7): 1092-1100.
- Rosenthal, A. J. 1999. Relation between instrumental and sensory measures of food texture. In A. J. Rosenthal (ed.), Food Texture: Measurement and Perception, pp. 1-17. Gaithersburg: Aspen Publishers.

- Roulet, P., MacInnes, W. M., Wursch, P., Sanchez, R. M. and Raemy, A. 1988. A comparative study of the retrogradation kinetics of gelatinized wheat starch in gel and powder form using X-rays, differential scanning calorimetry and dynamic mechanical analysis. Food Hydrocolloids 2 (5): 381-396.
- Russell, P. 1985. Shelf-life and staling. In J. Brown (ed.), The Master Baker's Book of Breadmaking, 2nd ed., pp. 431-440. Rickmansworth: Turret Wheatland.
- Schiraldi, A. and Fessas, D. 2001. Mechanism of staling: an overview. In P. Chinachoti and Y. Vodovotz (eds.), Bread Staling, pp. 1-17. New York: CRC Press.
- Selomulyo, V. O. and Zhou, W. 2007. Frozen bread dough: effects of freezing storage and dough improvers. Journal of Cereal Science 45 (1): 1-17.
- Setser, C. S. 1996. Sensory methods. In R. E. Hebeda and H. F. Zobel (eds.), Baked Goods Freshness, pp. 171-187. New York: Marcel Dekker.
- Shalini, K. G. and Laxmi, A. 2007. Influence of additives on rheological characteristics of whole-wheat dough and quality of chapatti (Indian unleavened flat bread). Part I- hydrocolloids. Food Hydrocolloids 21 (1): 110-117.
- Shaikh, I. M., Ghodke, S. K. and Anathanarayan, L. 2007. Staling of chapatti (Indian unleavened flat bread). Food Chemistry 101 (1): 113-119.
- Sharadanant, R. and Khan, K. 2003. Effect of hydrophilic gums on the quality of frozen dough: II bread characteristics. Cereal Chemistry 80 (6): 773-780.
- Sidhu, J. S., Al-Saqer, J. and Al-Zenki, J. M. 1997. Comparison of methods for the assessment of the extent of staling in bread. Food Chemistry 58 (1-2): 161-167.
- Slade, L. and Levine, H. 1987. Recent advances in starch retrogradation. In S. S. Stivala, V. Crescenzi and I. C. M. Dea (eds.), Industrial Polysaccharides: The Impact of Biotechnology and Advanced Methodologies, pp. 387-430. New York: Gordon and Breach.
- Slade, L. and Levine, H. 1991. Beyond water activity: recent advances based on an alternative approach to assessment of food quality and safety. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 30 (2-3): 115-360.
- Soupe, J. and Naeye, T. J. B. 1999. Biscuit doughs and biscuit products and methods of producing same. US Patent No. 5942262.

- Stable Micro Systems. 1996. Texture profile analysis [Online]. Available from: [http://bmeweb.niu.edu.tw/pcwu/BM/BM-III\(TPA\).ppt#368,1,Texture](http://bmeweb.niu.edu.tw/pcwu/BM/BM-III(TPA).ppt#368,1,Texture) Profile Analysis A closer look at this popular way of characterising the structure of foods [2009, September 15]
- Stephen, A. M. 1995. Food Polysaccharides and Their Application, pp.129-130. New York: Marcel Dekker.
- Tavakolipour, H. and Kalbasi-Ashtari, A. 2006. Influence of gums on dough properties and flat bread quality of two Persian wheat varieties. Journal of Food Process Engineering 30 (1): 74-87.
- Tian, Y. Q., Li, Y., Jin, Z. Y., Xu, X. M., Wang, J. P., Jiao, A. Q., Yu, B. and Talba, T. 2009. β -Cyclodextrin (β -CD): a new approach in bread staling. Thermochemica Acta 489 (1-2): 22-26.
- USDA. 2008. USDA national nutrient database for standard reference [Online]. Available from: http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl [2009, August 7]
- Vittadini, E. and Vodovotz, Y. 2003. Changes in the physicochemical properties of wheat- and soy-containing breads during storage as studied by thermal analyses. Journal of Food Science 68 (6): 2022-2027.
- Vodovotz, Y., Hallberg, L. and Chinachoti, P. 1996. Effect of aging and drying on thermomechanical properties of white bread as characterized by dynamic mechanical analysis (DMA) and differential scanning calorimetry (DSC). Cereal Chemistry 73 (2): 264-270.
- Waliszewski, K. N., Pardo, V. and Carreon, E. 2002. Physicochemical and sensory properties of corn tortillas made from nixtamalized corn flour fortified with spent soymilk residue (okara). Journal of Food Science 67 (8): 3194-3197.
- Watson, K. S. and Boyle, P. J. 1996. The consumers perception. In R. E., Hebeda and H. F. Zobel (eds.), Baked Goods Freshness, pp. 257-266. New York: Marcel Dekker.
- Zhou, Y., Wang, D., Zhang, L., Du, X. and Zhou, X. 2008. Effect of polysaccharides on gelatinization and retrogradation of wheat starch. Food Hydrocolloids 22 (4): 505-512.

Zobel, H. F. and Kulp, K. 1996. The staling mechanism. In R. E. Hebeda and H. F. Zobel (eds.), Baked Goods Freshness, pp. 1-68. New York: Marcel Dekker.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

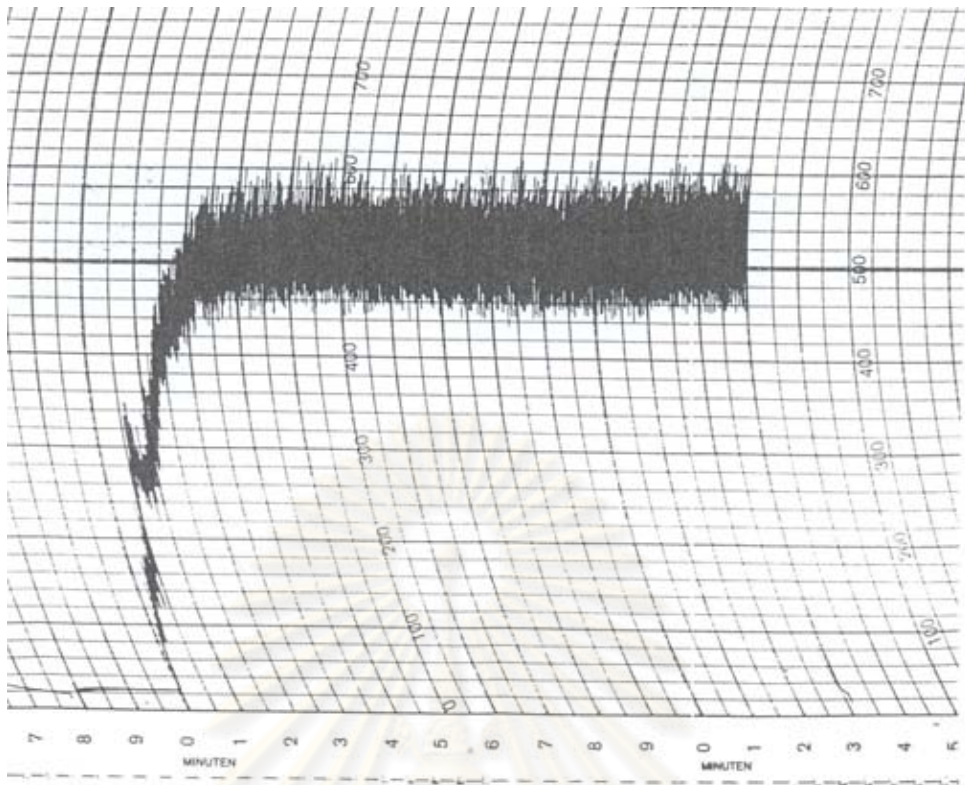
ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสูตรขนมปังด้วย farinograph ตามวิธี 54-21 (AACC, 2000)

อุปกรณ์

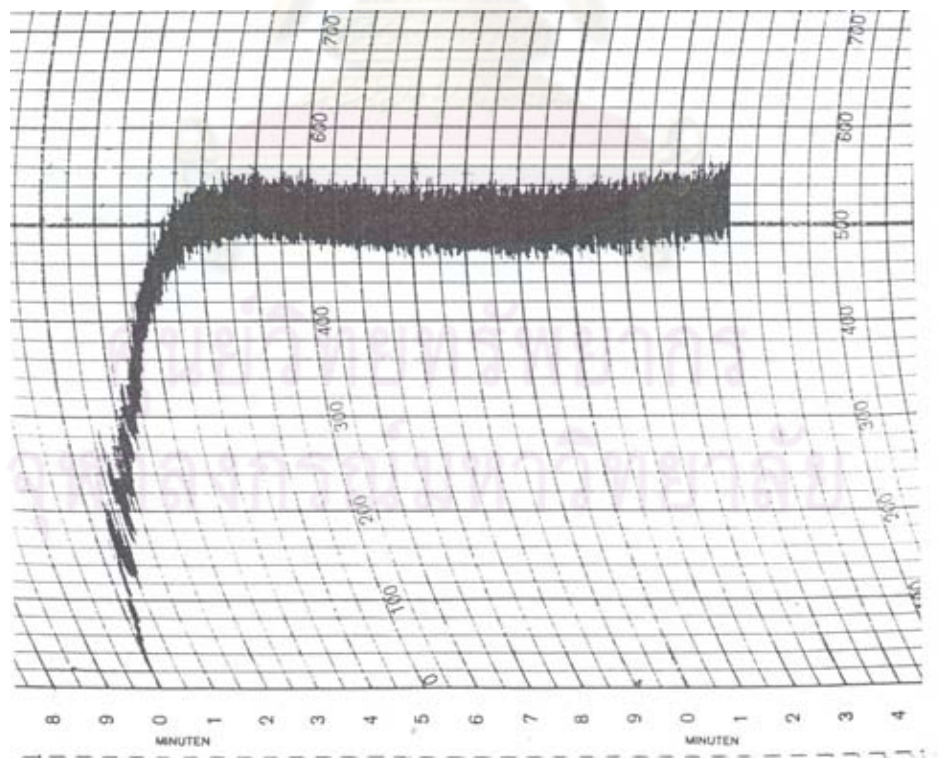
Farinograph (Brabender GmbH&Co.KG, Duisburg, Germany) with 300 g mixing bowl

วิธีวิเคราะห์

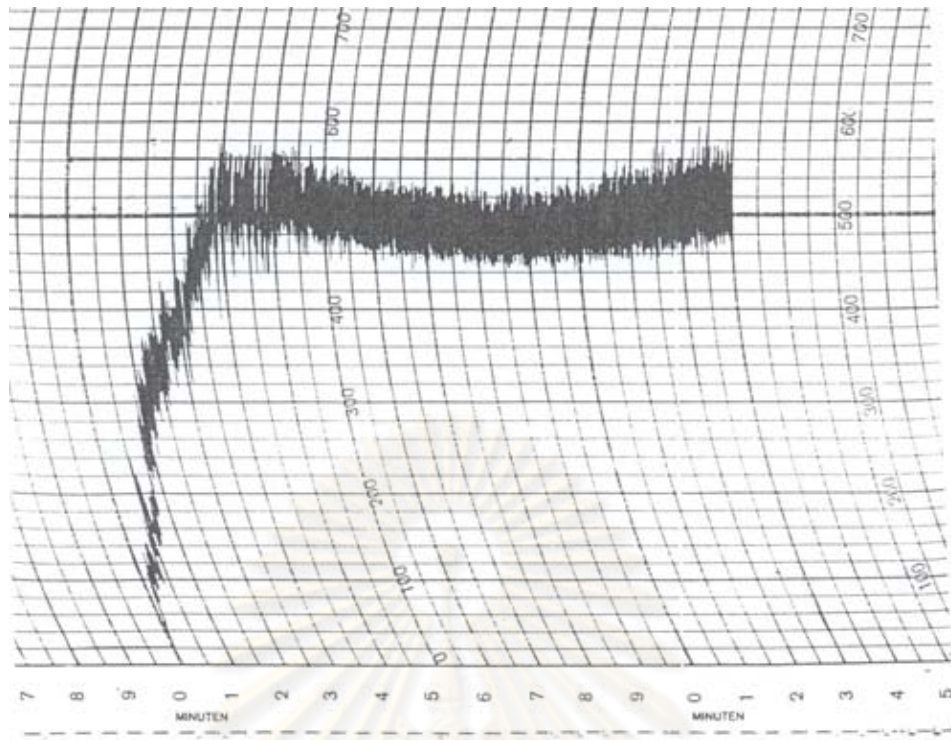
1. เปิดปั้มน้ำ (circulating pump) และเทอร์โมสแตท
2. เติมน้ำลงในบิวเรตให้ขีดสูงสุดอ่านได้ระดับศูนย์
3. ชั่งแป้ง 300 g บรรจุลงในอ่างผสม
4. ตั้งเข็มบันทึกให้อยู่ที่ตำแหน่งเลข 9 บนกระดาษกราฟ
5. เปิดเครื่องให้ใบผสม (mixer blade) ทำงาน เมื่อเข็มบนกราฟเคลื่อนมาถึงตำแหน่งเลข 0 ใช้น้ำจากบิวเรตลงสู่อ่างผสม โดยเติมน้ำลงไปปริมาณที่ใกล้เคียงกับความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งตามที่คาดคะเนไว้ ใช้ scraper ปาดแป้งที่ติดอยู่ข้างอ่างผสมลงไป
6. ปิดอ่างผสมด้วยฝาแก้ว (glass plate) เครื่องจะวัดแรงต้าน (resistance) ของโดที่มีต่อใบผสม และบันทึกออกมาในรูปกราฟ (farinogram) (รูปที่ ก.1.1-ก.1.3)
7. สังเกตลักษณะของกราฟ
 - 7.1 หากตำแหน่งกึ่งกลางของความกว้างของกราฟ ณ จุดที่โตมีการพัฒนาเต็มที่ (maximum dough development) อยู่ที่เส้น 500 BU แสดงว่าปริมาณน้ำที่เติมลงไปเท่ากับความสามารถในการดูดซับน้ำ (water absorption) ที่แท้จริงของแป้ง
 - 7.2 หากตำแหน่งกึ่งกลางของความกว้างของกราฟอยู่สูงกว่าเส้น 500 BU แสดงว่าปริมาณน้ำที่เติมลงไปน้อยกว่าความสามารถในการดูดซับน้ำที่แท้จริงของแป้ง
 - 7.3 หากตำแหน่งกึ่งกลางของความกว้างของกราฟอยู่ต่ำกว่าเส้น 500 BU แสดงว่าปริมาณน้ำที่เติมลงไปมากกว่าความสามารถในการดูดซับน้ำที่แท้จริงของแป้ง
8. หากปริมาณน้ำที่เติมน้อยหรือมากเกินไป ต้องปรับปริมาณน้ำต่อไปจนกว่าจะได้ปริมาณน้ำที่ให้ค่าความคงตัวของโดเท่ากับ 500 BU การปรับปริมาณน้ำสามารถประมาณได้จากกราฟกล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟ 20 BU จะเทียบเท่ากับการดูดซับน้ำประมาณ 0.5%
9. เมื่อได้ปริมาณน้ำที่ถูกต้องแล้ว ประเมินค่าการดูดซับน้ำของแป้ง



รูปที่ ก.1.1 farinogram ของโดสูตรควบคุม



รูปที่ ก.1.2 farinogram ของโดที่เติม HPMC 1.5%



รูปที่ ก.1.3 farinogram ของโดที่เติม CMC 1.5%

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

Laboratory hot air oven, Model 600 (Mettler, Schwabach, Germany)

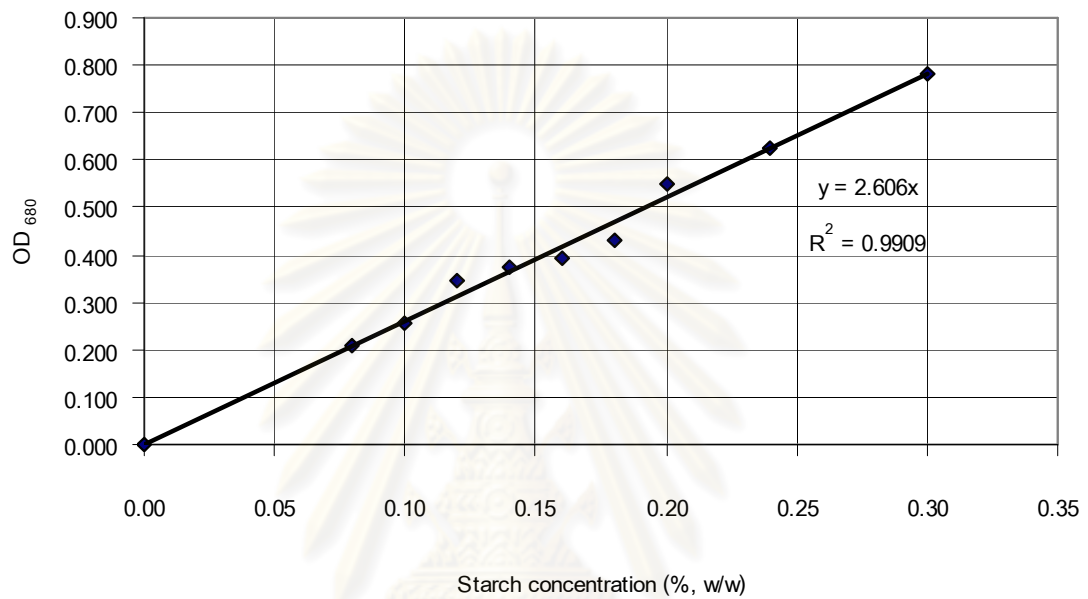
วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 5 g ให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน บรรจุลงในภาชนะอลูมิเนียมที่อบแห้งและทราบน้ำหนักแล้ว
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 ± 2 °C จนน้ำหนักคงที่
3. นำตัวอย่างที่อบแห้งแล้วใส่ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณปริมาณความชื้นในรูปแบบน้ำหนักแห้ง

ภาคผนวก ข

กราฟและแบบประเมินทางประสาทสัมผัส

ข.1 กราฟเทียบมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้



รูปที่ ข.1.1 กราฟเทียบมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.2 แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา

แบบประเมินคุณภาพของขนมปังขาว

ตัวอย่าง.....

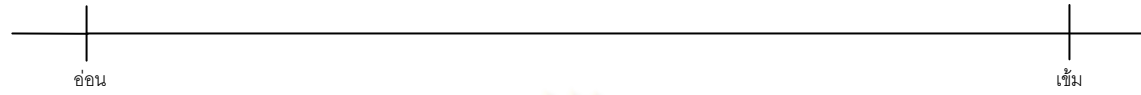
ชื่อ..... วันที่.....

คำชี้แจง 1.กลั้วปากด้วยน้ำที่จัดเตรียมไว้ให้ก่อนชิมแต่ละตัวอย่าง

2.ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านต่างๆ ตามที่ระบุด้านล่าง ชี้ดเส้นขวาง (|) ลงบนเส้นสเกล ณ ตำแหน่งที่แสดงระดับที่ท่านรู้สึก

1. สีเปลือกนอกของขนมปัง

สีน้ำตาล



2. สีเนื้อในของขนมปัง

สีขาว

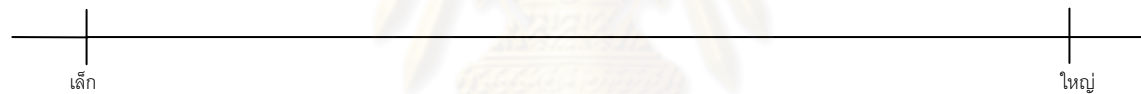


3. ความเป็นรูพรุน

ความสม่ำเสมอของรูพรุน

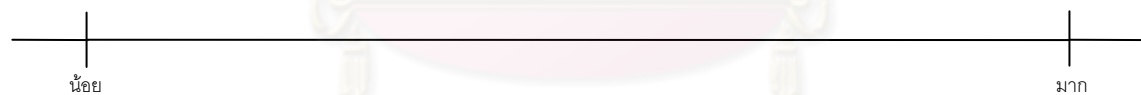


ขนาดของรูพรุน



4. เนื้อสัมผัส

ความแข็ง (hardness)



การเกาะตัวกันของเนื้อขนมปัง (cohesiveness)

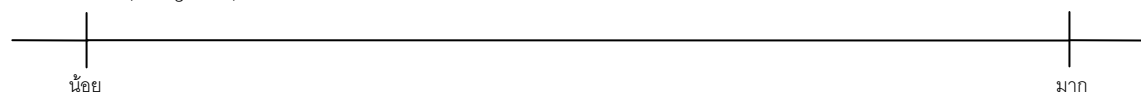


ความยืดหยุ่น (springiness)



5. กลิ่นรส

กลิ่นรสไม่สด (staling flavor)



หมายเหตุ.....

ข.3 แบบประเมินคุณภาพทางประสาทด้านความชอบ

แบบประเมินคุณภาพของขนมปังขาว

ตัวอย่าง..... ชื่อ..... วันที่.....

คำชี้แจง ระบุระดับความชอบหรือไม่ชอบโดยใส่เครื่องหมาย ✓ หน้าข้อความที่ตรงกับระดับความชอบของท่าน

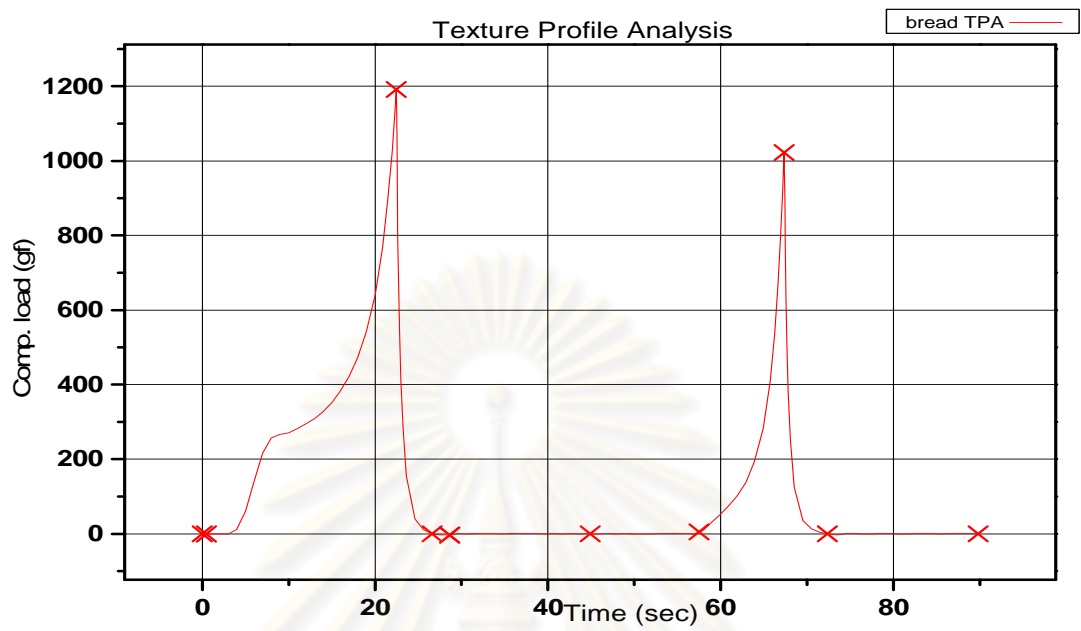
สีเปลือกนอกของขนมปัง	สีเนื้อในของขนมปัง	เนื้อสัมผัส
<input type="checkbox"/> ชอบมากที่สุด	<input type="checkbox"/> ชอบมากที่สุด	<input type="checkbox"/> ชอบมากที่สุด
<input type="checkbox"/> ชอบมาก	<input type="checkbox"/> ชอบมาก	<input type="checkbox"/> ชอบมาก
<input type="checkbox"/> ชอบปานกลาง	<input type="checkbox"/> ชอบปานกลาง	<input type="checkbox"/> ชอบปานกลาง
<input type="checkbox"/> ชอบเล็กน้อย	<input type="checkbox"/> ชอบเล็กน้อย	<input type="checkbox"/> ชอบเล็กน้อย
<input type="checkbox"/> เฉยๆ	<input type="checkbox"/> เฉยๆ	<input type="checkbox"/> เฉยๆ
<input type="checkbox"/> ไม่ชอบเล็กน้อย	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบเล็กน้อย	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบเล็กน้อย
<input type="checkbox"/> ไม่ชอบปานกลาง	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบปานกลาง	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบปานกลาง
<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมาก	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมาก	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมาก
<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมากที่สุด	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมากที่สุด	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมากที่สุด

กลิ่นรส	รสชาติ	ความชอบโดยรวม
<input type="checkbox"/> ชอบมากที่สุด	<input type="checkbox"/> ชอบมากที่สุด	<input type="checkbox"/> ชอบมากที่สุด
<input type="checkbox"/> ชอบมาก	<input type="checkbox"/> ชอบมาก	<input type="checkbox"/> ชอบมาก
<input type="checkbox"/> ชอบปานกลาง	<input type="checkbox"/> ชอบปานกลาง	<input type="checkbox"/> ชอบปานกลาง
<input type="checkbox"/> ชอบเล็กน้อย	<input type="checkbox"/> ชอบเล็กน้อย	<input type="checkbox"/> ชอบเล็กน้อย
<input type="checkbox"/> เฉยๆ	<input type="checkbox"/> เฉยๆ	<input type="checkbox"/> เฉยๆ
<input type="checkbox"/> ไม่ชอบเล็กน้อย	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบเล็กน้อย	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบเล็กน้อย
<input type="checkbox"/> ไม่ชอบปานกลาง	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบปานกลาง	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบปานกลาง
<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมาก	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมาก	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมาก
<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมากที่สุด	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมากที่สุด	<input type="checkbox"/> ไม่ชอบมากที่สุด

หมายเหตุ/ข้อเสนอแนะ

.....

ข.4 กราฟ TPA



รูปที่ ข.4.1 กราฟ TPA ของขนมปัง

ภาคผนวก ค

ตารางข้อมูล

ค.1 ปริมาณความชื้น

ตารางที่ ค.1.1 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	75.61± 2.35 ^c	74.19± 2.37 ^b	73.72± 2.38 ^c	71.10± 3.64 ^c
HPMC 0.5	76.44± 0.58 ^c	75.39± 0.32 ^b	74.15± 1.77 ^{bc}	72.80± 1.08 ^{bc}
HPMC 1.0	80.07± 1.37 ^a	79.22± 0.77 ^a	78.72± 0.53 ^a	76.22± 2.17 ^{ab}
HPMC 1.5	80.04± 0.38 ^a	79.67± 0.34 ^a	78.76± 0.60 ^a	78.53± 0.84 ^a
CMC 0.5	77.04± 1.21 ^{bc}	75.40± 2.62 ^b	74.14± 2.94 ^{bc}	73.08± 3.01 ^{bc}
CMC 1.0	79.15± 2.07 ^{ab}	78.58± 1.79 ^a	77.39± 1.63 ^{ab}	76.22± 3.15 ^{ab}
CMC 1.5	80.39± 0.86 ^a	79.30± 1.88 ^a	78.47± 2.23 ^a	77.68± 3.25 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.1.2 ปริมาณความชื้น (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	75.61± 2.35 ^c	71.82± 1.53 ^c	70.43± 2.72 ^c	67.17± 1.47 ^d
HPMC 0.5	76.44± 0.58 ^c	74.12± 0.71 ^{bc}	71.55± 0.56 ^c	69.35± 0.93 ^{bcd}
HPMC 1.0	80.07± 1.37 ^a	75.86± 0.58 ^{ab}	74.63± 2.05 ^{abc}	71.85± 2.30 ^{ab}
HPMC 1.5	80.04± 0.38 ^a	78.85± 1.86 ^a	77.19± 1.71 ^a	73.54± 0.30 ^a
CMC 0.5	77.04± 1.21 ^{bc}	73.73± 3.58 ^{bc}	71.43± 1.55 ^c	68.09± 3.06 ^{cd}
CMC 1.0	79.15± 2.07 ^{ab}	75.76± 1.20 ^{ab}	71.74± 1.88 ^{bc}	70.98± 1.49 ^{abc}
CMC 1.5	80.39± 0.86 ^a	78.63± 1.63 ^a	75.77± 3.64 ^{ab}	71.59± 1.54 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค.2 ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้

ตารางที่ ค.2.1 ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
Control	32.35± 1.16 ^b	29.98± 0.18 ^b	27.27± 0.75 ^c	20.95± 0.68 ^d	19.25± 0.24 ^d	18.32± 0.56 ^c
HPMC 0.5	34.40± 0.71 ^b	32.63± 0.08 ^{ab}	28.63± 0.83 ^{bc}	26.85± 0.24 ^{bc}	26.89± 0.30 ^{ab}	25.63± 0.18 ^a
HPMC 1.0	35.85± 1.90 ^{ab}	32.85± 0.01 ^{ab}	31.55± 0.08 ^{ab}	28.55± 0.33 ^b	26.48± 0.28 ^{ab}	25.58± 0.95 ^a
HPMC 1.5	39.67± 2.43 ^a	36.76± 1.15 ^a	32.23± 0.78 ^a	31.06± 0.10 ^a	29.30± 1.82 ^a	27.03± 0.63 ^a
CMC 0.5	33.33± 0.84 ^b	30.37± 0.25 ^b	29.19± 1.69 ^{abc}	26.55± 0.78 ^c	23.50± 2.21 ^c	18.85± 3.46 ^c
CMC 1.0	32.63± 1.15 ^b	31.44± 0.44 ^{ab}	28.59± 0.41 ^{bc}	26.95± 0.70 ^{bc}	24.67± 0.36 ^{bc}	19.95± 2.49 ^{bc}
CMC 1.5	39.64± 2.57 ^a	34.35± 5.54 ^{ab}	31.96± 2.50 ^a	30.62± 1.33 ^a	28.43± 0.84 ^a	23.36± 0.08 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.2.2 ปริมาณน้ำที่แช่แข็งได้ (% โดยน้ำหนักแห้ง) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5 ^{ns}	วันที่ 7
Control	32.35± 1.16 ^b	27.77± 0.42 ^d	24.50±1.02 ^c	20.54±2.34 ^c	19.09±0.38	17.48±1.69 ^d
HPMC 0.5	34.40±0.71 ^b	27.67± 0.25 ^d	26.65±0.62 ^{bc}	26.74±0.08 ^{ab}	25.24±0.45	18.11±1.35 ^{cd}
HPMC 1.0	35.85±1.90 ^{ab}	32.25±0.71 ^{ab}	28.88±2.15 ^{ab}	27.52±0.58 ^{ab}	25.80±1.51	24.67±1.09 ^a
HPMC 1.5	39.67± 2.43 ^a	34.58± 1.53 ^a	31.25±1.04 ^a	28.82± 0.02 ^a	24.67±0.39	24.04±0.61 ^{ab}
CMC 0.5	33.33±0.84 ^b	29.12±1.16 ^{cd}	26.90±1.10 ^{bc}	25.39±0.08 ^b	21.84±4.03	17.87±1.91 ^{cd}
CMC 1.0	32.63±1.15 ^b	31.24±0.28 ^{bc}	28.09±1.79 ^{ab}	26.22±2.28 ^{ab}	22.58±6.29	19.55±1.88 ^{cd}
CMC 1.5	39.64± 2.57 ^a	33.29±2.02 ^{ab}	30.56±1.05 ^a	29.44±0.93 ^a	21.94±0.99	21.02±0.35 ^{bc}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ค.3 การเกิดเป็นผลึกใหม่ของอมิโลเพกทิน

ตารางที่ ค.3.1 เอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอมิโลเพกทิน (J/g) ในขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
Control	0.06± 0.01 ^a	0.38± 0.02 ^a	0.49± 0.08 ^a	0.51± 0.08 ^a	0.61±0.06 ^a	0.68±0.02 ^a
HPMC 0.5	0.04±0.01 ^{abc}	0.20± 0.03 ^c	0.32±0.10 ^{ab}	0.39±0.02 ^{bcd}	0.40±0.02 ^{cd}	0.44±0.01 ^{cd}
HPMC 1.0	0.02± 0.01 ^c	0.14± 0.01 ^c	0.28± 0.10 ^b	0.30±0.01 ^d	0.36±0.05 ^d	0.41±0.11 ^d
HPMC 1.5	0.02± 0.01 ^c	0.19± 0.02 ^c	0.31± 0.10 ^b	0.34± 0.02 ^{cd}	0.36±0.02 ^d	0.41±0.02 ^d
CMC 0.5	0.05±0.01 ^{ab}	0.29± 0.01 ^b	0.39±0.03 ^{ab}	0.44±0.03 ^{ab}	0.55±0.04 ^{ab}	0.60±0.01 ^{ab}
CMC 1.0	0.03±0.01 ^{bc}	0.20± 0.03 ^c	0.30±0.01 ^b	0.42±0.01 ^{abc}	0.48±0.06 ^{bc}	0.56±0.04 ^{bc}
CMC 1.5	0.02± 0.01 ^c	0.17± 0.04 ^c	0.27± 0.04 ^b	0.37±0.01 ^{bcd}	0.41±0.01 ^{cd}	0.48±0.02 ^{cd}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.3.2 เอนทาลปีที่ใช้ในการหลอมละลายผลึกอมิโลเพกทิน (J/g) ในขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5	วันที่ 7
Control	0.06± 0.01 ^a	0.62± 0.04 ^a	0.70± 0.01 ^a	0.81± 0.04 ^a	0.90±0.04 ^a	1.44±0.05 ^a
HPMC 0.5	0.04±0.01 ^{abc}	0.27±0.03 ^{cde}	0.53±0.06 ^{bc}	0.63±0.03 ^{bc}	0.68±0.08 ^b	0.84±0.05 ^c
HPMC 1.0	0.02± 0.01 ^c	0.21± 0.06 ^e	0.47± 0.05 ^{bc}	0.61±0.03 ^{bc}	0.65±0.05 ^b	0.74±0.02 ^d
HPMC 1.5	0.02± 0.01 ^c	0.26± 0.04 ^{de}	0.44± 0.04 ^c	0.56± 0.04 ^{bc}	0.67±0.04 ^b	0.77±0.02 ^{cd}
CMC 0.5	0.05±0.01 ^{ab}	0.40± 0.02 ^b	0.56±0.05 ^b	0.66±0.04 ^b	0.81±0.04 ^a	1.34±0.04 ^b
CMC 1.0	0.03±0.01 ^{bc}	0.36± 0.03 ^{bc}	0.50±0.04 ^{bc}	0.54±0.06 ^c	0.69±0.02 ^b	0.76±0.04 ^{cd}
CMC 1.5	0.02± 0.01 ^c	0.32±0.04 ^{bcd}	0.48± 0.05 ^{bc}	0.53±0.06 ^c	0.58±0.05 ^b	0.64±0.01 ^e

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค.4 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้

ตารางที่ ค.4.1 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ (% โดยน้ำหนัก) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5 ^{ns}	วันที่ 7
Control	0.28± 0.01 ^a	0.15± 0.01 ^c	0.15± 0.01 ^b	0.09± 0.01 ^b	0.07±0.01	0.04±0.02 ^b
HPMC 0.5	0.17± 0.02 ^c	0.15± 0.03 ^c	0.15±0.01 ^b	0.09±0.01 ^b	0.10±0.05	0.06±0.01 ^a
HPMC 1.0	0.19± 0.04 ^{bc}	0.17± 0.01 ^c	0.15± 0.08 ^b	0.15±0.02 ^{ab}	0.11±0.03	0.08±0.01 ^a
HPMC 1.5	0.18± 0.01 ^c	0.18± 0.03 ^c	0.13± 0.01 ^b	0.10± 0.01 ^b	0.10±0.02	0.07±0.01 ^a
CMC 0.5	0.26±0.09 ^{ab}	0.23± 0.01 ^b	0.16±0.01 ^b	0.14±0.01 ^{ab}	0.10±0.01	0.07±0.01 ^a
CMC 1.0	0.25±0.01 ^{ab}	0.24± 0.01 ^b	0.23±0.01 ^a	0.16±0.01 ^a	0.11±0.02	0.07±0.01 ^a
CMC 1.5	0.30± 0.02 ^a	0.28± 0.01 ^a	0.28± 0.01 ^a	0.16±0.07 ^a	0.10±0.02	0.08±0.01 ^a

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.4.2 ปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ (% โดยน้ำหนัก) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 5 ^{ns}	วันที่ 7 ^{ns}
Control	0.28± 0.01 ^a	0.12± 0.02 ^{ab}	0.11± 0.01 ^{ab}	0.07± 0.04 ^c	0.07±0.01	0.04±0.01
HPMC 0.5	0.17± 0.02 ^c	0.13± 0.02 ^{ab}	0.12±0.01 ^{ab}	0.09±0.01 ^{bc}	0.08±0.01	0.04±0.02
HPMC 1.0	0.19± 0.04 ^{bc}	0.13± 0.03 ^{ab}	0.11± 0.03 ^{ab}	0.12±0.03 ^{ab}	0.07±0.32	0.06±0.01
HPMC 1.5	0.18± 0.01 ^c	0.11± 0.05 ^b	0.09± 0.01 ^b	0.08± 0.01 ^{bc}	0.09±0.01	0.06±0.03
CMC 0.5	0.26±0.09 ^{ab}	0.16± 0.02 ^{ab}	0.12±0.04 ^{ab}	0.11±0.02 ^{abc}	0.07±0.04	0.05±0.03
CMC 1.0	0.25±0.01 ^{ab}	0.16± 0.01 ^{ab}	0.14±0.02 ^a	0.13±0.01 ^a	0.09±0.02	0.04±0.01
CMC 1.5	0.30± 0.02 ^a	0.16± 0.01 ^a	0.13± 0.02 ^{ab}	0.09±0.02 ^{bc}	0.07±0.02	0.05±0.02

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ค.5 ปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง

ตารางที่ ค.5.1 ปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปังที่ผลิตเสร็จใหม่ๆ

ตัวอย่าง	ปริมาตรจำเพาะของก้อนขนมปัง (cm ³ /g)
Control	3.59± 0.19 ^b
HPMC 0.5	3.49± 0.36 ^b
HPMC 1.0	3.57± 0.21 ^b
HPMC 1.5	3.65± 0.14 ^b
CMC 0.5	3.91±0.34 ^{ab}
CMC 1.0	4.37±0.35 ^a
CMC 1.5	4.02± 0.33 ^{ab}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค.6 สมบัติด้านเนื้อสัมผัส

ตารางที่ ค.6.1 ความแข็ง (g force) ของเนื้อในของขนมปัง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	1729.78± 15.71 ^a	1923.05± 120.69 ^a	2111.81± 95.24 ^a	2462.86± 136.70 ^a
HPMC 0.5	1159.93± 243.85 ^{bc}	1360.65± 114.40 ^b	2075.74± 232.12 ^a	2080.49± 29.37 ^b
HPMC 1.0	973.25± 21.42 ^d	1366.01± 53.95 ^b	1536.78± 16.38 ^b	1651.13± 96.08 ^c
HPMC 1.5	1229.04± 56.71 ^b	1334.14± 58.26 ^b	1506.27± 173.90 ^b	1806.58± 105.27 ^c
CMC 0.5	1031.16± 27.21 ^{cd}	1180.04± 17.25 ^c	1260.52± 33.29 ^c	1459.41± 89.37 ^d
CMC 1.0	962.20± 7.09 ^d	1067.05± 69.93 ^c	1156.30± 5.07 ^c	1347.71± 31.55 ^d
CMC 1.5	635.22± 43.73 ^e	809.73± 98.97 ^d	1085.23± 50.85 ^c	1302.28± 89.59 ^d

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.6.2 ความแข็ง (g force) ของเนื้อในของขนมปัง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	1729.78± 15.71 ^a	2426.32± 35.89 ^a	3184.32± 37.58 ^a	3707.77± 67.33 ^a
HPMC 0.5	1159.93± 243.85 ^{bc}	2311.61± 57.31 ^a	2441.65± 124.85 ^b	3113.16± 55.15 ^b
HPMC 1.0	973.25± 21.42 ^d	1342.63± 104.16 ^{cd}	1615.91± 119.56 ^d	1754.51± 164.46 ^d
HPMC 1.5	1229.04± 56.71 ^b	1502.40± 116.98 ^b	2136.79± 200.09 ^c	2170.54± 195.04 ^c
CMC 0.5	1031.16± 27.21 ^{cd}	1370.84± 70.54 ^{bc}	1575.78± 14.39 ^d	1863.75± 44.26 ^d
CMC 1.0	962.20± 7.09 ^d	1216.09± 65.14 ^{de}	1290.70± 69.35 ^e	1484.24± 4.72 ^e
CMC 1.5	635.22± 43.73 ^e	1089.37± 81.93 ^e	1161.94± 91.52 ^e	1425.87± 16.08 ^e

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.6.3 การเกาะตัวกันของเนื้อในของขนมปัง ที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	0.46± 0.02 ^b	0.40± 0.01 ^e	0.41± 0.02 ^b	0.39± 0.01 ^{bc}
HPMC 0.5	0.49± 0.04 ^{ab}	0.42± 0.03 ^{de}	0.45± 0.02 ^b	0.38± 0.01 ^c
HPMC 1.0	0.50± 0.02 ^{ab}	0.53± 0.05 ^a	0.43± 0.01 ^b	0.39± 0.01 ^{abc}
HPMC 1.5	0.54± 0.03 ^a	0.51± 0.01 ^{ab}	0.44± 0.01 ^b	0.41± 0.02 ^{ab}
CMC 0.5	0.52± 0.04 ^{ab}	0.47± 0.03 ^{bc}	0.42± 0.04 ^b	0.39± 0.02 ^{abc}
CMC 1.0	0.50± 0.05 ^{ab}	0.48± 0.02 ^{abc}	0.42± 0.03 ^b	0.40± 0.01 ^{abc}
CMC 1.5	0.55± 0.03 ^a	0.46± 0.03 ^{cd}	0.49± 0.02 ^a	0.41± 0.01 ^a

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.6.4 การเกาะตัวกันของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	0.46± 0.02 ^b	0.33± 0.01 ^c	0.27± 0.03 ^b	0.29± 0.03 ^{bcd}
HPMC 0.5	0.49± 0.04 ^{ab}	0.34± 0.03 ^c	0.27± 0.01 ^b	0.28± 0.02 ^{cd}
HPMC 1.0	0.50± 0.02 ^{ab}	0.36± 0.03 ^{bc}	0.31± 0.05 ^{ab}	0.30± 0.01 ^{abcd}
HPMC 1.5	0.54± 0.03 ^a	0.39± 0.03 ^{ab}	0.31± 0.01 ^{ab}	0.32 ±0.02 ^{ab}
CMC 0.5	0.52± 0.04 ^{ab}	0.40± 0.03 ^a	0.32± 0.02 ^a	0.27± 0.02 ^d
CMC 1.0	0.50± 0.05 ^{ab}	0.33± 0.02 ^c	0.31± 0.01 ^{ab}	0.33± 0.01 ^a
CMC 1.5	0.55± 0.03 ^a	0.36± 0.02 ^{bc}	0.33± 0.02 ^a	0.31± 0.02 ^{abc}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.6.5 ความยืดหยุ่นของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	0.46± 0.04 ^d	0.44± 0.01 ^b	0.45± 0.06 ^{abc}	0.39± 0.04 ^c
HPMC 0.5	0.51± 0.01 ^c	0.42± 0.03 ^b	0.43± 0.02 ^{bc}	0.38± 0.01 ^c
HPMC 1.0	0.52± 0.02 ^{bc}	0.48± 0.02 ^b	0.39± 0.06 ^c	0.47± 0.02 ^a
HPMC 1.5	0.54± 0.03 ^{bc}	0.47± 0.03 ^b	0.52± 0.03 ^a	0.46± 0.05 ^{ab}
CMC 0.5	0.50± 0.04 ^{cd}	0.44± 0.03 ^b	0.48± 0.05 ^{ab}	0.40± 0.04 ^{bc}
CMC 1.0	0.56± 0.03 ^b	0.56± 0.04 ^a	0.45± 0.04 ^{abc}	0.48± 0.03 ^a
CMC 1.5	0.67± 0.01 ^a	0.58± 0.04 ^a	0.48± 0.02 ^{ab}	0.44 ±0.02 ^{abc}

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.6.6 ความยืดหยุ่นของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	0.46± 0.04 ^d	0.40± 0.02 ^{ab}	0.36± 0.01 ^{ab}	0.44± 0.04 ^a
HPMC 0.5	0.51± 0.01 ^c	0.40± 0.02 ^{ab}	0.33± 0.05 ^{bc}	0.41± 0.04 ^{ab}
HPMC 1.0	0.52± 0.02 ^{bc}	0.36± 0.04 ^b	0.40± 0.04 ^a	0.36± 0.01 ^{bc}
HPMC 1.5	0.54± 0.03 ^{bc}	0.39± 0.03 ^{ab}	0.29± 0.02 ^c	0.36± 0.04 ^{bc}
CMC 0.5	0.50± 0.04 ^{cd}	0.37± 0.05 ^b	0.34± 0.03 ^{bc}	0.36± 0.03 ^c
CMC 1.0	0.56± 0.03 ^b	0.38± 0.07 ^{ab}	0.37± 0.02 ^{ab}	0.43± 0.01 ^a
CMC 1.5	0.67± 0.01 ^a	0.46± 0.08 ^a	0.33± 0.03 ^{bc}	0.34 ±0.02 ^c

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ค.7 ขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศ

ตารางที่ ค.7.1 ขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศแสดงในรูปความยาวเส้นรอบของเซลล์อากาศ (mm) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5 ^{ns}
Control	8.36±0.18 ^a	6.17±0.09 ^a	5.69±0.24 ^a	3.59±0.33
HPMC 0.5	6.48±0.21 ^c	5.60±0.35 ^b	4.23±0.13 ^b	3.36±0.52
HPMC 1.0	6.64±0.06 ^c	5.64±0.06 ^b	4.26±0.26 ^b	3.33±0.30
HPMC 1.5	7.47±0.17 ^b	5.45±0.11 ^b	4.28±0.24 ^b	3.64±0.22
CMC 0.5	7.15±0.05 ^b	5.37±0.34 ^b	4.27±0.15 ^b	3.10±0.25
CMC 1.0	6.49±0.34 ^c	5.71±0.22 ^b	4.54±0.33 ^b	3.10±0.07
CMC 1.5	6.49±0.36 ^c	5.37±0.32 ^b	4.21±0.18 ^b	3.37±0.31

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

^{ns} ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ ค.7.2 ขนาดเฉลี่ยของเซลล์อากาศแสดงในรูปความยาวเส้นรอบของเซลล์อากาศ (mm) ของเนื้อในของขนมปังที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น

ตัวอย่าง	วันที่ 0	วันที่ 1	วันที่ 3	วันที่ 5
Control	8.36±0.18 ^a	5.37±0.28 ^a	3.57±0.13 ^{ab}	3.50±0.30 ^a
HPMC 0.5	6.48±0.21 ^c	4.37±0.26 ^b	3.88±0.11 ^a	2.71±0.22 ^{bcd}
HPMC 1.0	6.64±0.06 ^c	4.38±0.12 ^b	3.31±0.23 ^b	2.37±0.37 ^{cd}
HPMC 1.5	7.47±0.17 ^b	4.39±0.37 ^b	3.43±0.49 ^{ab}	2.44±0.10 ^{cd}
CMC 0.5	7.15±0.05 ^b	3.38±0.37 ^c	2.45±0.17 ^c	2.28±0.14 ^d
CMC 1.0	6.49±0.34 ^c	4.56±0.23 ^b	3.36±0.41 ^b	2.81±0.12 ^{bc}
CMC 1.5	6.49±0.36 ^c	4.59±0.34 ^b	3.82±0.15 ^a	2.95±0.36 ^b

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 3 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเฟื่องนภา ชันทะ เกิดเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปีการศึกษา 2549 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550

รายการสิ่งตีพิมพ์และเผยแพร่

เฟื่องนภา ชันทะ, เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ และ ธนจันทร์ มหาวนิช. 2552. คุณภาพการเก็บรักษาของขนมปังขาวที่เติมอนุพันธ์เซลลูโลส. ใน การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 (ภาคบรรยาย). วันที่ 10-11 กันยายน 2552 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร.



ศูนย์วิทยพัชการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย