

## ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสเตลิงในขนมปัง Effect of Hydrocolloids on the Bread Staling

นราธิป ปูนเกษม\*  
Naratip Poonnakasem\*

### บทนำ

สเตลิง (Staling) ของขนมปังเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมายาวนานตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การเสื่อมเสียประเภทนี้เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่หลายชนิด และทำให้เกิดความเสียหายด้านธุรกิจ เนื่องจากผู้บริโภคย่อมต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความสดใหม่ และมีคุณภาพดี โดยการเกิดสเตลิงจะสังเกตได้ชัดเจนเมื่อเก็บรักษาขนมปังไว้เป็นเวลานานขึ้น ซึ่งขนมปังจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพระหว่างการเก็บรักษา ทำให้เปลือกขนมปังเหนียวไม่กรอบ ส่วนเนื้อขนมปังร่วน และกลิ่นผิดปกติ การเสื่อมสภาพนี้ทำให้มีการสูญเสียความสด รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่อบแล้ว การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุดของสเตลิง คือ ความแน่นของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่อบแล้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในปัจจุบันจึงมีการศึกษาวิธีในการยืดอายุการเก็บรักษาขนมปังให้คงความสดใหม่ โดยพิจารณาโครงสร้างขนมปังซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานจะสามารถอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของเนื้อขนมปังในระหว่างการเก็บรักษาได้ รวมถึงการใช้ไฮโดรคอลลอยด์เป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยชะลอการเกิดสเตลิงได้ เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์มีสมบัติในการละลายน้ำ และทำให้เกิดสารละลายที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ หรือเจล จึงใช้เป็นสารเพิ่มความชื้นเหนียว สารดูดซับน้ำ หรือเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร โดยไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษาของขนมปังได้แก่ ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (เอชพีเอ็มซี) คาร์ราจีแนน แชนแทนกัม แอลจีเนต และไคโตซาน

### โครงสร้างเนื้อขนมปัง

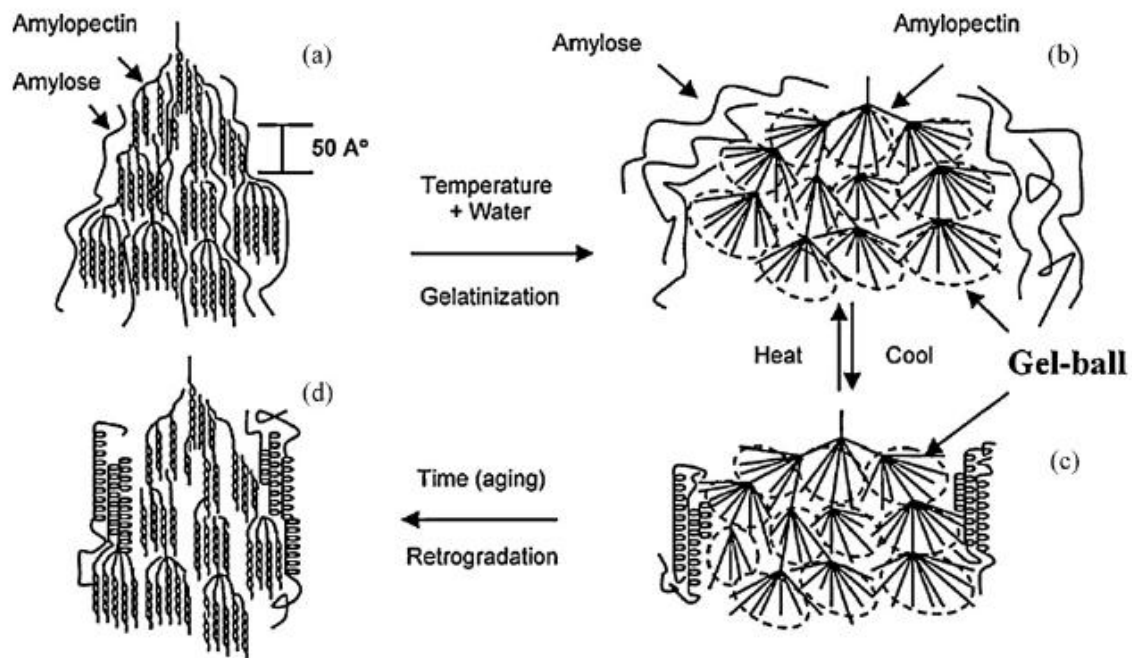
ขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ชนิดหนึ่ง ทำจากแป้งสาลี หรือแป้งสาลีผสมแป้งชนิดอื่น ยีสต์ น้ำตาล เกลือ น้ำ ไขมัน อาจมีส่วนประกอบอื่น เช่น นม น้ำผัก น้ำธัญพืช วัตถุปรุงแต่งกลิ่นรส นวดผสมให้เข้ากัน นำไปขึ้นรูป ใส่ในพิมพ์ หมักจนได้ที่ แล้วนำไปอบจนสุก อาจตกแต่งหน้าด้วยธัญพืช สมุนไพร เรียกชื่อตามลักษณะของพิมพ์ที่ใช้ เช่น ขนมปังกะหล่ำ ขนมปังแซนด์วิช [1] โดยทั่วไปขนมปังที่ดีจะต้องมีลักษณะปรากฏคือ รูปร่างและสีที่ดีตามลักษณะของขนมปัง มีกลิ่นรสที่ดีตามธรรมชาติ ปราศจากกลิ่นรสอื่นที่ไม่พึงประสงค์ และคุณภาพด้านสำคัญคือด้านลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อขนมปัง (bread crumb) จะต้องเหนียวนุ่ม ยืดหยุ่น ไม่แห้งหรือแข็งกระด้าง ซึ่งการเสื่อมเสียทางด้านเนื้อสัมผัสอาจเกิดขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาจากสาเหตุหลายประการ การศึกษาโครงสร้างของเนื้อขนมปังจึงมีความสำคัญในการอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้

การเกิดโครงสร้างของขนมปังเกิดจากองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ฟองอากาศ (gas cell) และเฟสของแข็ง (solid phase) ของขนมปัง โดยโครงสร้างในส่วนฟองอากาศจะทำให้ขนมปังมีความนุ่ม โครงสร้างขนมปังที่ดีจะต้องมีฟองอากาศขนาดสม่ำเสมออยู่ในช่วง 10-100 ไมโครเมตร [2] ซึ่งจะเกิดขึ้นในระหว่างการฟอรั่มโด และการหมัก องค์ประกอบส่วนฟองอากาศเกี่ยวข้องกับการเกิดสเตลิงน้อยกว่าส่วนของเฟสของแข็ง ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของฟองอากาศเหล่านั้น โดยอาศัยโปรตีนในแป้งสาลี 2 ชนิด คือ กลูเตนิน และไกลอะดีนเพื่อประกอบเป็นโครงสร้าง กลูเตน (gluten) ที่มีลักษณะเป็นร่างแหโปรตีน 3 มิติ ที่เกิดจากแรงทางกล เช่น การนวด นอกจากโปรตีนแล้ว องค์ประกอบอีกส่วนหนึ่งที่มี

บทบาทสำคัญต่อโครงสร้างขนมปังส่วนเฟสของแข็ง คือ สตาร์ช (starch) โดยจะเข้าร่วมเชื่อมต่อกับร่างแหโปรตีนเพื่อกักเก็บฟองอากาศ ตั้งแต่ช่วงการฟอร์มโดและการหมัก แต่การเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชจะเกิดขึ้นในช่วงการอบเนื่องจากมีการให้ความร้อนสูงที่อุณหภูมิ 160-180 องศาเซลเซียส และเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization) แล้วเกิดการไหลออก (leaching out) ของอะไมโลส (amylose) และเชื่อมประสานเม็ดสตาร์ช (starch granule) เข้าด้วยกัน

น้ำเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญของโครงสร้างขนมปัง โดยจะมีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องในการ

ทำให้เม็ดสตาร์ชสุก และเกิดเจลาติไนเซชัน ปกติเม็ดสตาร์ชสมบูรณ์จะไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อให้ความร้อนเกินกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน จะทำให้เม็ดสตาร์ชไฮเดรตน้ำไว้และขยายพองตัว โครงสร้างที่มีระเบียบภายในเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติแบบไม่ผันกลับ [3] และเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานานโมเลกุลที่อยู่ในสตาร์ชตัมสุก จะเริ่มมีการรวมกลุ่มเพื่อให้เกิดระเบียบอีกครั้ง และเกิดเป็นลักษณะแบบผลึก (crystalline) เรียกว่า รีโทรเกรเดชัน (retrogradation) แสดงใน Figure 1 [4] กระบวนการนี้จะทำให้น้ำในขนมปังมีความแน่น (firm) ในระหว่างการเก็บรักษา



**Figure 1** Schematic representation of the phase transitions of starch during thermal processing and aging

ที่มา: Yu and Christie (2005)

ซึ่งโดยรวมแล้วอาจกล่าวได้ว่าโครงสร้างของเนื้อขนมปังอบสุก เกิดจากโครงสร้างของร่างแหโปรตีน และสตาร์ชที่เกิดเจลาติไนเซชันในภาวะที่มีน้ำ และพลังงานความร้อน โดยมีฟองอากาศขนาดสม่ำเสมอแทรกอยู่

ภายใน เพื่อให้เห็นองค์ประกอบของขนมปังได้ชัดเจนยิ่งขึ้น Liu และ Scanlon (2003) [5] ได้แสดงภาพรายละเอียดโครงสร้างขนมปังตามระดับชั้น (Hierarchical structure) ใน Figure 2

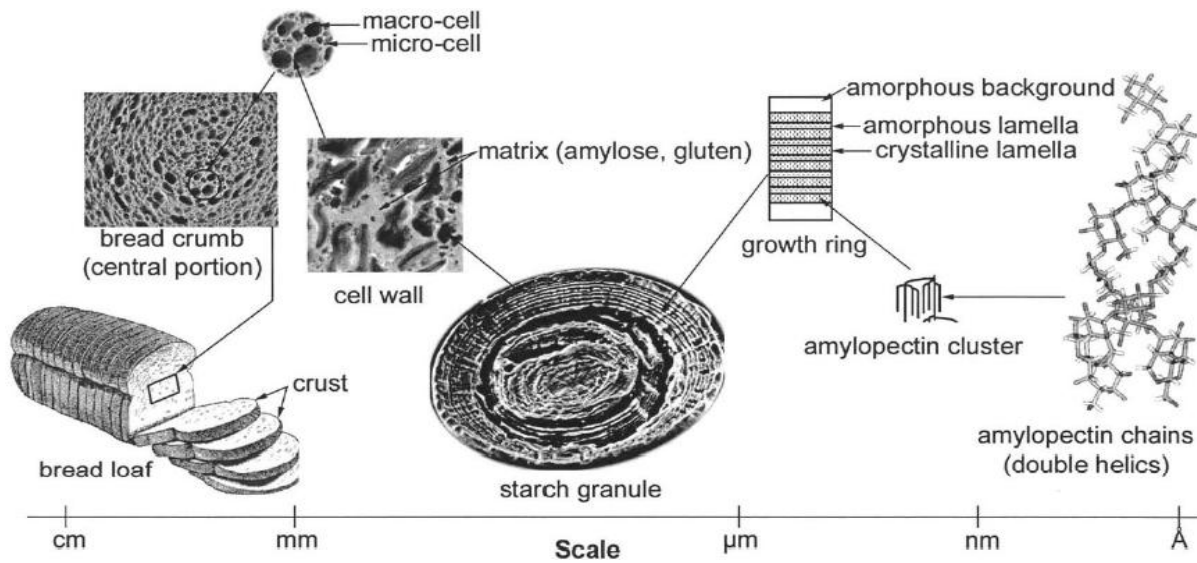


Figure 2 Hierarchical structure of bread crumb

ที่มา: Liu and Scanlon (2003)

จากภาพรายละเอียดโครงสร้างขนมปังตามระดับชั้น โดยมองด้วยตาเปล่าจะสามารถเห็นช่องว่างภายในเนื้อขนมปังซึ่งเกิดจากฟองอากาศ กำหนดเป็นชั้นที่ 0 ( $n=0$ ) เมื่อสังเกตโดยใช้แว่นขยายสามารถมองเห็นช่องขนาดต่างๆ แบ่งเป็น ช่องขนาดใหญ่ (macro-cell) และช่องขนาดเล็ก (micro-cell) ( $n=1$ ) เมื่อพิจารณาโครงสร้างในระดับเล็กลงมาจะมองเห็นโครงสร้างส่วนเซลล์ (cell wall) ของเนื้อขนมปังซึ่งประกอบด้วยร่างแหโปรตีน และสตาร์ชส่วนของอะไมโลสที่เชื่อมต่อกัน ( $n=2$ ) ซึ่งสามารถมองเห็นได้โดยใช้กล้อง (video camera) ที่มีกำลังขยายระดับ

มิลลิเมตร (Figure 3a) และระดับชั้นที่ 3 ( $n=3$ ) จะเป็นชั้นที่สามารถเห็นโครงสร้างสำคัญที่เป็นเหมือนเนื้อขนมปังคือ เม็ดสตาร์ชโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เมื่อเม็ดสตาร์ชมีร่างแหของกลูเตนมาเชื่อมประสานจะเห็นโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น (Figure 3b) และระดับชั้นสุดท้าย ( $n=4$ ) เป็นโครงสร้างระดับเล็กที่สุดคือโครงสร้างภายในของเม็ดสตาร์ช ซึ่งมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของสายโซ่อะไมโลเพกตินที่มีรูปร่างเป็นเกลียวคู่ (double helices) เรียงเป็นชั้นเรียงสลับของแบบผลึก (crystalline) และอสัณฐาน (amorphous)

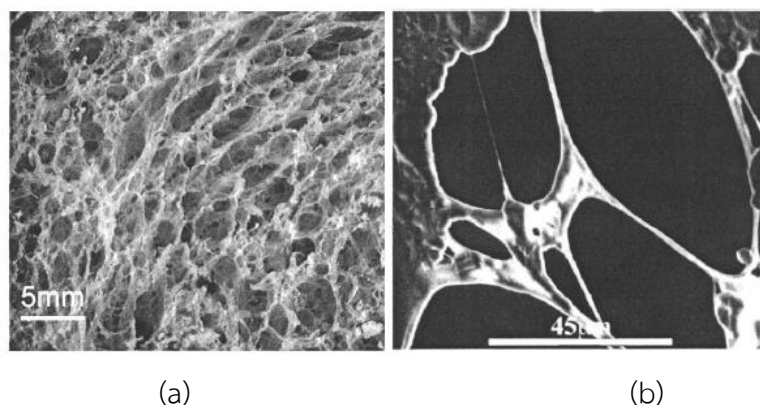


Figure 3 Video-camera captured image of a central portion of bread crumb (a)

and a cell image obtained by scanning electron microscopy (b)

ที่มา: Liu and Scanlon (2003)

## สเตลิง

สเตลิง (staling) เป็นการเสื่อมเสียประเภทหนึ่งของผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพระหว่างการเก็บรักษา และทำให้คุณภาพด้านประสาทสัมผัสลดลง จนผู้บริโภคไม่ยอมรับ [6] ปัจจัยที่มีอิทธิพลในการเกิดการสเตลิง ได้แก่ ระยะเวลาการเก็บรักษา อุณหภูมิในการเก็บรักษา และปริมาณความชื้น

การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ขนมปังเสื่อมสภาพ คือ ความแน่นของเนื้อผลิตภัณฑ์ที่อบแล้วมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยกลไก (mechanism) ของสเตลิง เกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำจากบริเวณเนื้อไปยังผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบระหว่างโพลิเมอร์ของแป้ง ไขมัน และโปรตีน [7] ดังนั้นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์จึงมีความสำคัญต่อการสเตลิง การทำงานของส่วนผสมทั้งหลายมีความสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของขนมปัง หลายงานวิจัยในอดีตถึงปัจจุบันจึงมีความสนใจในการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ เพื่อยับยั้งการเกิดสเตลิง

## ไฮโดรคอลลอยด์

ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) เป็นสารที่ได้จากธรรมชาติโดยอาจมาจากพืช หรือเชื้อจุลินทรีย์ มีสมบัติในการละลายน้ำ และทำให้เกิดสารละลายที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ หรือเจล มีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อจุดประสงค์ต่างๆ เช่น เป็นสารเพิ่มความชื้นเหนียว สารดูดซับน้ำ ปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหารทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานขึ้น รวมทั้งยังเป็นสารเพิ่มความเสถียรให้กับผลิตภัณฑ์ประเภทอิมัลชัน (emulsion) ทำให้ไม่เกิดการแยกตัวของไขมัน หรือเป็นสารทดแทนไขมันเพื่อลดปริมาณไขมัน ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์เพื่อปรับปรุงคุณภาพ และยับยั้งการเกิดสเตลิง [8]

## ไฮโดรคอลลอยด์จากเซลลูโลสดัดแปร

ไฮโดรคอลลอยด์ในกลุ่มนี้เป็นพอลิแซ็กคาไรด์พวกเซลลูโลสที่ถูกนำมาดัดแปรทางเคมี โดยโครงสร้าง

ของเซลลูโลสแสดงใน Figure 4 [9] แต่ละหน่วยของ  $\beta$ -D-กลูโคไพแรนอส จะมีหมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่ ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชัน โดยแทนที่อะตอมหมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่อื่นเช่น หมู่ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิล จะได้ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส (เอชพีเอ็มซี) ซึ่งมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลส เป็นอนุพันธ์อีเทอร์ของเซลลูโลสที่มีหมู่อีเทอร์ 2 ชนิดในสายโมเลกุล คือ  $-OCH_2CH(OH)CH_3$  และ  $-OCH_3$  มีคุณสมบัติละลายได้ในน้ำเย็น ให้สารละลายที่มีความหนืด ใส และเหนียว เกิดเจลได้ขณะร้อน (50-85 องศาเซลเซียส) และร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยได้ จึงไม่เพิ่มแคลอรีในผลิตภัณฑ์ [3]

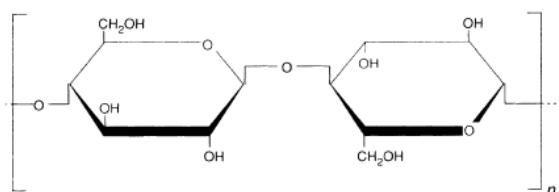


Figure 4 Cellulose structure  
ที่มา: Phillips and Williams (2000)

การใช้เอชพีเอ็มซีในการผลิตขนมปังสามารถชะลอการเกิดสเตลิง และปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้ [10] โดยจากงานวิจัยพบว่า การเติมเอชพีเอ็มซีร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักฐานแป้งเพื่อผลิตขนมปังปอนด์ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณจำเพาะ ความชื้นเพิ่มขึ้น และความแข็งน้อยกว่าขนมปังสูตรควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ส่วนอัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของขนมปัง และจำนวนฟองอากาศไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม นอกจากนั้นการเติมเอชพีเอ็มซี ร้อยละ 0.5 ในขนมปัง ยังสามารถชะลอความแข็งของขนมปังระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสได้ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง เนื่องจากสายโซ่ของเอชพีเอ็มซีเข้าไปขัดขวางอันตรกิริยาระหว่างโปรตีนกับสตาร์ช และทำให้ขนมปังมีความนุ่ม [11] อีกทั้งค่าดัชนีรีโทรเกรเดชัน (retrogradation index) ซึ่งหาได้จาก  $\Delta H_{\text{retrogradation}} / \Delta H_{\text{gelatinization}}$  โดยใช้ differential scanning calorimeter ของขนมปังอบสุกมีค่าลดลงในระหว่างการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศา

เซลเซียส นั้นแสดงให้เห็นว่าการใช้สารเอซพีเอมซีสามารถลดความแข็ง และลดการเกิดริ้วรอยของขนมปังในระหว่างการเก็บรักษาได้ ซึ่งก็ส่งผลต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยขนมปังที่มีการใช้เอซพีเอมซีจะมีรสชาติ และเนื้อสัมผัสที่ดีกว่าขนมปังสูตรควบคุม ( $p \leq 0.05$ ) มีลักษณะปรากฏ และกลิ่นที่ไม่แตกต่างจากตัวอย่างควบคุม

### ไฮโดรคอลลอยด์จากสาหร่ายทะเล และแบคทีเรีย

คาร์ราจีแนน (carrageenans) พบในสาหร่ายทะเลสีแดง (*Rhodophyceae*) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดกาแลกแทนที่มีหมู่ซัลเฟตไม่มีสายกิ่ง มี  $\beta$ -D-กาแลกโทส และ 3,6-แอนไฮโดร-D-กาแลกโทส เป็นหน่วยซ้ำในสาย ต่อกันด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,3 และ  $\beta$ -1,4 ไกลโคซิดิก และมีหมู่ซัลเฟตเป็นเอสเทอร์ [12] คาร์ราจีแนนมีสมบัติละลายได้ในน้ำร้อนสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส ความหนืดจะเพิ่มขึ้นและเกิดเป็นเจลได้ที่อุณหภูมิ 40-60 องศาเซลเซียส โดยเจลของคาร์ราจีแนนเป็นเจลชนิดผันกลับได้ด้วยความร้อน

แคปปา-คาร์ราจีแนน (Figure 5) [9] เป็นสารที่สามารถเพิ่มปริมาตรจำเพาะของขนมปังได้ โดยแคปปา-คาร์ราจีแนนสามารถสร้างสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีนกลูเตน และทำให้โครงสร้างขนมปังมีความแข็งแรงมากขึ้นสามารถห่อหุ้มฟองอากาศไว้ได้ [13] นอกจากนั้นแคปปา-คาร์ราจีแนนยังช่วยเพิ่มความชื้นของขนมปังหลังอบสุกตามสมบัติของไฮโดรคอลลอยด์ [14]

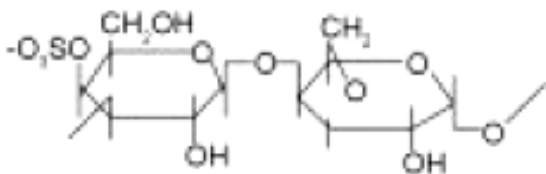


Figure 5 Kappa Carrageenans structure

ที่มา: Phillips and Williams (2000)

แอลจินเต (alginates) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่พบในสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล (brown algae) โดยเป็นองค์ประกอบโครงสร้างผนังเซลล์ [15] มีโมเลกุลขนาดใหญ่ สายโซ่ยาว ประกอบด้วย กรด  $\beta$ -D-แมนนูโรนิก (M) และกรด  $\alpha$ -L-กลูโรนิก (G) อยู่ในสายโซ่เดียวกัน (Figure 6) แต่อาจอยู่ในรูปแบบของบล็อก 3 แบบคือ บล็อกที่ประกอบด้วย M หรือ G เท่านั้น และ บล็อกที่สลับกันระหว่าง M และ G สำหรับขนมปัง การใช้แอลจินเตสามารถยืดอายุการเก็บรักษา โดยกักเก็บความชื้นตามสมบัติของไฮโดรคอลลอยด์ [15]

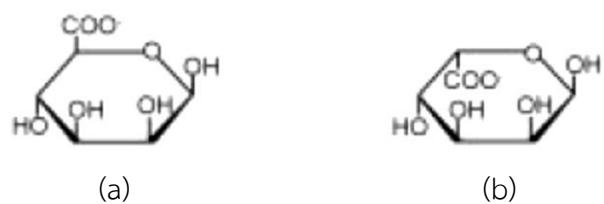


Figure 6 Alginate monomer structure

(a)  $\beta$ -D-Mannuronic acid

(b)  $\alpha$ -L-Guluronic acid

ที่มา: Phillips and Williams (2000)

แซนแทนกัม (xanthan gum) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ของแบคทีเรีย *Xanthomonas campestris* [14] ด้วยกระบวนการหมักแบบใช้อากาศ เป็นโครงสร้างอยู่ภายนอกเซลล์ โดยโครงสร้างเป็นน้ำตาล 5 โมเลกุล สายโซ่หลักเป็น  $\beta$ -D-กลูโคส ต่อกันด้วยพันธะ 1,4-ไกลโคซิดิก และสายโซ่กิ่งประกอบด้วย น้ำตาล D-แมนโนส 2 โมเลกุล และกรด D-กลูคูโรนิก 1 โมเลกุล ต่อกับสายโซ่หลักด้วยพันธะ  $\alpha$ -1,3 ไกลโคซิดิก โดยเว้นทีละ 1 โมเลกุลของกลูโคส (Figure 7) แซนแทนกัมเพิ่มความสามารถในการดูดน้ำ และความสามารถในการกักเก็บอากาศของโด นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มปริมาตรจำเพาะ และค่าวอเตอร์แอกติวิตี (water activity) ของเนื้อขนมปังได้ [16]

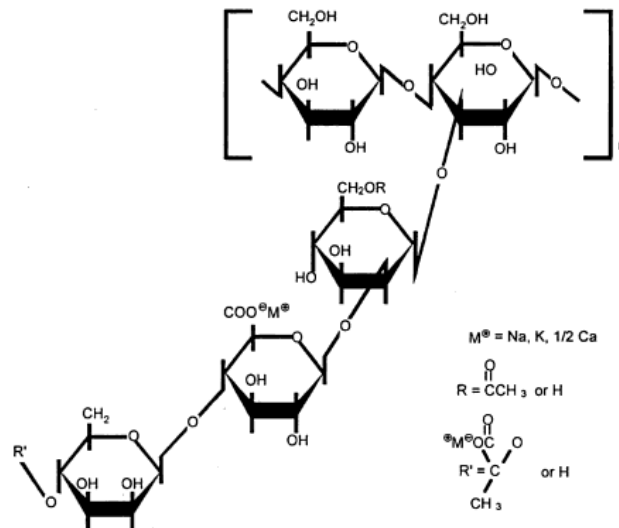


Figure 7 Xanthan gum structure  
ที่มา: Phillips and Williams (2000)

ไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิดมีผลต่อคุณภาพของขนมปังแตกต่างกัน จากงานวิจัยที่ศึกษาการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ 4 ชนิด คือ แคปตา-คาร์ราจีแนน เอชพีเอ็มซี แชนแทนกัม และแอลจินेट ในปริมาณร้อยละ 0.1 และ 0.5 โดยน้ำหนักฐานแป้ง พบว่าแคปตา-คาร์ราจีแนน แชนแทนกัม และเอชพีเอ็มซี มีประสิทธิภาพในการเพิ่มปริมาตรจำเพาะ [17] โดยเอชพีเอ็มซีสามารถเพิ่มปริมาตรจำเพาะได้มากที่สุดเพราะมีความสามารถในการเพิ่มความคงตัวในระหว่างการเกิดโด และการหมัก ทำให้สามารถรักษาโครงสร้างของฟองอากาศไว้ได้ดี [18] ส่วนความชื้นของขนมปังจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเติมไฮโดรคอลลอยด์ในปริมาณร้อยละ 0.5 โดยที่ปริมาณร้อยละ 0.1 ขนมปังที่ได้มีความชื้นไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ในด้านความแข็งเมื่อวัดโดยใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (texture analyzer) พบว่า เอชพีเอ็มซี และแอลจินेटสามารถลดค่าความแข็งของขนมปัง ส่วนแชนแทนกัมจะทำให้ความแข็งของขนมปังเพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรควบคุม เนื่องจากแชนแทนกัมไปเพิ่มความหนืดของเนื้อขนม ที่ล้อมรอบฟองอากาศ ทำให้ฟองอากาศขยายตัวได้น้อยระหว่างการอบ [19] และแคปตา-คาร์ราจีแนนทำให้ค่าความแข็งของขนมปังไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม และหลังการเก็บรักษาขนมปังเป็นเวลา

1 วัน ที่อุณหภูมิห้องพบว่า ไฮโดรคอลลอยด์ทุกชนิดสามารถลดการสูญเสียความชื้นของเนื้อขนมปังได้ เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์สามารถกักเก็บความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยแคปตา-คาร์ราจีแนนลดการสูญเสียความชื้นได้น้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาค่าความแข็งพบว่า เอชพีเอ็มซี และแอลจินेटเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำให้ขนมปังมีความแข็งเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดในขณะที่ขนมปังที่มีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นมีความแข็งเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างจากสูตรควบคุม ซึ่งค่าเนื้อสัมผัสอาจมีผลเชื่อมโยงจากการสูญเสียความชื้นในระหว่างการเก็บรักษา [20]

### ไฮโดรคอลลอยด์จากเปลือกนอกของสัตว์ขาปล้อง

ไคโทซาน (chitosan) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตัดแปรรูปไคติน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นเพื่อตัดหมู่เอซิติลออกไปจากสายโซ่ (Figure 8) [21] ทำให้ละลายน้ำได้ ต่างจากไคตินที่ยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนทำให้มีโครงสร้างแข็งแรง ไม่ละลายในน้ำ และตัวทำละลายอื่นๆ โดยโครงสร้างหลักประกอบด้วย  $\beta$ -D-กลูโคส ต่อกันด้วยพันธะ 1,4-กลูโคซิดิก แต่หมู่ไฮดรอกซิล ที่ตำแหน่ง C2 ของ D-กลูโคส เป็นหมู่ N-เอซิติลเอมิโน

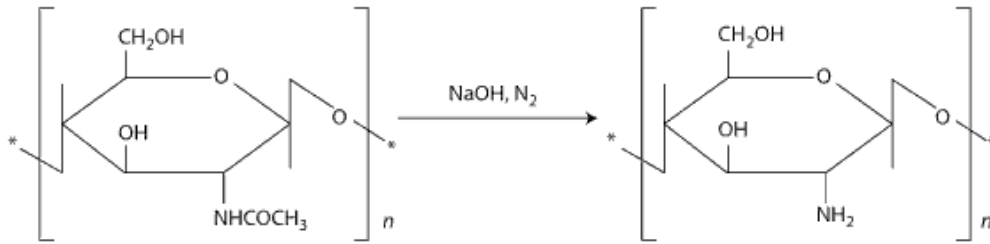


Figure 8 Preparation of chitosan by base hydrolysis of chitin

ที่มา: Yao, Li, Yao, and Yin (2012)

ไคโทซานถือเป็นแหล่งของใยอาหาร จึงมีงานวิจัยที่สนใจนำมาใช้เพื่อเป็นอาหารสุขภาพ โดยใช้ทดแทนแป้ง ซึ่งอาจส่งผลให้โครงสร้างกลูเตนไม่แข็งแรงหรือเข้าขัดขวางการเชื่อมต่อของโครงสร้างสตาร์ช-กลูเตน หรือลดความสามารถในการเกิดเจลลาตินในเซชันของสตาร์ช [22] การใช้ไคโทซานส่งผลให้เกิดสเตลิงมากขึ้น จากงานวิจัยพบว่า ในช่วงแรกของการเก็บรักษา (2 วันแรก) ไคโทซานจะเข้าจับกับไขมัน จึงขัดขวางการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะไมโลส-ไขมัน เป็นผลทำให้อะไมโลสเป็นอิสระ ทำให้เกิดความแน่นเนื้อของขนมปัง [23] และหลังจากเก็บรักษาเป็นเวลานานขึ้น ไคโทซานจะเข้าแย่งจับกับน้ำทำให้โครงสร้างของกลูเตนสูญเสียน้ำ และเกิดการถ่ายเทความชื้นระหว่างเนื้อขนมปัง กับเปลือกขนมปัง และทำให้เนื้อขนมปังแห้ง [7]

### บทสรุป

ขนมปังเป็นอาหารที่มีโครงสร้างซับซ้อน และประกอบด้วยองค์ประกอบหลายชนิด ดังนั้นการติดตามการเปลี่ยนแปลงจึงทำได้ยาก การเสื่อมเสียที่เกิดขึ้นกับขนมปังที่เป็นปัญหาสำคัญคือ สเตลิง ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และกายภาพขององค์ประกอบในขนมปังระหว่างการเก็บรักษาซึ่งยังไม่มีกลไกที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์นี้ได้ชัดเจน โดยจากงานวิจัยส่วนใหญ่ได้ตั้งสมมติฐานของสาเหตุการเกิดสเตลิงไว้หลายทฤษฎี โดยในช่วงแรกของการเก็บรักษาจะเกิดจากการจัดเรียงโครงสร้างระดับโมเลกุลเช่น ริโทรเกรเดชันของอะไมโลเพกติน หรือการเชื่อมประสานของอะไมโลสที่ออกมาจากเม็ดสตาร์ช หลังจากช่วงแรกของการเก็บ

รักษาจะเกิดจากการสูญเสียความชื้นเนื่องจาก การถ่ายเทความชื้นจากเนื้อขนมปังไปยังเปลือก หรือ การสูญเสียน้ำของโครงสร้างกลูเตน การแก้ปัญหาดังกล่าวอาจทำได้โดยใช้ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีคุณสมบัติในการกักเก็บความชื้นให้ผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลจากงานวิจัยหลายฉบับพบว่า เอชพีเอ็มซี มีคุณสมบัติที่ดีในการเพิ่มปริมาณจำเพาะของขนมปัง รักษาความชื้น ชะลอความแข็งของเนื้อขนมปัง และลดการเกิดริโทรเกรเดชันได้ โดยไฮโดรคอลลอยด์ตัวอื่นๆ เช่น แคปปา-คาร์ราจีแนน และแอลจีเนต มีคุณสมบัติชะลอสเตลิงได้น้อยกว่า ในขณะที่แทนแทนกัมกลับทำให้ความแข็งของขนมปังเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับไคโทซานที่ส่งผลให้เกิดสเตลิงในขนมปังเพิ่มขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงอุตสาหกรรม. (2548). มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนขนมปังปอนด์. มผช. 747/2548. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ.
- [2] Van Vliet, T., Janssen, A. M., Bloksma, A. H. and Walstra, P. (1992). Strain hardening of dough as a requirement for gas retention. *Journal of Texture Studies*. 23: 439–460.
- [3] วรณา ตูลยธัญ. (2549). เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- [4] Yu, L. and Christie, G. (2005). Microstructure and mechanical properties of orientated thermoplastic starches. *Journal of Material Science*. 40: 111–116.
- [5] Liu, Z. and Scanlon, G. (2003). Predicting mechanical properties of bread crumb. *Food and Bioproducts Processing*. 81: 224-238.
- [6] Chinachoti, P. and Vodovotz, Y. (2001). *Bread staling*. New York: CRC Press.
- [7] Gray, J. A. and Bemiller, J. N. (2003). Bread staling molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2: 1-21.
- [8] Guarda, A., Rosell, C. M., Benedito, C. and Galotto, M. J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*. 18: 241-247.
- [9] Phillips, G. O. and Williams, P. A. (2000). *Handbook of hydrocolloids*. Florida: CRC Press.
- [10] Barcenas, M. E. and Rosell, C. M. (2005). Effect of HPMC addition on the microstructure, quality and aging of wheat bread. *Food Hydrocolloids*. 19: 1037-1043.
- [11] 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: 375–383.
- [12] Kohajdova, Z., Karovicova, J. and Schmidt, S. (2009). Significance of emulsifiers and hydrocolloids in bakery industry. *Acta Chimica Slovaca*. 2: 46-61.
- [13] Leon, A. E., Ribotta, P. R., Ausar, S. A., Fernandez, C., Linda, C. A. and Beltrano, D.M. (2000). Interactions of different carrageenan isoforms and flour components in breadmaking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 2634-2638.
- [14] Selomulyo, V. O. and Zhou, W. (2007). Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers, *Journal of Cereal Science*, 45: 1-17.
- [15] Brownlee, I. A., Allen, A., Pearson, J. P., Dettmar, P. W., Havler, M. E., Atherton, M. R. and Onnsoyen, E. (2005). Alginate as a source of dietary fiber. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 45: 497-510.
- [16] Collar, C., Andreu, P., Martinez, J. C. and Armero, E. (1999). Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study. *Food Hydrocolloids*. 13: 467-475.
- [17] Guarda, A., Rosell, C. M., Benedito, C. and Galotto, M. J. (2004). Different hydrocolloids as bread improvers and antistaling agents. *Food Hydrocolloids*. 18: 241-247.
- [18] Bell, D. A. (1990). Methylcellulose as a structure enhancer in bread making. *Cereal Foods World*. 35: 1001-1006.
- [19] Rosell, C. M., Rojas, J. A. and Benedito, C. (2001). Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*. 15: 75-81.
- [20] Amero, E. and Collar, C. (1996). Antistaling additive effects on fresh wheat bread



quality. Food Science and Technology International. 2: 323-333.

- [21] Yao, K., Li, J., Yao, F. and Yin, Y. (2012). Chitosan-Based Hydrogels: Functions and Applications. Florida: CRC Press.
- [22] Kerch, G., Zicans, J. and Meri, R. M. (2010). The effect of chitosan oligosaccharides on bread staling. Journal of Cereal Science. 52: 491-495.
- [23] Lagendijk, J. and Pennings, H. J. (1970). Relation between complex formation of starch with monoglycerides and the firmness of bread. Cereal Science Today. 15: 354-360.