

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

2.1.1 ความหมายของข้าว

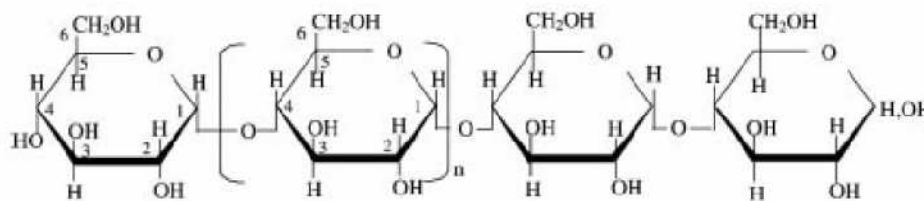
ข้าวเป็นพืชวงศ์หญ้า (family) Gramineae สกุล (Oryza) พืชสายพันธุ์นี้มีประมาณ 25 ชนิด ในจำนวนนี้มีอยู่สองชนิดเท่านั้นที่ปลูกเพื่อใช้เป็นอาหาร คือ *Oryza sativa* ที่ปลูกกันทั่วไปในประเทศผู้ปลูกข้าว และ *Oryza glaberrima* ที่ปลูกกันในบางส่วนของทวีปแอฟริกา ชนิดที่เหลือถือเป็นข้าวป่า (ทศพร นามโสง, 2549)

2.1.2 ลักษณะบางประการของข้าว

เมล็ดข้าวที่ใช้บริโภคเป็นอาหารนั้น จะเป็นแป้งประมาณร้อยละ 90 แป้งประกอบกันเป็นเมล็ดข้าวนั้น มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ อะไมโลส (amylose) ซึ่งเป็นโพลิเมอร์ของ D-glucose ที่มี โครงสร้างเป็นเส้นตรง และอะไมโลเพกติน (amylopectin เป็น polymer ของ D-glucose) ที่มี โครงสร้างต่อกันเป็นแขนง มี 2 ประเภทคือ ข้าวเหนียว (glutinous or waxy rice) ประกอบด้วย แป้งประเภทอะไมโลเพกติน ประมาณร้อยละ 95 มีแป้งประเภทอะไมโลสเล็กน้อย หรือบางพันธุ์ ไม่มีเลย แต่แป้งอะไมโลเพกตินล้วนๆ เมื่อหุงจะสุกง่ายและอ่อนนุ่ม และข้าวเจ้า (non-glutinous rice, non-sticky rice, non-waxy) ประกอบด้วย แป้งอะไมโลสร้อยละ 15-31 จะมากขึ้นอยู่กับพันธุ์ ข้าวแป้งที่เหลือจะเป็นอะไมโลเพกติน ปริมาณอะไมโลสในข้าวเจ้าทำให้ข้าวหุงสุกมีลักษณะอ่อนนุ่มและ แป้งกระด้าง เรียกว่ามีคุณภาพหุงต้ม (cooking quality) ต่างกัน (ทศพร นามโสง, 2549)

1) อะไมโลส

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage (ภาพประกอบ 2.1) น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส ประมาณ 10^6 ดาลตัน อะไมโลสไม่ละลายน้ำ เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสเป็นสายยาวจึงสามารถจับคู่กับอะไมโลสอีกโมเลกุลหนึ่ง เป็นสายยาวคู่ขนานเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน อะไมโลสสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน เช่น กรดไขมัน surfactant และสารละลายที่มีขั้ว (polar agent) อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน ให้สารสีน้ำเงิน ในการวิเคราะห์ ปริมาณอะไมโลสในสตาร์ช อาศัยสมบัติดังกล่าว และวัดค่าที่เกิดขึ้นโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก ปริมาณอะไมโลสจะรายงานเป็นค่า amylase equivalent (กล้านรงค์ ศรีรอทและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ที่มา: ยุพินทรา ชันติวัฒนกุล (2550)

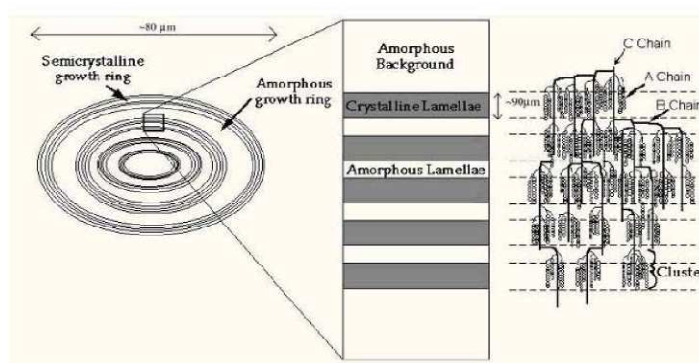
ภาพประกอบ 2.1 โครงสร้างของอะไมโลส

2) อะไมโลเพกติน

อะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งก้านที่เป็นกลูโคสสาย (chain)

สั้น มี degree of polymerization (DP) อยู่ในช่วง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ

α -1,6-glucosidic linkage หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6-glucosidic linkage มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมด ความยาวของสายกิ่งของอะไมโลเพกตินมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นผลึกของสตาร์ช ซึ่งความยาวของกิ่งจะมีผลต่อการเกิดเจลาตีไนเซชัน รีโทรกราเดชัน และสมบัติการเกิดเพสต์ของสตาร์ช ในสตาร์ชข้าว พบว่าอะไมโลเพกตินสายสั้น (DP 6 – 9) เพิ่มกำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส และลดการเกิดรีโทรกราเดชันของอะไมโลเพกติน แต่อะไมโลเพกตินสายยาว (DP 12 – 22) กลับให้ผลตรงกันข้าม เนื่องจากสายโซ่ที่สั้น (DP < 12) นั้นความยาวของกิ่งไม่พอจึงไม่สามารถการเกิดโครงสร้างแบบเกลียวคู่ระหว่างการเกิดรีโทรกราเดชัน และการเกิดรีโทรกราเดชันส่วนใหญ่จะเกิดจากโครงสร้างผลึกใหม่ของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินสายยาว เนื่องจากอะไมโลเพกติน มีลักษณะโครงสร้างที่เป็นกิ่งประกอบด้วยสาย 3 ชนิด (ภาพประกอบ 2.2) คือ (1) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure) (2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย A และ B ในอัตราส่วน 1:1(3) สาย C (C-chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพกตินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ที่มา: ยุพินทรา ชันติวัฒนกุล (2550)

ภาพประกอบ 2.2 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของแกรนูลสตาร์ชที่ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นอสัญฐาน (amorphous) และผลึก (crystalline) ของอะไมโลเพกติน

2.2 ข้าวเหนียว (glutinous rice)

ข้าวเหนียว (glutinous rice) ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Oryza sativa* var. *glutinosa* เป็นข้าวที่มีอะไมโลเพกตินเป็นส่วนใหญ่ มีลักษณะเป็นผงสีขาวละเอียดและมีขนาดของเม็ดแบ่ง 2-9 ไมโครเมตร มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 0-2 มีคุณสมบัติการละลายน้ำได้ดีกว่าแป้งข้าวเจ้า อุณหภูมิการเกิดเจลาคือ 64.5 องศาเซลเซียส มีลักษณะเด่นคือ การติดกันเหมือนกาวของเมล็ดข้าวที่สุกแล้ว นิยมบริโภคมากในประเทศไทยและเป็นอาหารหลักของประชากร ปลูกมากทางภาคอีสานของประเทศไทยและประเทศลาว ลักษณะของแป้งข้าวเหนียวที่ดีควรมีกลิ่นธรรมชาติของแป้งและไม่มีกลิ่นเหม็นหืน มีการนำแป้งข้าวเหนียว มาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจลควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ข้าวเหนียวใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารได้หลากหลาย เช่น เค้ก แคร็กเกอร์ และพัฟ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตสุราพื้นเมือง การผลิตแป้งข้าวเหนียวเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร และขนมขบเคี้ยว ข้าวเหนียวโดยปกติเก็บเกี่ยวที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 28-30 และทำแห้งโดยมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 16 ขณะที่ข้าวเมื่อทำแห้งความชื้นที่อยู่ในเมล็ดจะลดลง ไม่สามารถป้องกันการแตกในเมล็ดได้ระหว่างการสี ผลที่ตามมาจะได้ข้าวในปริมาณน้อย (Jaiboon et al, 2009) ข้าวเหนียวมี 2 สี คือ สีขาวและสีดำ ซึ่งทางภาคเหนือเรียกว่าข้าวกำ แต่ข้าวเหนียวดำจะมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์มากกว่าข้าวเหนียวขาว สารอาหารที่ว่า คือ Oligomeric Proantho Cyanidins (OPC) มีสรรพคุณช่วยชะลอการแก่ก่อนวัย และความเสื่อมถอยของร่างกาย โดยสารโอพีซีที่พบในข้าวเหนียวดำ เป็นสารชนิดเดียวกับสารสกัดที่ได้ จากองุ่นดำ (สารานุกรมเสรี, 2553)

2.3 แป้งข้าว (rice flour)

2.3.1 แป้งข้าวเป็นผลิตภัณฑ์จากข้าวหัก ในการแปรรูปขึ้นปฏภูมิหรือการแปรรูปขึ้นต้น แป้งข้าวเจ้ายังไม่สามารถนำมาบริโภคได้โดยตรง ต้องนำแป้งข้าวไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร กึ่งอาหาร และไม่ใช่อาหารต่อไป โดยการผลิตแป้งข้าวเจ้านิยมใช้ข้าวหักใหญ่ ที่มีความยาว ตั้งแต่ 5.0 ส่วนขึ้นไป ประมาณร้อยละ 74 เป็นข้าวหักที่มีความยาวไม่ถึง 6.5 ส่วน และไม่ผ่านตะแกรงเบอร์ 7 นำมาทำความสะอาดด้วยชุดเครื่องทำความสะอาด เช่นเดียวกับการทำความสะอาดข้าวเปลือกและข้าวสารร่วมกัน ได้แก่ การผ่านเครื่องแยกแม่เหล็ก เครื่องแยกหิน และเครื่องขัดขาว เพื่อขัดผิวข้าวหักให้สะอาด ต่อจากนี้เป็นขั้นตอนการโม่ให้เป็นแป้ง ซึ่งทำได้ 3 วิธี คือ (1) การโม่เปียกหรือการโม่ น้ำ (2) การโม่แบบผสม (3) การโม่แห้ง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

2.3.2 การโม่เปียกหรือการโม่ น้ำ เป็นวิธีการที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าวเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทย เนื่องจากใช้วัตถุดิบเป็นข้าวหักซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว ยังมีสิ่งเจือปนมาก ต้องทำความสะอาดในระบบแห้งด้วยเครื่องแยกชนิดต่างๆ แล้วจึงต้องล้างด้วยน้ำให้สะอาด แช่วข้าวหักจนนิ่ม จึงทำการโม่ด้วยเครื่องโม่แบบหินจานซึ่งใช้ไฟฟ้าในการทำงาน การใช้ข้าวหักพร้อมกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม จะทำให้ได้แป้งที่ละเอียดสม่ำเสมอ หลังจากนั้นจึงผ่านน้ำแป้งเข้าเครื่องแยกน้ำออกจากแป้ง โรงงานขนาดใหญ่นิยมใช้เครื่องกรองด้วยแรงอัดสูง (Filter Press) จะได้ก้อนแป้งที่แห้งมีความชื้นประมาณร้อยละ 40 ต้องทำการตีปนก้อนแป้งให้เป็นผงก่อน จึงผ่านเข้าเครื่องอบแป้งให้แห้ง อาจใช้วิธีเป่าด้วยลมร้อน จนแป้งเป็นผงแห้ง นำมาผ่านเครื่องบดและร่อนเพื่อให้ได้แป้งที่มีขนาดสม่ำเสมอ โดยทั่วไปจะประมาณ 180 ไมโครเมตร มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 13

2.3.3 การโม่แบบผสม มีขั้นตอนการโม่คล้ายคลึงกับวิธีการโม่เปียกในช่วงล้างข้าวหัก และแช่วข้าวหักจนนิ่ม ต่อจากนั้นนำข้าวหักขึ้นจากน้ำแช่ให้สะเด็ดน้ำแล้วผ่านไปยังเครื่องอบให้ข้าวแห้งระดับหนึ่ง (ประมาณร้อยละ 15-17) จึงนำข้าวหักเข้าบดหรือโม่แบบแห้ง ตามวิธีการโม่แห้งจนได้แป้งแห้งผ่านเข้าเครื่องร่อนแป้งให้มีขนาดสม่ำเสมอ (180 ไมโครเมตร) กรรมวิธีการโม่จะผสมระหว่างโม่เปียกกับโม่แห้งเข้าด้วยกันจึงเรียกว่า วิธีการโม่แบบผสม

2.3.4 การโม่แห้ง เป็นการนำข้าวหักที่ผ่านระบบการทำความสะอาดแบบแห้งแล้วเข้าสู่เครื่องโม่หรือบดแห้งเป็นแป้งผง ร่อนผ่านเครื่องร่อนให้มีขนาดสม่ำเสมอ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

แป้งข้าวที่ผลิตขายทั่วไปจะมี 2 ชนิดคือ แป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว ซึ่งขายทั้งในประเทศและต่างประเทศเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียว ให้มีคุณภาพ และเป็นแนวทางในการตรวจสอบคุณภาพระหว่างผู้ซื้อ และผู้ขายได้ กระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แป้งข้าวเจ้า โดยกำหนดคุณลักษณะที่ต้องการ วัตถุประสงค์อาหาร สุขลักษณะ การบรรจุ เครื่องหมาย และฉลาก การคัดตัวอย่าง และเกณฑ์ตัดสิน ในการทดสอบแป้งข้าวเจ้านี้ มีสาระสำคัญ บางประการ คือ แป้งข้าวเจ้าต้องเป็นผงละเอียดไม่จับกันเป็นก้อน ส่วนที่ค้ำบนตะแกรง 180 ไมโครเมตร ต้องไม่เกินร้อยละ 2.5 โดยน้ำหนัก ต้องมีสีขาวหรือขาวนวล มีกลิ่นตามธรรมชาติของแป้งข้าวเจ้า ไม่มีกลิ่นอับ หิน เหม็นเปรี้ยว หรือกลิ่นไม่พึงประสงค์อื่นๆ ต้องปราศจากสิ่งแปลกปลอม เมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเม็ดสตาร์ข้าวเจ้า มีลักษณะเป็นรูปทรงหลายเหลี่ยมขนาด 2-9 ไมโครเมตร (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

ตาราง 2.1 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวและผลิตภัณฑ์ข้าว ในปี พ.ศ. 2541

	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ราคา/ตัน (บาท)
ข้าว (รวม)	6,540,235	86,805.347	13,270
ข้าวขาว 100%-5%	2,480,947	42,073.410	16,960
ข้าวขาว 10%-25%	2,217,870	23,528.756	10,610
ข้าวขาว 35%-ปลายข้าว	627,861	5,596.332	8,910
ข้าวเหนียว	153,510	2,454.828	15,990
ข้าวกล้อง	131,367	2,159.588	16,440
ข้าวนึ่ง	922,309	10,940.045	11,860
ผลิตภัณฑ์ข้าว (รวม)	117,117	2,630.733	22,460
แป้งข้าวเจ้า	20,194	396.080	19,610
แป้งข้าวเหนียว	58,838	1,292,351	21,960
แป้งข้าวอื่น ๆ	174	6.316	36,300
เส้นหมี่-ก๋วยเตี๋ยว	37,911	939.986	24,790

ที่มา : ทศพร นามโฮง (2549)

คุณสมบัติของแป้งข้าว เนื่องจากแป้งข้าวทำมาจากข้าวหักหรือปลายข้าว ดังนั้นการตรวจสอบคุณสมบัติของแป้งข้าวจึงคล้ายคลึงกับการตรวจสอบคุณสมบัติของข้าวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการไม่แป้ง เพื่อใช้ประเมินคุณภาพของแป้งข้าวแต่ละชนิด ซึ่งค่าที่ตรวจวัดได้นี้จะสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนา และปรับปรุงการใช้ประโยชน์ของแป้งข้าวให้เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ต่อไป

คุณสมบัติทางเคมีของแป้งข้าวที่พบได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน สตาร์ช และอัตราส่วนของอะมิโลสกับอะมิโลเพกติน และเถ้า เป็นต้น คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีเชิงฟิสิกส์ ได้แก่ การวัดอุณหภูมิการเกิดเจลลาติไนเซชันของแป้งข้าว โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์แบบฐานร้อน การวิเคราะห์ความหนืด ด้วยเครื่องแบบบราเบนเดอร์ หรือเครื่องวิเคราะห์ความหนืดอย่างรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

2.4 คุณสมบัติของสตาร์ช

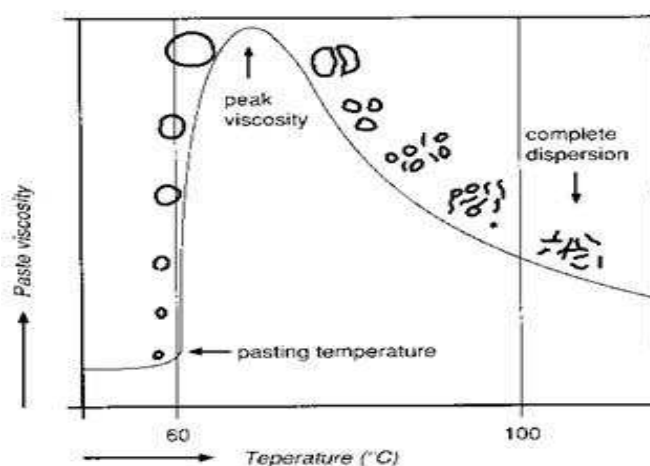
2.4.1 การเกิดเจลลาติไนเซชัน (gelatinisation)

เม็ดสตาร์ชมีคุณสมบัติเป็น optical birefringence คือ การบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ สมบัตินี้บ่งชี้ว่าสตาร์ชมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (order orientation) หรืออยู่ในรูปผลึก การจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดสตาร์ชไม่ละลายในน้ำเย็น โดยสามารถดูดน้ำเย็นและพองตัว (swelling) ได้เล็กน้อย ความสามารถในการดูดน้ำของเม็ดสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เม็ดสตาร์ชจะพองตัวออกมากและมีอะมิโลสส่วนที่ละลายน้ำได้หลุดออกมามากด้วย ทำให้ได้ส่วนผสมของน้ำแป้งที่มีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้มากขึ้น เม็ดสตาร์ชจะพองตัวมากขึ้น

จนมีขนาดใหญ่และแตกออกได้เป็นสารละลายข้นหนืด (starch paste) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ละลายได้ของอะมิโลสและบางส่วนของอะมิโลเพกติน และเรียกกระบวนการนี้ว่า เจลาติไนเซชัน (gelatinization) การเกิดเจลาติไนเซชันจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆ ได้ดีกว่า

การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดสตาร์ชแบ่งได้ 3 ระยะ (ดังภาพประกอบ 2.3) คือ ระยะแรกเม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่างไมเซลล์ (micelles) ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดสตาร์ชยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ (birefringence) เมื่อใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายของสตาร์ชจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดสตาร์ชจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ภายในเม็ดสตาร์ชจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล

อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด มักจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพกติน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดสตาร์ช เป็นต้น สำหรับความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ในระหว่างเจลาติไนซ์มีการแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของสตาร์ช โดยพบว่าสตาร์ชมันฝรั่งจะให้ความหนืดสูงสุดสูงที่สุด และมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืด (thickening power) สูงด้วย ในขณะที่สตาร์ชจากข้าวโพดและข้าวสาลีจะมีความหนืดสูงสุดต่ำ เนื่องจากเม็ดสตาร์ชมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง



ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2546)

ภาพประกอบ 2.3 ระยะในการเกิดเจลลาทีโนเซชันของเม็ดแป้ง

การเกิดเจลลาทีโนเซชันไม่ได้เกิดเฉพาะอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่เกิดเป็นช่วงอุณหภูมิประมาณ 8-12 องศาเซลเซียส การตรวจสอบกระบวนการเจลลาทีโนเซชัน นอกจากการใช้การสังเกต การเปลี่ยนโครงสร้างการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้ว สามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการซึ่งเครื่องมือที่นิยมในปัจจุบันนี้คือเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันกับอุณหภูมิปกติพอลิเมอร์ต่างๆ ในรูปผลึกและอสัณฐานจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน สตาร์ชก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วงของ 160-200 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้นอุณหภูมิของการหลอมละลายก็จะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมีประมาณ 70 ส่วนหรือมากกว่า การหลอมละลายก็คือการเกิดเจลลาทีโนเซชัน ช่วงของอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลง (onset temperature) และอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (peak temperature) ของความร้อน คือ ช่วงอุณหภูมิของเจลลาทีโนเซชัน สำหรับการวัดลักษณะของการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้งโดยใช้เครื่อง DSC จึงทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างสารผสมแป้งกับน้ำในอัตรา 30:70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลลาทีโนเซชันจะได้ Thermogram ซึ่งเป็นกราฟระหว่างการไหลของความร้อน (heat flow) และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (enthalpy, cal/g) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง แป้งแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาทีโนเซชันต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

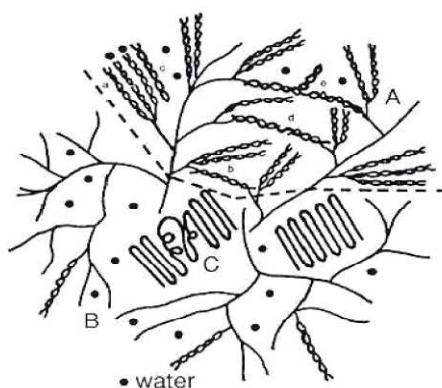
2.4.2 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลาทีโนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป เม็ดแป้งจะพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะมีการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มี

การดูดน้ำกลับเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้านรงค์ ศรีรอตและ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

การเกิดรีโทรเกรเดชันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา พิเอชของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพกติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแป้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วงพีเอช 5-7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับช่วงพีเอชที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง การชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก (monovalent anion และ cation) แคลเซียมไนเตรท (calcium nitrate) และ ยูเรีย (urea)

ปริมาณและขนาดของอะมิโลสมีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ อัตราในการเกิดรีโทรเกรเดชันจะสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) เมื่อขนาดโมเลกุล (degree of polymerization) ของอะมิโลสเท่ากับ 100-200 อัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะมิโลสยาว หรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้อะมิโลสที่เกิดรีโทรเกรเดชันกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิ 100-160 องศาเซลเซียส อะมิโลเพกตินจะมีผลทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันได้น้อยมาก ดังนั้นสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดเหนียวจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชต่ำที่สุด เนื่องจากไม่มีอะมิโลสในสตาร์ช สำหรับแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันสูงกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากมีปริมาณ อะมิโลสสูง (ประมาณร้อยละ 28) มีอะมิโลสโมเลกุลเล็ก และมีไขมันในปริมาณสูงทำให้เกิดการจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสและไขมัน (amylase-lipid complex) (กล้านรงค์ ศรีรอตและ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ที่มา: ยุพินทรา ชันติวัฒนกุล (2550)

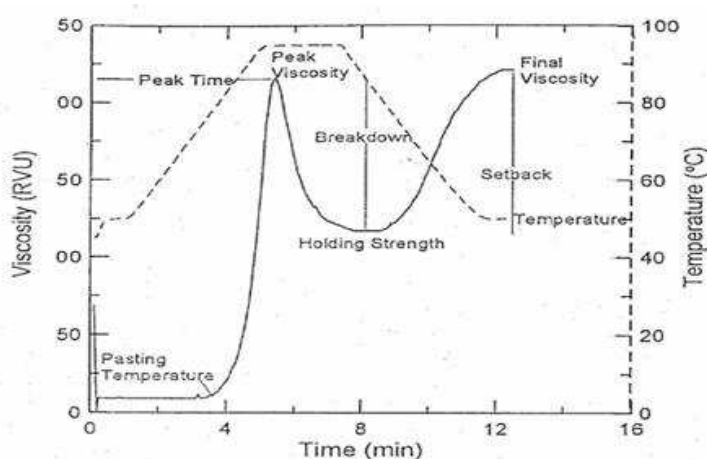
ภาพประกอบ 2.4 โครงสร้างของแป้งที่เกิดรีโทรเกรเดชัน

2.4.3 ความหนืด

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้ง ทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและความหนืดมากขึ้น พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็วทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และหรือโมเลกุลของอะมิโลส และอะมิโลเพคตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสุกจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้ง

เมื่อลดอุณหภูมิลงโมเลกุลของแป้งอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะมิโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นนี้อีกนี้เรียกว่า setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือ การคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพคติน อุณหภูมิ shear rate เป็นต้น แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ ชนิดของแป้ง (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

เครื่อง rapid visco analyser (RVA) เป็นเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนามาเพื่อติดตามพฤติกรรมความหนืดของแป้งอีกแบบหนึ่ง คุณสมบัติพิเศษของเครื่องนี้คือ สามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิทั้งการทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ควบคุมไปกับการสามารถในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ทำให้สามารถหา pasting curve ได้ภายใน 13 นาที เนื่องจากมีกลไกในการส่งผ่านความร้อนที่ดี และยังใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าด้วย การทำงานของเครื่อง RVA คล้ายกับเครื่อง Brabender viscoamylograph โดยใช้แป้งประมาณ 3 กรัม เติมน้ำ 25 มิลลิลิตร รักษาอุณหภูมิไว้ที่ 50 หรือ 60 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนด้วยอัตราประมาณ 12 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปล่อยไว้ 2-3 นาที ทำให้เย็นลงด้วยอัตราประมาณ 12 องศาเซลเซียส ต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่าเป็นเวลา 2 นาที เครื่องจะทำการบันทึกอุณหภูมิและ viscosity profile ที่เปลี่ยนไปกับเวลา ดังภาพประกอบ 2.5 (กล้านรงค์ ศรีรอต และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2546)

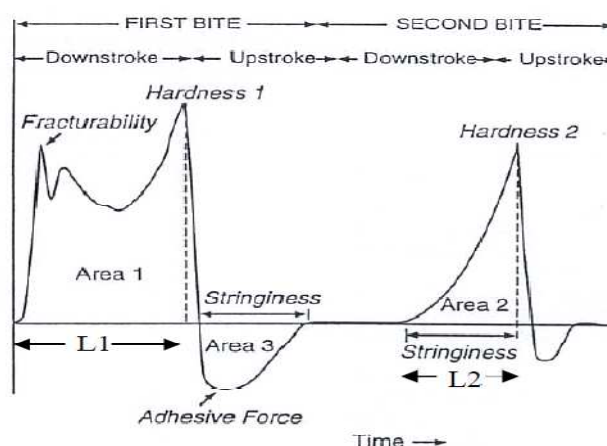
ภาพประกอบ 2.5 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ค่าที่เครื่องจะแสดงผลอ่านได้บนจอคอมพิวเตอร์โดยความหนืดมีหน่วยเป็น RVU ดังนี้

- 1) Peak Time = เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (นาที)
- 2) Pasting Temperature = อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรืออุณหภูมิที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ใน 20 วินาที (องศาเซลเซียส)
- 3) Peak Temperature = อุณหภูมิที่เกิด peak (องศาเซลเซียส)
- 4) Holding Strength = ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำให้เย็น (RVU)
- 5) Breakdown = ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (RVU)
- 6) Final Viscosity = ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (RVU)
- 7) Setback Form Peak = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด peak (RVU)
- 8) Setback Form Trough = ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (RVU) (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.5 ลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis; TPA)

การวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสแบบนี้จะออกแบบเครื่องมือและวิธีการทดสอบให้มีการทำงานคล้ายกับการเคี้ยวของมนุษย์ เรียกการวัดค่าแบบนี้ว่า Imitative test หรือเรียกอีกอย่างว่า texture profile analysis



ที่มา: ยุพินพรา ชันติวัฒนกุล (2550)

ภาพประกอบ 2.6 กราฟที่ได้จากการทำ Texture Profile Analysis

กราฟที่ได้จากการวัด texture profile analysis จะเป็นกราฟระหว่างค่าแรง (N) และ เวลาซึ่งสามารถแปลงผลเป็นค่าต่าง ๆ ได้ ดังนี้

- 1) ความแข็ง (hardness) หมายถึง ค่าแรงสูงสุดจากกราฟ TPA ที่เกิดขึ้นในการกัดตัวอย่างครั้งที่ 1 (first stroke) ค่า hardness ที่วัดได้มีหน่วยเป็นนิวตัน
- 2) ความแตกเปราะหรือแตกหัก (fracturability or brittleness) คือค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการกัดครั้งที่ 1 (first stroke) ณ จุดที่ตัวอย่างอาหารนั้นเกิดการแตกหักภายในโครงสร้างอาหารที่จะสังเกตได้จากกราฟ TPA มียอดแหลมแรก (first peak) เกิดขึ้นก่อนที่จะเกิดค่าแรงสูงสุดในยอดแหลมถัดไป ความแตกเปราะหรือแตกหักจะมีเฉพาะในตัวอย่างอาหารบางชนิด เช่น ตัวอย่างอาหารที่มีความกรอบแข็ง เช่น ขนมขบเคี้ยว ความเปราะ เช่น ลูกกวาด ลูกอม เป็นต้น ค่าการแตกหักที่วัดได้มีหน่วยเป็นนิวตัน
- 3) การเกาะติดกัน (cohesiveness) เป็นค่าบอกลักษณะการเกาะรวมตัวกันเหนียวแน่นมากน้อยหลังจากการที่ตัวอย่างถูกกัดซ้ำ 2 ครั้ง คำนวณได้จากอัตราส่วนของการนำเอาพื้นที่ใต้กราฟของการกัดครั้งที่ 2 หารด้วยพื้นที่ใต้กราฟของการกัดครั้งที่ 1 ($\text{area 2} / \text{area 1}$) หากค่าอัตราส่วนที่ทำได้มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าตัวอย่างอาหารนั้นโครงสร้างภายในเกาะตัวดี การบดเคี้ยวตัวอย่างต้องใช้พลังงานมากในการทำลายตัวอย่างให้แตกหักหรือแยกออกจากกัน ค่า cohesiveness ที่คำนวณได้ไม่มีหน่วยเนื่องจากเป็นค่าอัตราส่วนเปรียบเทียบ

4) การกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม (springiness) คือ ความสามารถของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงมากกระทำแล้วหลังจากถอนแรงออกสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมของตัวอย่างได้มากน้อยเพียงไร ค่านี้สามารถคำนวณได้ 2 วิธี

(1) คำนวณจากระยะทางเป็นมิลลิเมตร (mm) ตามแนวแกนเวลาของกราฟ TPA ที่เกิดขึ้นในขณะกดครั้งที่ 2 เรียก ระยะทาง (L2) นี้ว่าค่า springiness

(2) คำนวณมาจากอัตราส่วนของระยะทางที่เกิดขึ้นตามแนวแกนเวลาของกราฟ TPA ที่เกิดขึ้นในขณะกดครั้งที่ 2 (L2) หารด้วยตามแนวแกนเวลาของกราฟ TPA ที่เกิดขึ้นในขณะกดครั้งที่ 1 (L1) เรียกสัดส่วน L2 /L1 ว่าค่า springiness index

5) การเกาะติดผิว (adhesiveness) คือคุณลักษณะของอาหารที่มีความเหนียวเป็นกาวสามารถเกาะติดผิวอื่นๆ ที่ตัวอย่างอาหารไปสัมผัสได้เช่น หัวกด ค่านี้หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นหลังจากถอนแรงกดออกจากตัวอย่างออกไปแล้ว (Area 3) ค่า adhesiveness ที่หาได้มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร หรือ จูล

6) พลังงานในการเคี้ยว (chewiness) คือคุณลักษณะด้านการบดเคี้ยวเพื่อให้มีขนาดเล็กลงหรือแยกออกเป็นชิ้นเล็กที่เกิดขึ้นในตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นของแข็งเท่านั้นว่ามีมากน้อยเพียงไร ค่านี้คำนวณได้จากผลคูณของค่า 3 ค่าคือ hardness x cohesiveness x springiness โดยค่า chewiness ที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร หรือ จูล

7) ระดับความเป็นกาวยางหรือแป้งเปี้ยก (gumminess) คือคุณลักษณะกาวยางหรือแป้งเปี้ยกที่เกิดขึ้นในตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นกึ่งของแข็งขณะบดเคี้ยวว่ามากน้อยเพียงไร ค่านี้หาได้จากผลคูณของ ค่า hardness x cohesiveness ค่า gumminess ที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็นนิวตัน (ยุพินทรา ชันติวัฒนกุล, 2550)

2.6 ขนมปัง (breads)

ขนมปัง เป็นอาหารพื้นฐานพบมาก่อนประวัติศาสตร์ ขนมได้จากการอบก้อนแป้ง ขนมปังทำขึ้นครั้งแรกเมื่อ 10000 ปี BC หรือมากกว่า 12,000 ปีมาแล้ว ซึ่งมีการพัฒนาโดยการทดลองประกอบด้วยน้ำและแป้ง ชาวอียิปต์เป็นคนริเริ่มทำขนมปังจนเป็นที่นิยมกันทั่วโลก การควบคุมและการจำหน่ายใช้การเฉลี่ยของประชากรเมื่อ 2000 ปีที่แล้ว ปัจจุบันนี้ โดยประมาณ 20 งานที่ตีพิมพ์มีการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวิจัย ทำให้พิสูจน์ให้เห็นว่าการวิจัยมีการประยุกต์ที่จะศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของขนมปัง เพราะฉะนั้นจึงมีความสำคัญของการซื้อขายและความต้องการสำหรับคุณภาพที่ดีของขนมปัง (Mondal and Datta, 2008)

2.6.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของขนมปัง

น้ำและแป้งเป็นส่วนผสมที่มีความสำคัญมากในการผลิตขนมปัง ซึ่งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสและเนื้อภายในของขนมปัง การใช้แป้ง (ความชื้นร้อยละ 14.5, โปรตีนร้อยละ 13, เถ้าร้อยละ 0.55 และ pH 5.7-6.1) ร้อยละ 100 และส่วนที่เหลือของส่วนผสมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณโดยน้ำหนักประมาณ ร้อยละ 50 ของน้ำ ส่งผลให้เนื้อสัมผัสขนมปังมีความสว่าง สูตรขนมปังส่วนใหญ่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ร้อยละ 50-75 ในขนมปังยีสต์ มีเปอร์เซ็นต์ของน้ำสูงกว่าจึงทำให้มีฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาก และคุณภาพของเนื้อภายในของขนมปังที่ไม่ดี จะใช้ส่วนผสมของแป้งร้อยละ 100 ส่วนผสมที่เหลือ

เป็นสารที่ช่วยให้ขึ้นฟู ยีสต์ ร้อยละ 2 น้ำตาล ร้อยละ 4 เกลือ ร้อยละ 2 และ shortening ร้อยละ 3 ขนมปังเป็นอาหารที่แตกต่างจากอาหารทั่วไป ซึ่งขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักน้ำตาลในแป้งสาลีโดย การหมักของยีสต์ (*Saccharomyces cerevisiae*) เนื่องจากการหมักน้ำตาลถูกเปลี่ยนเป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิสูง การเติมน้ำตาลจะเริ่มเกิดการหมักขึ้น การเติมเกลือจะเพิ่มความแข็งแรงของกลูเตนและเปลี่ยนกิจกรรมของยีสต์สำหรับควบคุมการขยายของโด Shortening จะเพิ่มความสามารถในการทำงาน มีการคาดว่าโดขนมปังที่เหมาะสมในการอบ ซึ่งผลิตภัณฑ์จะมีคุณภาพมากกว่าและเกิดลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ดี ปกติแล้วขนมปังสดจะมีสีออกน้ำตาล ดึงดูดความสนใจ มีลักษณะภายนอกที่กรอบ ลักษณะแผ่นบางๆ นุ่ม และเนื้อสัมผัสภายในขนมปังจะยืดหยุ่น มีความชุ่มชื้นรู้สึกในปาก ปัจจุบันนี้ผู้บริโภคมีความต้องการขนมปังที่มีคุณภาพ สะอาด และเก็บได้นานขึ้น จึงมีแนวคิดในความต้องการเติมสารเจือปน เช่น การเติมอิมัลซิไฟเออร์ สารป้องกันการเก่าของขนมปังจนได้คุณภาพตามความต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเติมอิมัลซิไฟเออร์ มีความสำคัญในระดับสูง ในโรงงานอุตสาหกรรมขนมอบ ซึ่งจะช่วยให้โดมีความแข็งแรง ปรับปรุงโครงสร้างของเนื้อภายใน ลักษณะการเนียน การเก็บก๊าซ และการยืดอายุการเก็บของขนมปัง (Mondal and Datta, 2008)

2.6.2 ชนิดของขนมปัง

1) ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังอิตาลี และขนมปังเวียดนาม

ขนมปังทั้งสามประเภท ทำจากโดที่มีไขมันต่ำ ประมาณร้อยละ 0.3 โดของขนมปังประเภทนี้ ส่วนใหญ่จะมีส่วนผสมเหมือนกัน ต่างกันตรงที่โดของขนมปังฝรั่งเศสมีน้ำตาลหรือมอลต์เติมลงไปด้วย แป้งที่ใช้ทำขนมปังชนิดนี้จะต้องเป็นแป้งที่มีปริมาณกลูเตนสูงเพื่อที่จะสามารถทนทานต่อการหมักได้นาน ทนต่อการพักตัวและการขึ้นฟูของโดในระยะแรกของการอบควรผสมโดให้เข้ากันดี โดยใช้เครื่องผสมที่มีความเร็วสูง ขนมปังประเภทนี้จะมีความคงตัวต่อการช้ำ การปั้นก้อนและการปั้นรูปของขนมปังโดยใช้เครื่องอัดโนมตี

โดที่ผสมเป็นรูปแล้ว จะต้องทาที่ผิวด้วยน้ำ แล้วจึงตัดให้เป็นรอยเฉียงขวางบนก้อนโดก่อนที่จะนำไปอบ

ขนมปังประเภทนี้จะต้องอบให้แห้งและกรอบ อย่าอบในตู้อบที่ร้อนมากเกินไป ควรให้มีไอน้ำอยู่ในตู้อบก่อนที่จะนำโดเข้าอบ และคงปล่อยให้ไอน้ำมีอยู่ต่อไปจนกระทั่งโดขึ้นเต็มที่และเริ่มมีสีน้ำตาลที่เปลือกนอก

2) ขนมปังปอนด์หั่วกะโหลก แชนด์วิช และขนมปังนม

ขนมปังเหล่านี้เป็นที่นิยมมากในสหรัฐอเมริกา (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2546) และใช้ในการทำแชนด์วิชชนิดต่าง ๆ ซึ่งต่างจากโรลล์ตรงที่ขนมปังเหล่านี้ทำเป็นแท่ง โดยใช้พิมพ์ขนาดยาวแคบ เพื่อบังคับรูปร่างและปริมาตรของโดให้เสมอกันทั้งสองข้าง มีเนื้อละเอียดนุ่ม ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีของขนมปัง เมื่อนำมาพับทำแชนด์วิชจะให้ผลเป็นที่น่าพอใจ

3) ซอฟต์โรลล์ (Soft Rolls)

ซอฟต์โรลล์ทำจากโดที่มีความเข้มข้นสูง ปกติจะทำจากโดที่มีน้ำตาลและไขมันมากกว่า 2 พวกแรก แป้งที่ทำซอฟต์โรลล์เป็นแป้งที่มีความแข็งปานกลาง คือกลูเตนไม่แข็งมาก โรลล์ที่อบได้จะมีรสหวาน นุ่ม และมีเนื้อละเอียด

ซอฟต์โรลล์ จะมีการพักตัวเพื่อให้ขึ้นฟูก่อนถึงขั้นสูงสุด โดยทั่วไปจะอบในถาดและทิ้งช่วงให้ห่างกันเล็กน้อยพอที่โรลล์จะติดกันหลังจากอบแล้ว ซึ่งเป็นลักษณะของโรลล์ประเภทนี้โดยแฮมเบอร์เกอร์ (hamburger) และฮอตด็อกโรลล์ (hotdog roll) สำหรับผลิตภัณฑ์อื่นที่ทำจากซอฟต์โรลล์นี้ เช่น โคลเวอร์ลีฟ (clover leaf) และบัตเตอร์เฟลกโรลล์ (butter flake roll) จะอบในถาดหลุมหลังจากที่ขึ้นเต็มที่แล้ว อาจใช้น้ำช่วยในการอบเพื่อให้เปลือกของโรลล์บาง และช่วยให้เกิดสีเร็วขึ้นที่เปลือก สำหรับโรลล์ที่มีชื่อปาร์เคอร์เฮาส์ (park kerr house) มักจะอบโดยไม่มีไอน้ำ แต่จะทาผิวด้วยนมหรือนมละลายก่อนอบ

4) ขนมปังหวาน (Sweet Dough)

ขนมปังหวานมีหลายชนิด ที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางได้แก่ ขนมปังหวานทั่วไป คอฟฟี เค้กและขนมปังลูกเกด ขนมปังหวานต่างจากขนมปังจืดในส่วนผสมที่ใช้ โดที่ทาขนมปังหวานจะต้องมีสูตรที่เข้มข้นกว่าโดที่ทำขนมปังจืด โดยมีปริมาณน้ำตาล นม ไขมัน และไข่ สูงกว่าขนมปังจืด ขนมปังหวานจากสูตรพื้นฐานเพียงสูตรเดียวนั้นสามารถดัดแปลงให้เกิดเป็นขนมปังหวานมากมายหลายชนิด โดยการปั่นให้มีรูปร่างและขนาดต่าง ๆ กัน ใส่ไส้ชนิดต่าง ๆ หรือโรยหน้าด้วยไอซิ่ง ต่างชนิดกัน แล้วเรียกชื่อขนมปังหวานเหล่านั้นได้เป็นชื่อต่าง ๆ กัน (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2546)

2.6.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำขนมปัง

1) แป้ง

หน้าที่ของแป้งสาลีที่มีต่อผลิตภัณฑ์

ส่วนใหญ่แล้วแป้งสาลีเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการช่วยให้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และทำให้ผลิตภัณฑ์คงรูปอยู่ได้เมื่ออบเสร็จแล้ว เป็นส่วนผสมหลักที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทุกชนิด ถ้าปราศจากแป้งแล้วเราจะไม่สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้เลย และเนื่องจากแป้งมีหลายชนิดแต่ละชนิดก็เหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์เฉพาะอย่าง ดังนั้นจึงควรเลือกใช้แป้งสาลีที่มีคุณลักษณะเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำ

สารเสริมคุณภาพแป้งสาลี

ในปัจจุบันหลายประเทศในยุโรปรวมทั้งประเทศไทยได้ออกกฎหมายอาหารเพื่อยกเลิกการใช้โพแทสเซียมโบรเมตเป็นสารเสริมคุณภาพแป้งสาลีทำให้บริษัทผู้ผลิตแป้งสาลีต้องเลือกใช้สารออกซิไดซ์ชนิดอื่นแทน เช่น ใช้กรดแอสคอร์บิกในปริมาณ 15-25 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ของแป้งสาลี เพื่อช่วยให้ได้ขนมปังที่มีปริมาตรและเนื้อขนมปังดีขึ้น โดยผสมลงในแป้งก่อนขายให้ช่างทำขนมปัง นอกจากนี้ยังอาจใช้คลอรีนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารออกซิไดส์อย่างอ่อนและเป็นสารฟอกสีแป้งด้วยเพื่อช่วยให้ได้ขนมปังที่มีปริมาตรและเนื้อสัมผัสดีขึ้น หรือใช้เบนโซิลเพอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารฟอกสี จะช่วยให้ได้ขนมปังที่มีเนื้อขนมปังขาวขึ้น โดยผสมลงในแป้งในปริมาณที่เหมาะสม

สารเสริมคุณภาพแป้งสาลีอีกชนิดหนึ่งที่ช่างโม่แป้งสาลีต้องคำนึงถึงคือแป้งมอลต์หรือเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจากเชื้อรา โดยใช้อย่างใดอย่างหนึ่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพแป้งในการทำขนมปังให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้นและมีเนื้อสัมผัสนุ่มขึ้น ถ้าใช้แป้งมอลต์จะใช้ปริมาณ 1,800 ส่วนในล้านส่วนของแป้ง แต่ใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจากเชื้อราเพียง 120 ส่วนในล้านส่วนของแป้ง โดยแป้งมอลต์ก็คือแหล่งของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสเช่นกัน แต่มีประสิทธิภาพในการทนความร้อนได้น้อยกว่าเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจากเชื้อรา จึงต้องใช้ในปริมาณที่มากกว่าซึ่งเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสนี้จะช่วยย่อยสลาย

สตาร์ชในโดยขณะหมัก เพื่อให้ได้น้ำตาลมอลโทสสำหรับการทำงานของยีสต์ให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอลกอฮอล์อย่างเหมาะสมขณะหมักเพื่อให้ได้ขนมปังที่มีปริมาตรดี

2) น้ำ

นอกจากแป้งซึ่งเป็นส่วนผสมหลักในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่แล้ว วัตถุดิบที่สำคัญรองลงมาคือน้ำ ซึ่งถ้าปราศจากน้ำการผลิตขนมปังหรือการทำผลิตภัณฑ์อีกหลายๆ อย่างจะเกิดขึ้นไม่ได้ น้ำที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่นั้นอาจเป็นน้ำทั่วไป หรือเป็นน้ำที่อยู่ในน้ำมัน หรือน้ำผลไม้ก็ได้ คือเป็นของเหลวที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์

น้ำเป็นส่วนผสมที่จัดว่ามีราคาถูกที่สุดในการทำขนมปัง และเป็นส่วนผสมที่สำคัญมากขาดไม่ได้ เนื่องจากน้ำมีหน้าที่รวมตัวกับโปรตีนในแป้งให้เกิดเป็นกลูเตน

หน้าที่ของน้ำที่มีต่อผลิตภัณฑ์

น้ำทำหน้าที่หลายอย่างในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ดังนี้คือ ทำให้เกิดกลูเตน ช่วยควบคุมความชื้นของโด เปอร์เซ็นต์ของน้ำที่ใช้จะแสดงให้เห็นถึงความชื้นของโด ช่วยควบคุมอุณหภูมิของโด และการที่จะทำให้โดมีความอ่อนหรือเย็นสามารถควบคุมที่น้ำได้ ช่วยละลายเกลือและส่วนผสมอื่นที่ไม่ใช่แป้ง เช่น น้ำตาล เกลือ และโปรตีนที่ละลายน้ำได้ให้เป็นเนื้อเดียวกัน ทำให้สตาร์ชเปียกและเกิดการพองตัว ทำให้ง่าย ช่วยให้อเนกประสงค์ทำงานได้ดี ช่วยให้เก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน และช่วยกระจายยีสต์ในการหมักโด

3) น้ำตาล

น้ำตาลเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นผลึก ละลายได้ดีในน้ำและมีรสหวานจัดอยู่ในอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต

หน้าที่ของน้ำตาลที่มีต่อผลิตภัณฑ์

น้ำตาลทำหน้าที่ต่างๆ ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่คือ ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์ เป็นอาหารของยีสต์ในระหว่างการหมัก ใช้เตรียมเป็นไอซิ่งชนิดต่างๆ สำหรับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ช่วยในการตีครีมและตีไข่ให้มีความคงตัวและขึ้นฟู ช่วยให้เนื้อขนมดี ช่วยเก็บความชื้นและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มอยู่ได้นาน ทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์มีสีดี และเพิ่มคุณค่าทางอาหารแก่ผลิตภัณฑ์

4) เกลือ

เกลือที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่นั้นเป็นเกลือป่นละเอียดที่ใช้ประกอบอาหารทั่วไปประกอบด้วยโซเดียมคลอไรด์ ร้อยละ 99 ส่วนที่เหลือเป็นความชื้น คลอไรด์และซัลเฟตอื่นๆ

หน้าที่ของเกลือที่มีต่อผลิตภัณฑ์

ทำให้อาหารมีรสดี เน้นรสกลืนของส่วนผสมอื่นๆ เช่น ความหวานของน้ำตาลจะเด่นชัดขึ้นด้วยรสเค็มของเกลือ ขจัดความไม่มีรสชาติในอาหารให้หมดไป ช่วยควบคุมการทำงานของยีสต์ในโดที่หมักให้ขึ้นฟูด้วยยีสต์ และควบคุมอัตราการหมัก ช่วยให้อายุของโดมีกำลังในการยืดตัว ช่วยให้เกิดสีของเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์ ช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการในโดที่หมักด้วยยีสต์ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมปัง เกลือที่ใส่ลงไปในสูตรจะช่วยให้ขนมปังมีรสชาติเป็นใหญ่ เกลือจะช่วยเน้นรสชาติของส่วนผสมอื่นให้เด่นชัด และจะช่วยทำให้ขนมปังมีกลิ่นรสและคุณลักษณะดีขึ้น เกลือนั้นเป็นตัวที่ทำให้โดแข็งขึ้น ถ้าไม่มีเกลือโดจะแฉะ เพราะฉะนั้นเกลือจึงช่วยให้ขนมปังมีเนื้อสัมผัสและมีรูเซลล์ที่ดีจากการที่โดมีกำลังในการอุมก๊าซ เกลือจะทำให้การหมักคงตัว เกลือจะไม่ทำลาย

ยีสต์ จะดึงน้ำออกจากยีสต์แต่ไม่ทำให้ยีสต์ตาย เกลือจะทำให้การทำงานของเอนไซม์ไซเมสช้าลงในการใช้น้ำตาลและผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอลกอฮอล์

5) สิ่ง чтоช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู

สิ่ง чтоช่วยให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู มีความเบา โปร่ง มีลักษณะเนื้อในเป็นรูมี 3 ชนิดคือ

- (1) อากาศ
- (2) ไอน้ำ
- (3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

หน้าที่ของสิ่ง чтоให้ขึ้นฟูต่อผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความเบา ขึ้นฟู ง่ายต่อการขบเคี้ยว ผลิตภัณฑ์ที่ใส่สารเหล่านี้จะมีลักษณะเนื้อในเป็นรูโปร่ง ดังนั้นน้ำย่อยจึงสัมผัสกับอาหารได้หมด ทำให้อย่อยได้ง่ายขึ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความน่ารับประทานและอร่อย

6) ไขมัน

ไขมันและน้ำมันประกอบด้วยกรดไขมัน 3 โมเลกุลกับกลีเซอรอล ซึ่งกรดไขมันหนึ่งชนิดหรือมากกว่าหนึ่งชนิดจะรวมตัวกับโมเลกุลของกลีเซอรอลเพื่อให้เกิดเป็นไตรกลีเซอไรด์ กลีเซอรอลเป็นของเหลวชั้นเหมือนน้ำเชื่อมไซรัปที่หนากว่าน้ำ มีรสหวาน ส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ที่มีลักษณะแข็งที่อุณหภูมิของห้อง เรียกว่า ไขมัน และส่วนประกอบที่มีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิของห้อง เรียกว่า น้ำมัน ทั้งไขมันและน้ำมันจะมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าน้ำ และมีคุณสมบัติเฉพาะต่างกันไป

หน้าที่ของไขมันในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

(1) ผลิตภัณฑ์ที่ใช้อยีสต์ เช่น ขนมปัง โรล ไขมันมีหน้าที่

- ก. ให้ความอ่อนนุ่ม และให้กลิ่นรสที่ดี
- ข. ช่วยในการกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น โดยทำให้กลูเตนมีความแน่นจนอากาศเข้าไม่ได้ซึ่งทำให้ปริมาตรและเปลือกนอกของขนมปังดีขึ้น
- ค. ช่วยหล่อลื่นกลูเตนให้ยืดหดได้ดี โดยช่วยการขยายตัวของผนังเซลล์และจัดโครงสร้างของกลูเตน ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มปริมาตรของขนมปัง

(2) ผลิตภัณฑ์เค้ก

ก. ไขมันช่วยในการเกิดครีม ในการทำผลิตภัณฑ์ขนมเค้กนั้น ค่าของการเป็นครีมของไขมันนั้นเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะในการผสมแบบน้ำตาล-เนยของการทำบัตเตอร์เค้กหรือเค้กเนยซึ่งจะต้องตีเนยกับน้ำตาลให้ขึ้นฟูก่อน การใช้ไขมันจากพืชหรือเนยขาวที่ผ่านการเติมก๊าซไฮโดรเจนเข้าไบนั้น จะตีครีมกับน้ำตาลได้ดีเพราะไขมันแข็งสามารถจับอากาศที่ได้จากการตีครีมได้มากกว่าเนื่องจากเนยขาวนั้นมีลักษณะที่ยืดหยุ่นดีกว่าคือ ไม่แข็งที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ได้เค้กที่มีเนื้อละเอียด

ค่าของความเป็นครีม (Creaming quality) หมายถึง ความสามารถของไขมันในการที่จะเก็บอากาศเข้าไว้ เมื่อไขมันถูกตีแรงๆ และเร็ว โดยเฉพาะเมื่อสัมผัสกับส่วนผสมอื่น ๆ ในเค้กบัตเตอร์

ข. ไขมันพวกอิมัลซิไฟด์จะทำให้ส่วนผสมของเค้กที่มีสัดส่วนของน้ำและน้ำตาลเข้ากันได้ โดยน้ำกับไขมันจะไม่แยกตัว ทำให้สามารถตีครีมได้ดีซึ่งเป็นผลดีต่อคุณภาพของเค้ก โดยเฉพาะ ไฮ-เรโซเค้ก ซึ่งเป็นเค้กที่มีสัดส่วนของน้ำและน้ำตาลสูง

ค. เนยสดให้กลิ่นรสที่ดี แต่มีคุณค่าในการเป็นครีมด้อยกว่าเนยขาว เมื่อตีครีมจะขึ้นไม่ฟูเท่าเนยขาวและขาดความสม่ำเสมอ

(3) ผลลัพธ์คุกกีและเพสตรี ความสำคัญของไขมันอยู่ที่ค่าของการเกิดครีมที่ดีและความยืดหยุ่นของไขมัน คุกกีนั้นใช้ไขมันประมาณร้อยละ 10-15 และในเพสตรีใช้ประมาณร้อยละ 40 (จิตธนา แจ่มเมฆและ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2546)

2.7 ขนบแป้งปราศจากกลูเตน

ได้จากแป้งที่มีคาร์โบไฮเดรตธรรมชาติ ซึ่งพัฒนามาจากหลายประเทศซึ่งผลิตได้ต้นทุนที่ต่ำกว่า และเป็นแหล่งพลังงานสำหรับผู้ป่วยโรค celiac ซึ่งเป็นผู้ที่ไม่ทนโปรตีนชนิดไกลอะดินและโปรตีนอื่นๆ ที่คล้ายกันที่พบโดยทั่วไปในข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ ขนบแป้งที่ปราศจากกลูเตนจะมีลักษณะเฉพาะของปริมาตร เนื้อสัมผัสคล้ายกับขนบแป้งข้าวสาลี เมื่อนำแป้งที่ปราศจากกลูเตนมาผสมเป็นโด จะไม่มีโครงสร้างของโด เพราะฉะนั้นจึงสูญเสียคุณภาพของขนบแป้งที่ดี

คุณสมบัติที่สำคัญของขนบแป้งที่ปราศจากกลูเตนคือ เนื้อขนบแป้งมีความแน่นและเหนียว มีนักวิจัยหลายคนที่ยพยายามใช้สารปรุงแต่งเพื่อพัฒนาคุณภาพของขนบแป้งที่ปราศจากกลูเตน เช่น กัม อิมัลซิไฟเออร์ สตาร์ชหรือแป้งที่ทำให้เกิดเจลลาตินซ์ หรือใช้กัมร่วมกับเอนไซม์เพื่อเสริมให้โครงสร้างโปรตีนของข้าวแข็งแรงขึ้น เนื่องจากการสร้างพันธะไฮโดรเจน ข้าวที่ทำให้เกิดเจลลาตินซ์มีความสามารถในการเกิดโครงสร้างสามมิติ ซึ่งกักเก็บแก๊สและขยายในระหว่างการหมัก การอบขนบแป้งที่ปราศจากกลูเตน ในปัจจุบันการผลิตขนบแป้งที่ปราศจากกลูเตนใช้แป้งข้าวที่ทำให้ขึ้นรูป ซึ่งสามารถทดแทนกลูเตนด้วยแป้งข้าว 10 กรัมต่อ 100 กรัม และได้ผลดีที่สุดเมื่อวัตถุดิบที่ถูกเอาปริมาณน้ำออก 20 มิลลิลิตรต่อ 100 กรัม และอุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเจลลาตินซ์ของสตาร์ชสามารถทำให้กระบวนการผลิตขนบแป้งที่ปราศจากกลูเตนยังคงอยู่

แป้งพรีเจลสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ทันที และเกิดการเปลี่ยนแปลงกรดของสตาร์ชที่ทำให้เกิดเจลลาตินซ์เพิ่มขึ้นในพันธะโดยลดขนาดโมเลกุลของสตาร์ช กรดเกลือช่วยปรับปรุงพันธะไกลโคซิดิก นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้กรดอินทรีย์ในการดัดแปรสตาร์ชเช่นกรดคาร์บอกซิลิกคล้ายกับกรดฟอสฟอริกสามารถทำปฏิกิริยากับสตาร์ชในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ในทางตรงกันข้ามความเหมือนของกรดซิตริกและอะซิติกไม่สามารถทำปฏิกิริยาโดยที่มีน้ำเป็นตัวกลางได้ โดยต้องการความร้อนในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นการใช้กรดอินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่ำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปได้ จุดประสงค์ของการพัฒนาโครงสร้างสามมิติของสตาร์ชที่ทำให้เกิดเจลลาตินซ์ คือ ต้องมีการผสมกับน้ำ (Clerici, et al, 2009)

Lopez et al (2004) ได้ศึกษาการแทนที่แป้งสาลีในการผลิตขนบแป้งปราศจากกลูเตนด้วยแป้งข้าว แป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง พบว่าขนบแป้งที่ปราศจากกลูเตนที่ทำจากแป้งข้าวโพดจะให้ลักษณะปรากฏของโครงสร้างที่ดี และมีปริมาตรจำเพาะที่ดีว่าแป้งข้าวและแป้งมันสำปะหลัง ส่วนปริมาณความชื้นไม่แตกต่างกัน ในด้านการทดสอบทางประสาทสัมผัสของขนบแป้งที่ทำจากแป้งข้าว

มีลักษณะปรากฏ สีเปลือกนอก สีเนื้อใน และระดับความพึงพอใจสูงกว่าแ่งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลัง และแป้งข้าวยังทำให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่ม และบัตเตอร์ยังมีความคงตัวอีกด้วย ส่วนแป้งมันสำปะหลังจะให้ความยืดหยุ่น และให้เนื้อสัมผัสที่เหนียว ส่วนลักษณะทางประสาทสัมผัสยังไม่เป็นที่ต้องการ และขนมปังปราศจากกลูเตนที่มีการผสมระหว่างแป้งข้าวร้อยละ 45 แป้งข้าวโพดร้อยละ 35 และแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 20 ทำให้ขนมปังมีลักษณะที่ดี เนื้อแน่น เซลล์มีลักษณะที่ดี รวมถึงกลิ่นและลักษณะปรากฏเป็นที่พึงพอใจของผู้บริโภค

Moore et al (2006) ได้ศึกษาผลของเอนไซม์ทรานกลูตามิเนส (TGase) ที่ระดับ 0, 0.1, 1 และ 10 Unit ของ TGase/g ของโปรตีน ต่อคุณภาพของขนมปังปราศจากกลูเตน โดยใช้แป้งข้าว (ร้อยละ 35) แป้งมันฝรั่ง (ร้อยละ 30) แป้งข้าวโพด (ร้อยละ 27.5) และแซนแทนกัม (ร้อยละ 1) ในอัตราคงที่ และแปรรูประดับชนิดโปรตีน (หางนม :SMP ร้อยละ 12.5, ถั่วเหลืองและไข่ผง) พบว่าขนมปังที่เติมโปรตีนจากถั่วเหลืองและไม่เติม TGase มีค่า bake loss สูงที่สุด ขณะเดียวกันความชื้นขนมปังจากโปรตีนถั่วเหลืองและหางนมมีค่าสูงสุด ปริมาตรจำเพาะมีค่าสูงสุดในขนมปังจากโปรตีนจากไข่ผง และขนมปังยังมีเซลล์ก่อนขนมปังสูงสุดด้วย ส่วนค่าความแข็งของขนมปังที่ได้จากหางนมและเติม TGase ทุกระดับและเก็บรักษาวันที่ 0 มีค่าต่ำสุด ในทางตรงกันข้าม ขนมปังที่ได้จากโปรตีนหางนมจะมีความแข็งต่ำสุดเมื่อเก็บรักษาวันที่ 5 และการเติม TGase ทุกระดับ

2.8 โซเดียมเคซีนเนต (sodium caseinates)

เป็นโปรตีนที่มีคุณสมบัติลดแรงตึงผิว (amphiphilic) มีการใช้ประโยชน์ในอาหารหลายชนิด มีการรายงานผลในเชิงบวกของแคลเซียมของเคซีนเนต ในกระบวนการผลิตขนมปัง และมีการรายงานผลของผลกระทบของเคซีนเนตในกระบวนการผลิตขนมปัง (Kenny et al, 2001)

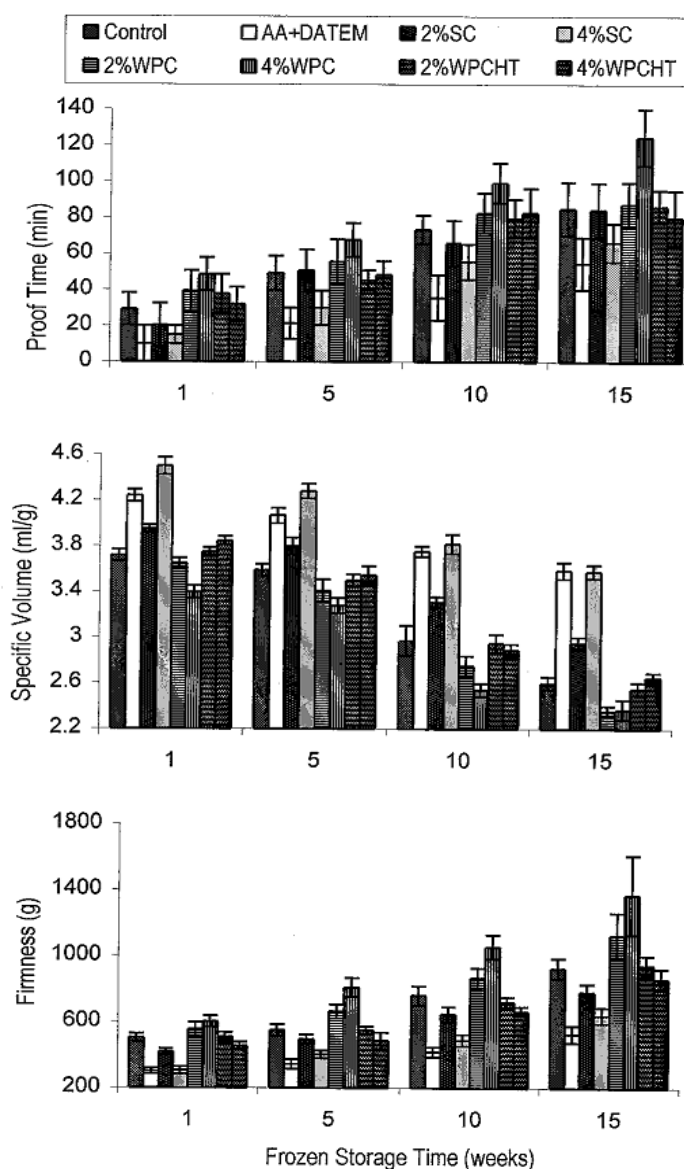
ตาราง 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของโซเดียมเคซีนเนต

Component	U.M.	Sodium caseinate
Proteins	%	89.5
Fat	%	0.8
Ash	%	4.5
Moisture	%	5.0

ที่มา: Constandache et al (2009)

Kenny et al, 2001 ได้ศึกษาส่วนผสมประเภทนมที่เติมในผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีคุณสมบัติเชิงหน้าที่และสารอาหารเพิ่มสูงขึ้น โซเดียมเคซีนเนต (SC) และ เวย์โปรตีน (WPC) นำมาเกี่ยวข้องกับโดแห่งแข็ง ซึ่ง WPC เมื่อได้รับความร้อนทำให้โครงสร้างของกลูเตนอ่อนตัวลง การใช้ SC 2 หรือร้อยละ 4 และลดเวลาในการบ่ม ปริมาตรของขนมปังจะเพิ่มขึ้นและปรับปรุงเนื้อสัมผัส การเติม SC ร้อยละ 4 มีผลต่อคุณภาพการอบ คล้ายกับการเติม ascorbic acid (AA) และ diacetyl tartaric acid esters of

monoglycerides (DATEM) การเติม WPC และเพิ่ม เวลาการบ่ม ทำให้ปริมาตรลดลง และส่งผลต่อเนื้อสัมผัสในด้านลบ การให้ความร้อนแก่ WPC ช่วยปรับปรุงการอบ ขนมปังที่มี WPCHT มีปริมาตรคล้ายกับตัวอย่างควบคุมที่ปราศจากส่วนผสมของนม การเติม SC ร้อยละ 4 ลดการขัดขวางการยืดหยุ่น (วัดความยืดหยุ่นได้รัศมี 5cm) ขณะที่ การเติม WPC ร้อยละ 4 ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น



ภาพประกอบ 2.7 ผลของโปรตีนในนมต่อคุณสมบัติการอบโดแซ่แข็งเวลาในการบ่ม ปริมาตรจำเพาะ และความนุ่มของ crumb (n = 3, วัดหลังอบ 3 ชั่วโมง)

ภาพประกอบ 2.7 แสดงอิทธิพลของเวย์โปรตีนและโซเดียมเคซีเนต ต่อคุณสมบัติการอบของโดแช่แข็ง โดยควบคุมไม่มีปริมาณส่วนผสมนมหรือสารเติมแต่ง ส่วนโดที่มีส่วนผสมของนมมีปริมาณ WPC และ SC ร้อยละ 2 และ 4 ของน้ำหนักแป้ง สูตร AA + DATEM (มีปริมาณของ ascorbic acid 100 ppm และ DATEM ร้อยละ 0.5) ได้รับการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบ ส่วนโดที่ไม่มี WPC ได้รับการอบนานที่สุด การเติมสารวัตถุเจือปน (AA และ DATEM) หรือ SC ลดเวลาในการอบ การเติม SC ร้อยละ 2 และ 4 หรือการเติม (AA + DATEM) ปริมาตรจำเพาะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในขณะที่มีการเติม WPC ปริมาตรจำเพาะลดลง ($P < 0.05$) ขนมปังที่ได้จากโดแช่แข็งกับ WPCHT มีปริมาตรจำเพาะสูงกว่าที่ไม่มี WPC อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ความแน่นเนื้อของ crumb ของขนมปังที่ได้จากโดแช่แข็ง ถูกนำมาวัด 3 ชั่วโมงหลังจากการอบ

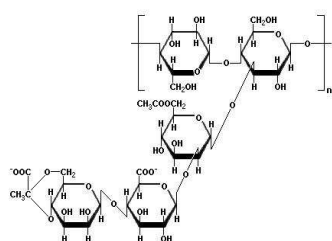
การเติม SC ร้อยละ 4 ทำให้ความแน่นของ crumb ลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุม การเติม WPC ร้อยละ 2 หรือ 4 ความแน่นเนื้อของ crumb จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) การให้ความร้อนของ WPC ทำให้ความแน่นเนื้อของ crumb ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ซึ่งสามารถเห็นได้โดยการเปรียบเทียบโดที่มี WPC กับ โดที่มี WPCHT โดยรวม SC มีผลกระทบเชิงบวกอย่างมากต่อคุณสมบัติการอบของโดแช่แข็ง จะดูดซับน้ำเพิ่มมากขึ้น

การปรับปรุงคุณสมบัติการอบของโดแช่แข็งที่มี SC ร้อยละ 2 และ 4 เมื่อเทียบกับตัวควบคุม โดยโดแช่แข็งที่มี SC ร้อยละ 4 มีคุณสมบัติคล้ายกับโดแช่แข็งที่เติม AA + DATEM ข้อมูลเหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า SC ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของกลูเตน amphiphilic ของ SC อาจส่งผลต่อโครงสร้างของกลูเตนไม่มีบทบาทที่ได้รับการเผยแพร่เกี่ยวกับผลของ caseinates ต่อความสดหรือโดแช่แข็ง งานวิจัยที่อธิบายความสดของโดรายงานผลกระทบทั้งในด้านบวกและลบ โดแช่แข็งที่ไม่มี WPC ได้รับอิทธิพลเชิงลบโดยรวมต่อคุณสมบัติการอบ โดที่ได้รับความร้อนที่มี WPC ส่งผลกระทบเชิงลบและโดแช่แข็งที่มี WPCHT มีคุณสมบัติการอบที่เหนือกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโดที่มี WPC นอกจากนี้ WPCHT อย่างไรก็ดีตามไม่มีการปรับปรุงคุณสมบัติการอบของโดแช่แข็งเมื่อเทียบกับตัวควบคุม อิทธิพลด้านลบของ WPC มีผลต่อคุณภาพของโดแช่แข็งที่สามารถขยายโดยโครงสร้างของกลูเตนที่อ่อน ผลกระทบด้านลบของ WPC ในโดเห็นว่า WPC เป็นหมู่ SH ทำปฏิกิริยาสัมพันธ์กับ SH -SS ปกติที่เกิดขึ้นระหว่างการพัฒนาของกลูเตน ซึ่งส่งผลให้ไม่มีความอ่อนและยืดหยุ่น WPC มีประสิทธิภาพต่ำในการทดลองการอบโดสดมีระดับสูงของกลุ่ม SH ปฏิกิริยาทางเคมีของสารตกค้าง SH มีผลในการปรับปรุงในคุณลักษณะการอบ การเสียดทานของเวย์โปรตีนส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน และไม่เกิดโปรตีน ซึ่งอาจช่วยลดผลของกลุ่ม SH ที่เกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์ (Kenny et al, 2001)

2.9 แขนแทนกัม (xanthan gum)

แขนแทนกัมได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Xanthomonas* ชนิดที่ใช้ผลิตในระดับอุตสาหกรรม คือ *Xanthomonas campestris* โมเลกุลของแขนแทนกัม เป็นโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ประเภท heteropolysaccharide ที่เป็นสายโพลิเมอร์ของ β -D-glucose มีโครงสร้างคล้ายกับเซลลูโลส (cellulose) แต่ทุกๆ 2 โมเลกุลของกลูโคส (glucose) เชื่อมต่อกับกิ่งของ trisaccharide ที่เกิดจากน้ำตาลแมนโนส (mannose) 2 โมเลกุลและ กรดกลูคูโรนิก (glucuronic acid) 1 โมเลกุล โมเลกุลของแมนโนสที่อยู่ติดกับสายหลักมีเอสเตอร์ของกรดอะซิติกที่คาร์บอน

ตำแหน่งที่ 6 และ แมนโนส ที่ตำแหน่งปลายของ trisaccharide มีกรดไฟโรวิกเชื่อมต่อกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 และ 6 (Sharma et al, 2006) สารละลายแซนแทนกัมให้ความหนืดสูงแม้ที่ความเข้มข้นต่ำ มีความคงตัวสูงต่อความร้อน ความหนืดของสารละลายแซนแทนกัมจะคงที่ ถึงแม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงในช่วง 0- 100 องศาเซลเซียส และแสดงลักษณะการเป็นซูโดพลาสติกสูง คือความหนืดมีค่าลดลงมากเมื่อให้แรงเฉือนเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดตามระยะเวลา (thixotropic) สมบัติการเป็นซูโดพลาสติกนี้เกิดจากโครงสร้างเฉพาะตัวของแซนแทนกัม เมื่ออยู่ในสารละลายแซนแทนกัมจะสร้างโครงสร้างร่างแหระหว่างโมเลกุลของแซนแทนกัมมีโครงข่ายคล้ายเจล weak net (semi rigid conformation) เมื่อมีแรงกระทำ เช่น เมื่อได้รับแรงเฉือนจากการกวน จะเปลี่ยนโครงสร้างจากไปเป็น rod like conformation โดยแรงเฉือนจะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่แบบชั่วคราวและผันกลับได้อย่างสมบูรณ์ สมบัตินี้เป็นประโยชน์มากเมื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิต เช่น การกวน การขึ้นรูป การนวด การเท การเกิดโฟม และอิมัลชัน โดยช่วยลดแรงที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิตให้น้อยลง แซนแทนกัมไม่มีสมบัติเป็น gelling agent แต่สามารถเกิด weak gel ได้ (ยุพินทรา ชันติวัฒนกุล, 2550)



Xanthan Gum ผลิตจาก แบคทีเรีย Xanthomonas campestris

ที่มา: Sharma et al (2006)

ภาพประกอบ 2.8 โครงสร้างของแซนแทนกัม

แซนแทนกัมมีคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

- 1) ละลายน้ำได้ดี
- 2) ให้ความหนืด แบบ non newtonian fluid โดยมีพฤติกรรมเป็นแบบ shear thinning fluid
- 3) แซนแทนกัมไม่เกิดเจล (gel) เนื่องจากโครงสร้างเป็นกิ่งก้านสาขา (branching) แต่จะเกิดเจลได้เมื่อใช้ร่วมกับกัมบางชนิด เช่น โลคัสบินกัม (locust bean gum) กวักกัม (guar gum) แซนแทนกัม ใช้ในอาหารเพื่อเป็นวัตถุเจือปนอาหาร (food additive) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ เป็น thickening agent ทำให้อาหารมีความข้น ความหนืด (viscosity) ทนความร้อนได้สูง ทำให้อาหารคงรูป (stabilizer) นํารับประทาน มันวาว โดยมักใช้ แซนแทนกัมผสมกับกวักกัม (guar gum) เพื่อเพิ่มความหนืด ดีกว่าใช้เดี่ยว ใช้ทดแทนไขมัน (fat replacer) ในอาหารแคลอรีต่ำ ใช้เป็นสารก่อโฟม (foaming agent) ป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง

ผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการใช้แทนกันได้แก่ โยเกิร์ต (yogurt) เบเกอรี่ (bakery) ไส้ขนม (filling) ไอศกรีม (ice cream) วิปปิงครีม (whipping cream) น้ำสลัด (salad dressing) มายองเนส น้ำเกรวี่ที่ราดบนเนื้อสัตว์ และอาหารแช่แข็ง (frozen food) (Sharma et al, 2006)

2.10 การนำแป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

ปัจจุบันการบริโภคผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้การนำเข้าข้าวสาลี เพื่อแปรรูปเป็นแป้งสาลีในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มีปริมาณสูง ดังนั้นรัฐบาลจึงให้การสนับสนุนงานวิจัยที่สามารถใช้ประโยชน์จากแป้งข้าวเพื่อทดแทนแป้งสาลี ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อช่วยลดการนำเข้าข้าวสาลีจากต่างประเทศ และเพิ่มมูลค่าข้าวให้สูงขึ้น และได้แนวทางในการพัฒนาแป้งข้าวให้มีคุณสมบัติเหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผู้บริโภคจะได้รับประโยชน์ เพราะผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาจากข้าวได้รับการยอมรับว่ามีคุณค่าทางโภชนาการที่ดี เพราะข้าวประกอบไปด้วยโปรตีนที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้และย่อยง่าย มีคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยง่ายเช่นเดียวกัน และมีส่วนไขมันที่มีกรด ไขมันไม่อิ่มตัวอยู่มากกว่าร้อยละ 70 ซึ่งอุดมไปด้วยสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชันที่พบในธรรมชาติ มีการใช้แป้งข้าวในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มากมายหลายชนิด โดยการทำเป็นแป้งผสม และการใช้แป้งข้าวทั้งหมด เช่น ขนมปัง คุกกี้ และเค้ก เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

1. ขนมปัง แป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียวในอัตราส่วน 1:1 สามารถทดแทนแป้งสาลีได้ ร้อยละ 10-30 ในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิชโดยเติมสารปรับปรุงคุณภาพแป้ง คือ โปรตีนกลูเตน ร้อยละ 12, Distilled monoglyceride (MGL) ร้อยละ 0.3, Diacetyl tartrate ester of monoglyceride (DATEM) ร้อยละ 0.3, Sodium stearyl lactylate (SSL) ร้อยละ 0.3, เอนไซม์ แอลฟาอะมิเลส ร้อยละ 0.005

การผลิตขนมปังแป้งข้าวล่วนควรใช้แป้งข้าวชนิดอมิโลสต่ำที่ได้จากการโม่แห้งให้มีความละเอียด 120-140 เมช และปรับปรุงคุณภาพของแป้งโดยเติม hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC) ร้อยละ 2.5-3.0 และควรผลิตเฉพาะขนมปังก้อนเล็ก

2. ผลิตภัณฑ์เส้น แป้งข้าวชนิดอมิโลสสูงและปานกลางสามารถทดแทนแป้งสาลีในการผลิตมะหมี่และมีสั่ว ได้ร้อยละ 35-40 โดยเติมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิด high crosslinked หรือ low crosslink ร้อยละ 5-10 หรือแป้งพรีเจลลาติไนซ์จาก extrusion ร้อยละ 10 เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแป้ง

3. ผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋ แป้งข้าวสามารถทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋ได้ร้อยละ 40 ทั้งนี้ระยะเวลาการหมักให้แป้งขึ้นฟูไม่ควรเกิน 4 ชั่วโมง

4. ขนมคุกกี้ แป้งข้าวอะมิโลสปานกลางและสูงชนิดโม่ไม่สามารผลิตขนมคุกกี้ได้ ทั้งนี้ควรเติมแป้งพรีเจลลาติไนซ์ชนิดโม่จากข้าวสุกอบแห้งร้อยละ 20 เพื่อยืดอายุความกรอบของขนมให้นานขึ้น

5. ขนมเค้ก แป้งข้าวที่เหมาะสมสำหรับทำเค้กแทนแป้งสาลีร้อยละ 100 ควรเป็นแป้งอะมิโลสต่ำที่ได้จากการโม่แห้ง ทั้งนี้ควรเติม SP ซึ่งเป็น emulsifier เพื่อช่วยการขึ้นฟู แป้งชนิดโม่ไม่สามารทดแทนแป้งสาลีได้ร้อยละ 80 (ทศพร นามโสง, 2549)

2.11 การผลิตข้าวางอก

การผลิตข้าวางอกทั่วไปมีขั้นตอนสำคัญดังนี้

2.11.1 การแช่ข้าว (steeping)

มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดและเกิดการกระจายตัวเข้าไปในส่วนต่างๆ อย่างสม่ำเสมอเพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดการงอกของเมล็ดและการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางเคมีในเนื้อเมล็ด โดยมีปัจจัยที่ต้องควบคุมคือ อุณหภูมิและการให้อากาศ การดูดน้ำของข้าวแบ่งออกเป็น 3 ระยะ

1) ระยะแรกเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยกระบวนการแพร่ (diffusion) เพียงอย่างเดียว จนกระทั่งได้ความชื้นประมาณร้อยละ 32 โดยน้ำหนักการเพิ่มขึ้นของความชื้นในระยะนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าว ดังนั้นระยะเวลาที่ใช้ในการดูดน้ำจนได้ความชื้นตามที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้

2) ระยะที่สองเป็นช่วงที่มีอัตราการดูดน้ำลดลง (lag phase) จนกระทั่งมีอัตราการดูดน้ำเป็นศูนย์

3) ระยะสุดท้ายเป็นส่วนที่มีอัตราการดูดน้ำเพิ่มขึ้นจนกระทั่งได้ความชื้นคงที่ร้อยละ 45 ซึ่งอัตราเร็วการดูดน้ำของเมล็ดและระยะเวลาที่ใช้ในการแช่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการแช่ ขนาดของเมล็ด ชนิดและสายพันธุ์ของข้าว ตลอดจนลักษณะของส่วนประกอบในเนื้อเมล็ด ผลของอุณหภูมิต่อการแช่พบว่าการใช้อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดอย่างรวดเร็ว ทำให้การกระจายตัวของความชื้นในส่วนต่างๆ ของเมล็ดไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะในส่วนเนื้อเมล็ด และคัพภะทำให้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในการผลิตเอนไซม์ การเจริญของรากและลำต้นมีประสิทธิภาพต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากใช้อุณหภูมิในการแช่ต่ำเกินไป การดูดน้ำของเมล็ดจะเป็นไปอย่างช้าๆ เกิดการกระจายตัวของความชื้นภายในเมล็ดได้ดี แต่หากใช้ระยะเวลานาน มีผลทำให้ขั้นตอนการงอกของเมล็ดล่าช้าออกไปและเป็นการเพิ่มโอกาสในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ต่างๆ ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของเมล็ดและทำให้ประสิทธิภาพในการงอกลดต่ำลง

ในระยะแรกของการแช่ข้าว คัพภะและเยื่อหุ้มเมล็ด (aleurone layer) ต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในกระบวนการเปลี่ยนแปลงภายในเพื่อกระตุ้นการงอกของเมล็ดทำให้ปริมาณออกซิเจนที่อยู่ภายในน้ำลดลงอย่างรวดเร็วและมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และเอทานอลออกมา อาจเพิ่มอากาศลงไปได้น้ำโดยตรงหรือใช้วิธีการเทน้ำออกแล้วนำข้าวไปสัมผัสกับอากาศ (air rest) สลับการแช่น้ำเป็นช่วงระยะเวลาก็ได้ ในขณะที่ผิวสัมผัสด้านนอกมีลักษณะแห้ง ลักษณะนี้ช่วยในการแพร่ของอากาศที่อยู่ในรูปอิสระเข้าไปอยู่ในรูปอากาศที่ละลายน้ำภายในเมล็ด ทำให้เมล็ดสามารถนำออกซิเจนในรูปที่ละลายน้ำนั้นไปใช้ในกระบวนการงอกต่อไป

2.11.2 การงอก (germination)

มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่สะสมไว้ภายในส่วนเนื้อเมล็ดให้อยู่ในรูปโครงสร้างที่ย่อยสลายได้ง่ายโดยการทำงานของเอนไซม์ ในขั้นตอนการงอกเมล็ดจึงมีการผลิตเอนไซม์ย่อยสลายในปริมาณที่สูง โดยทั่วไปในเมล็ดข้าวมีเอนไซม์เบตาอะไมเลส (β -amylase) สะสมอยู่แล้ว เอนไซม์ชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นมาพร้อมกับการพัฒนาของเมล็ดจนกลายเป็นเมล็ดที่สมบูรณ์ ดังนั้นในขั้นตอนการงอกของเมล็ดจึงเป็นการผลิตเอนไซม์เบตาอะไมเลสเป็นหลัก การสร้างเอนไซม์

แอลฟาอะไมเลสเกิดขึ้นในส่วนคัพพะ โดยการกระตุ้นของฮอร์โมนจิบเบอเรลลินที่ถูกสร้างในขณะเกิดการงอก นอกจากเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสและกรดจิบเบอเรลลินยังเป็นตัวกระตุ้นให้เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดผลิตเอนไซม์ชนิดอื่นๆ เช่น limitdextrinase, β -glucanase, α -glucosidase, pentosanase, cellobiase, laminaribiase และ xylanase นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์อีกสามชนิดคือ β -1-3-glucanase, phytase และ phosphatase

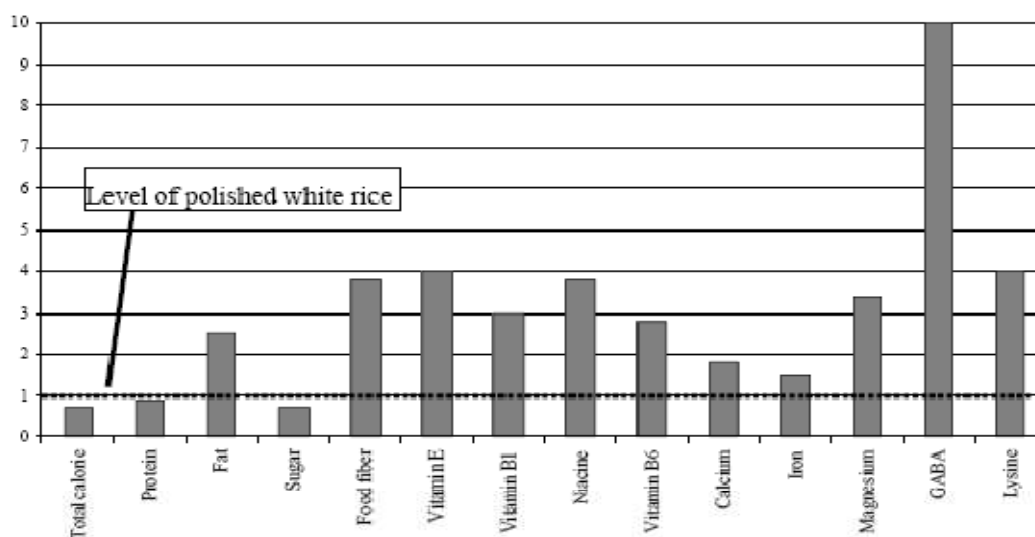
หลังจากคัพพะและเยื่อหุ้มเนื้อเมล็ดมีการผลิตเอนไซม์ต่างๆ ขึ้นมาแล้ว เอนไซม์เหล่านี้จะถูกส่งเข้าไปทำการย่อยสลายสารอาหารต่างๆ ที่สะสมอยู่ในส่วนในเนื้อเมล็ด ปรากฏการณ์ที่เอนไซม์ต่างๆ กระจายตัวเข้าสู่ในเนื้อเมล็ด เกิดการย่อยสลายสตาร์ชและโปรตีนที่สะสมอยู่ในเนื้อเมล็ด เรียกว่า modification ผลผลิตที่เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสตาร์ชประกอบด้วยน้ำตาลรีดิวซ์ชนิดต่างๆ เช่น กลูโคส มอลโตส มอลโตไตรโอสและฟรุคโตส เป็นต้น สิ่งที่ยังบอกว่าการงอกของเมล็ดคือการเกิดจุดขาวที่เรียกว่า white chit เป็นส่วนของรากเทียม (root sheat) งอกออกมาจากส่วน coleorhiza ทางทะลุส่วน pericarp และ testa ออกมาจากนั้นจึงเกิดการสร้างรากแท้ (acrospire) ตามออกมามารงอกที่สมบูรณ์จะใช้ระยะเวลาประมาณ 60-72 ชั่วโมง (อนุชิตา มุ่งงามและณฐนนท์ トラซู, 2549)

2.12 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวหลังการงอก

การงอกเมล็ด หมายถึง การที่เมล็ดสมบูรณ์มีการเปลี่ยนแปลงจากสภาพ resing stage หรือ quiescent ไปอยู่ในสภาพที่มีกิจกรรม มีรากทางทะลุเปลือกหุ้มเมล็ดออกมา หลังจากนั้นก็จะมีการเจริญเติบโตของส่วนยอดและได้เป็นต้นกล้าที่สมบูรณ์

ในการงอกของในระหว่างกระบวนการงอกของข้าวนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงสารอาหารและองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิดในเมล็ดข้าว องค์ประกอบส่วนใหญ่ภายในเมล็ดข้าวจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น เช่น γ -aminobutyric acid (GABA), dietary fiber, inositols, ferulic acid, phytic acid, tocotrienols, magnesium, zinc, γ -oryzanol, and prolylendopeptidase inhibitor (Kayahara and Tukahara, 2000) Kayahara และ Tukahara ชี้ให้เห็นว่าสารอาหารที่มีอยู่ในข้าวงอกที่มีความสัมพันธ์กับระดับการสีของข้าวโดย GABA มีปริมาณเพิ่มขึ้นถึง 10 เท่า dietary fiber, vitamin E, niacine, lysine ปริมาณเพิ่มขึ้นเกือบ 4 เท่า และ vitamin B1, vitamin B6 และ magnesium มีปริมาณเพิ่มขึ้น 3 เท่า

Kong et al (2007) ได้ทำการเลือกใช้เอนไซม์ชนิดต่างๆ ในการไฮโดรไลซ์กลูเตนจากข้าวสาลี ซึ่งกลูเตนจะไม่ละลายในน้ำ ซึ่งทำให้เป็นข้อจำกัดในกระบวนการผลิตอาหาร จึงเลือกใช้เอนไซม์ alcalase 2.4L, PTN 6.0s, pepsin, pancreatin, neutrase และ protamexTM ในการไฮโดรไลซ์โปรตีน พบว่าเอนไซม์ทุกชนิดสามารถส่งผลกระทบต่ออัตราการละลายของผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าร้อยละ 60 โดยประสิทธิภาพที่ดีที่สุดได้แก่ชนิด alcalase



ที่มา: อนุชิตา มุ่งงามและ ณฐนนท์ ตราชู (2549)

ภาพประกอบ 2.9 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของข้าวอก

2.13 การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมอาหาร

เอนไซม์เป็นกลุ่มโปรตีนที่มีหน้าที่พิเศษแตกต่างจากโปรตีนอื่นๆ คือ มีความสามารถเร่งปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าตัวเร่งสังเคราะห์เป็นหลายล้านเท่าเมื่อใช้เอนไซม์ปริมาณเพียงเล็กน้อยในระดับไมโครโมลาร์เท่านั้น ซึ่งแม้ในสภาพหลอดทดลอง (in vivo) เอนไซม์ก็สามารถทำงานได้ นอกจากนี้เอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ภายใต้สภาวะไม่รุนแรงเหมาะสมอย่างยิ่งกับภายในเซลล์และเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตทั่วไป เอนไซม์มีความจำเพาะต่อซับสเตรตสูงมากและสามารถเร่งปฏิกิริยาโดยไม่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์อื่น ตลอดทั้งเอนไซม์ยังเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาโดยการลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยา ทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้อย่างเร็วขึ้น (ศิริรัตน์ สีสานาท, 2546)

ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ ได้แก่ (1) อัตราเร็วของปฏิกิริยา (2) ความเข้มข้นของซับสเตรต ทำให้อัตราความเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (3) พีเอช วัดอัตราเร็วเริ่มต้นของปฏิกิริยาที่ถูกเร่งโดยเอนไซม์ที่พีเอชต่างๆ (4) อุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้เอนไซม์เสียสภาพธรรมชาติ อัตราเร็วลดลงทันที (5) ปริมาณเอนไซม์ เมื่อปฏิกิริยาเกิดที่ความเข้มข้นอิ่มตัวของซับสเตรต อัตราความเร็วเริ่มต้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ โดยกำหนดว่าหนึ่งหน่วยสากล (international units, I.U.) ของเอนไซม์มีค่าเท่ากับปริมาณเอนไซม์ที่สามารถเร่งให้ซับสเตรต 1 ไมโครโมล (10^{-6} mole) เปลี่ยนเป็นผลิตภัณฑ์ในเวลาหนึ่งนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ศิริรัตน์ สีสานาท, 2546)

เอนไซม์ย่อยภายใน (Endo-Enzyme) ได้แก่

1) แอลฟา-อะไมเลส (alpha-amylase ; EC 3.2.1.1 ; α -(1,4)-glucan glucanohydrolase) มีชื่อสามัญว่า ไดแอสเตส (diastase) สามารถผลิตได้จากพืช สัตว์ เชื้อรา และแบคทีเรีย ในทางอุตสาหกรรมใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลสที่ได้จากเชื้อจุลินทรีย์ เช่น ราและแบคทีเรีย โดยเฉพาะเอนไซม์จากแบคทีเรียซึ่งสามารถทนต่ออุณหภูมิสูง เช่น *Bacillus licheniformis* เอนไซม์มีมวลโมเลกุลประมาณ 50 กิโลดาลตัน มีความเสถียรที่พีเอช 5.5-9 และมีความเสถียรที่อุณหภูมิห้องถึง 115 องศาเซลเซียส การทำงานของเอนไซม์ต้องการแคลเซียมไอออนร่วมกับการทำกิจกรรมเพื่อความคงตัวและกระตุ้นการทำงาน ลักษณะการทำงานของเอนไซม์ คือ เอนไซม์ทำงานภายในโมเลกุลของสตาร์ช โดยตัดพันธะกลูโคซิดิกแบบ α -1,4 ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสที่จับอยู่เท่านั้นในลักษณะตัดสายภายในโพลีเมอร์แบบสุ่ม (endo-splitting) ได้ผลผลิตคือ กลูแคน (glucan) และลิมิตเดกซ์ทริน (limit dextrin) ที่มีหน่วยกลูโคสประมาณ 2-6 หน่วย และคงรูปร่างเดิม (α -configuration) ไม่สามารถตัดพันธะกลูโคซิดิกแบบ α -1,6 ได้

2) โปรติเอส (Protease) โปรติเอสเป็นเอนไซม์ที่ช่วยย่อยอาหารภายในร่างกายคน เช่น เปปซิน ทริปซิน ไคโมทริปซิน เปปติเดส นอกจากนี้ยังช่วยควบคุมการแข็งตัวของเลือด การควบคุมการจับเชื้อโรคโดยการย่อยสลายโปรตีนจากภายนอก เช่น คาร์โมทริปซิน ซึ่งลักษณะการเกิดปฏิกิริยาจะสลายพันธะเปปไทด์ด้วยน้ำ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเนยแข็ง เบียร์ อุตสาหกรรมธัญพืช อุตสาหกรรมปรุงแต่งรส อุตสาหกรรมฟอกหนัง ผงซักฟอก และอาหารสัตว์ เป็นต้น เอนไซม์ชนิดนี้สามารถผลิตได้จากเชื้อราและแบคทีเรีย เช่น *Aspergillus oryza* และ *Bacillus subtilis* เป็นต้น

ความสำคัญของเอนไซม์ ได้แก่

- 1) ด้านโภชนาการ เอนไซม์มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยอาหาร เพื่อสลายโมเลกุลของอาหารให้ได้เป็นสารโมเลกุลเล็กและมีการสร้าง (ปล่อย) พลังงานจากสารอาหารเหล่านั้น ควบคุมไปกับการนำพลังงานที่ได้ไปสร้างสารพลังงาน พร้อมทั้งสังเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ภายในเซลล์ เพื่อการเจริญเติบโตในขั้นตอนต่อไปของเซลล์มีชีวิต
- 2) ด้านสุขภาพและโรคภัย บำบัดโรคที่เกี่ยวกับเอนไซม์ เช่น โรค phenylketonuria เป็นโรคที่ร่างกายไม่สามารถเมตาโบไลซ์ ฟีนิลอะลานีน เนื่องจากร่างกายขาดเอนไซม์ที่จะเปลี่ยนฟีนิลอะลานีนเป็นโธโรซีนได้ เอนไซม์นี้คือ phenylalanine hydroxylase ดังนั้นคนป่วยโรคดังกล่าวจะต้องควบคุมอาหารที่มีฟีนิลอะลานีนต่ำ
- 3) ด้านการวิเคราะห์เนื่องจากเอนไซม์มีสมบัติพิเศษโดยเฉพาะในลักษณะของความจำเพาะ ปฏิกิริยาไม่รุนแรง จึงได้นำเอนไซม์มาใช้ในการวิเคราะห์ เช่น การวิเคราะห์ระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด ปัสสาวะและในเนื้อเยื่อ
- 4) ด้านอุตสาหกรรม แนวทางการใช้เอนไซม์ในทางอุตสาหกรรมได้มีวิวัฒนาการเรื่อยมาจนถึงปัจจุบัน ทั้งนี้ในลักษณะการใช้งานจะเป็นไปตามลักษณะของเอนไซม์นั้นๆ โดยมีวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน เพื่อการผลิตสารใหม่ เพื่อปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ เป็นต้น (ปรางิ์ อ่านเปรื่อง, 2535)

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Moongngarm and Saetung (2010) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของข้าวฮอก (*Oryza sativa* L.,สายพันธุ์ RD-6) ได้แก่ ข้าวกล้องฮอก ข้าวกล้อง และแบ่งข้าวฮอกสกัด พบว่าการรอกทำให้ปริมาณโปรตีน น้ำตาลรีดิวซ์ เพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมัน เส้นใยและเถ้าไม่แตกต่างกัน โดยแบ่งข้าวฮอกสกัดมีระดับของน้ำตาลรีดิวซ์สูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวฮอก ข้าวกล้องฮอก และข้าวกล้อง ตามลำดับ มีค่าระหว่าง 0.19-10.9 เปอร์เซนต์ ส่วนปริมาณโปรตีนของแบ่งข้าวฮอกสกัดมีค่าสูงที่สุด (ร้อยละ 9.51) แต่ไม่ต่างจากข้าวกล้องฮอกและข้าวฮอก (ร้อยละ 9.31 และ 8.98 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญ และข้าวกล้องมีค่าต่ำที่สุด (ร้อยละ 6.98) ส่วนสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ พบว่าแบ่งข้าวฮอกสกัด มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกสูงที่สุด ตามด้วย ข้าวฮอก ข้าวกล้องฮอก และข้าวกล้อง มีค่าระหว่าง 70.3-110 mg/100 g ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลและแกมมาออริซานอลของข้าวฮอกและแบ่งข้าวฮอกสกัดมีค่าไม่แตกต่างกันแต่สูงกว่าข้าวกล้องและข้าวกล้องฮอก ส่วนการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์ระหว่างการรอกของข้าวพบว่ากิจกรรมการรอกของข้าวกล้องและข้าวฮอกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งใช้เวลาในการรอก 72 ชั่วโมงจนถึง 96 ชั่วโมงหลังการรอก เพิ่มขึ้นสูงสุดเท่ากับ 21.0 และ 42.5 U/g DM ในข้าวกล้องฮอก และข้าวฮอกตามลำดับ ในทางตรงกันข้าม กิจกรรมของ แอลฟาอะไมเลสในข้าวไม่รอกมีค่าลดลงเท่ากับ 0.17 U/g DM ซึ่งการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลสขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น สายพันธุ์ และพื้นที่ในการเจริญเติบโต เป็นต้น และพบว่า กิจกรรมของ ข้าวฮอกสูงกว่าข้าวกล้องฮอกในระยะเวลาการรอกทั้งหมด

Sungsopha et al (2009) ศึกษาการปรับปรุงความเข้มข้นของสารออกฤทธิ์และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของรำข้าวฮอก (*Oryza sativa* L.,สายพันธุ์ RD-6) โดยสภาวะที่เหมาะสมคือการใช้ปริมาณรำข้าว 50 กรัม ย่อยด้วยเอนไซม์โปรตีเอส 1 กรัม (140 ยูนิต) ที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส พีเอช 7.5 เป็นเวลา 30 นาที แล้วตามด้วยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร (4032.25 ยูนิต) ที่อุณหภูมิ 65 ± 2 องศาเซลเซียส พีเอช 6.9 เป็นเวลา 60 นาที พบว่า รำข้าวมีลักษณะเป็นผงสีเหลืองนวลและเมื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพพบว่าเป็นสภาวะที่สามารถเพิ่มปริมาณโปรตีนดิบ กรดอะมิโนรวม น้ำตาลรีดิวซ์ สารประกอบฟีนอลิก และค่ากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าปริมาณรำสกัดอื่นๆ ลักษณะของรำข้าวและรำข้าวฮอกก่อนผ่านกระบวนการสกัดมีสีเหลืองนวล ลักษณะเป็นผงละเอียด เมื่อผ่านการสกัดด้วยน้ำและเอนไซม์พบว่าสีเหลืองเข้มขึ้นเป็นผงละเอียดมากขึ้น จากการนำรำข้าวฮอกสกัดด้วยเอนไซม์มาทดสอบความคงตัวของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่สำคัญ คือแกมมาออริซานอลและแอลฟาโทโคเฟอรอล ที่อุณหภูมิระดับต่างๆ พบว่าความร้อนมีผลต่อการสูญเสียปริมาณสารแกมมาออริซานอลและแอลฟาโทโคเฟอรอล อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ปริมาณสารทั้งสองชนิดลดลง โดยลดลงมากที่สุดที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส ระยะเวลาบ่ม 60 นาที

Lin et al (2009) ศึกษาการใช้ buckwheat (*Fagopyrium esculentum* Moench) ทดแทนแป้งสาลี (Uni-President Enterprises Corp., Tainan, Taiwan) ร้อยละ 15 โดยทำเป็นขนมปังเสริม buckwheat โดยวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี คุณภาพทางฟิสิกส์ องค์ประกอบเชิงหน้าที่ และคุณสมบัติการต้านอนุมูลอิสระเปรียบเทียบกับขนมปังขาว พบว่าขนมปังเสริม buckwheat จะมีความสว่างและค่าดัชนีความขาวต่ำกว่า ค่าความเป็นสีแดงและสีเหลืองสูงกว่า ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ seven-point hedonic scale มีค่าระหว่าง 5.33-5.91 ลักษณะปรากฏ

สี และคุณลักษณะการยอมรับรวมไม่แตกต่างกัน ขณะที่ขนมปังเสริม buckwheat มีลักษณะด้านกลิ่นและความรู้สึกในปากสูงกว่า

Hu et al (2009) ศึกษาการเสริมเฮมิเซลลูโลสจากรำข้าว (พันธุ์ Shanghai, PR China) และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายในน้ำ ต่อคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของขนมปัง โดยใช้เดิมเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ พบว่าปริมาณและความแน่นของขนมปังที่เสริมเส้นใยอาหารมีค่าต่ำกว่าขนมปังสูตรปกติ ส่วนลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่เสริมเส้นใยอาหาร ได้แก่ สี รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมสูงกว่าขนมปังสูตรปกติ เมื่อเติม RBHB fiber ร้อยละ 1-3 ขนมปังที่เติม RBDF ร้อยละ 2-6 อุดมไปด้วยกลี้นข้าว ขึ้นอยู่กับชนิดของรำ ค่าความนุ่มและการเคี้ยวของขนมปังทั้งหมดได้รับการยอมรับ และค่าประเมินทางประสาทสัมผัสของขนมปังที่เติม RBHB ร้อยละ 1, 2, 3 และ RBDF ร้อยละ 2 และ 4 ได้รับการยอมรับรวมจากผู้บริโภค

Gujral et al (2003) ศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในการขัดขวางการเกิดความเก่าค้างของขนมปังจากแป้งข้าว (Navarra, Spain) โดยใช้เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และ cyclodextrin glycoxyl transferase (CGTase) ในการย่อยสลาย พบว่า การเติมเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส และ cyclodextrin glycoxyl transferase (CGTase) จะช่วยปรับปรุงปริมาณของขนมปัง ซึ่งอาจเนื่องจากกิจกรรมของเอนไซม์ในการย่อยสลายให้เป็นน้ำตาลและการใช้เอนไซม์ทั้งสองชนิดทำให้ส่วนภายในขนมปังนุ่ม การขัดขวางความเก่าของขนมปังจากข้าว ตลอดเวลาในการเก็บ แต่ความแน่นของขนมปังข้าวจะสูงกว่าขนมปังจากแป้งสาลี การเติมเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสช่วยปรับปรุงคุณภาพโดยเฉพาะปริมาณและความแน่นของขนมปัง แต่มีคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสที่เหนียวแน่น ส่วนการเติม CGTase ทำให้ได้ปริมาณที่สูงกว่าและความแน่นเนื้อด้วยคุณลักษณะที่ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม การเติมเอนไซม์ทั้งสองชนิดจะลดความสามารถในการเกิด retrogradation ของอะไมโลเพกตินระหว่างการเก็บรักษา โดยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสจะทำให้เกิดความเหนียวลดลง แต่ไม่ได้จำกัดในด้านความแน่นเนื้อ ขณะที่ CGTase จะทำให้ความเหนียวของ crumb เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งมีความแน่นเนื้อเพิ่มขึ้น ผลที่ได้ในการย่อยสลายของเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ไม่เพียงพอในการขัดขวางความเก่าของขนมปัง แต่ CGTase สามารถด้านความเก่าได้ดีกว่า เนื่องจากการย่อยสลายและกิจกรรมของ Cyclizing

Ohtsubo et al (2005) ศึกษาส่วนประกอบของ Bio-functional ในการทำข้าวกล้องงอก (สายพันธุ์ Koshihikari, Japan) โดยใช้เครื่อง extruder twin-screw ลักษณะเฉพาะของส่วนประกอบของวัตถุดิบ และผลผลิตดังนี้ 1. การเตรียมข้าวกล้องงอกโดยแช่น้ำนาน 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทำแห้งให้มีความชื้นร้อยละ 13-15 ที่ อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส โดยควบคุมให้มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ โดยมีปริมาณ Total dietary fiber, Total ferulic acid และ GABA ของข้าวกล้องงอกสูงกว่าข้าวกล้องหรือข้าวขัดสี 2. ข้าวกล้องงอกถูกแปรรูปด้วย เครื่อง extruder twin-screw ข้าวกล้องงอกมีปริมาณ oryzanol, inositol, Total dietary fiber และ Total ferulic acid เปรียบเทียบกับข้าวที่ไม่มีการขัดสี การผลิตเตรียมโดย co-extrusion ของข้าวกล้องงอก (ร้อยละ 90) และยีสต์ (ร้อยละ 10) มีกรดอะมิโนอิสระ เช่น GABA, glycine, glutamine, aspartic acid และ glutamic acid เปรียบเทียบกับข้าวขัดสี ข้าวกล้อง และข้าวกล้องงอก 3. การต้มโดยการสเตรอไรซ์ ข้าวกล้องงอก และบ่ม ซึ่งนำมาพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวในรูปแบบของอาหารปลอดภัย 4. ขนมปังจากข้าวสาลีเตรียมด้วยร้อยละ 30 ของข้าวกล้องงอก ที่มีปริมาณของสาร GABA น้ำตาลอิสระ เช่น maltose เปรียบเทียบกับขนมปังข้าวสาลี

Gujral และ Rosell (2004) ศึกษาการปรับปรุงเนื้อสัมผัสและชะลอความเก่าของแป้งข้าว (Navarra, Spain) ใน Chapati ด้วย hydrocolloids และ α -amylase ซึ่ง Chapati เตรียมจากแป้งข้าวที่ผลิตสำหรับคนไข้ที่แพ็กูเตน คุณสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของ Chapati จากแป้งข้าวและเก็บไว้ 24 ชั่วโมง โดยใช้การวัดโดยทดสอบความยืดขยายเปลี่ยนรูปร่าง พบว่า ความสามารถในการยืดขยายและพลังงานในการแตกออกลดลง ในทางตรงกันข้ามการแตกออกและการยืดขยายเปลี่ยนรูปร่างเพิ่มขึ้น ระหว่างการเก็บรักษา ส่วน hydrocolloids มีลักษณะคล้ายกับ guar gum, xanthan, locust bean gum และ hydroxypropylmethylcellulose ถูกเติมในแป้งข้าวที่ระดับร้อยละ 0.25 และ 0.5 ซึ่งจะปรับปรุงเนื้อสัมผัสของ Chapati โดยยืดระยะเวลาระหว่างการเก็บรักษา การใช้ α -amylase ร่วมกับแป้งข้าวและ hydrocolloids ส่งผลในการปรับปรุงเนื้อสัมผัสของ Chapati ในการเกิด retrogradation ของ Chapati หลังจากเก็บรักษา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์โดยใช้ DSC Chapati ที่มี hydrocolloids และ α -amylase ทำให้เกิด retrogradation ช้าลง หลังจากเก็บรักษา ส่วน Chapati ที่ทำจากแป้งข้าวสามารถทำได้ง่ายสำหรับคนไข้ที่เกิดการแพ็กูเตน ในการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสที่ไม่พึงปรารถนาของ Chapati โดยทำให้สตาร์ชเกิด retrogradation ซึ่งสามารถชะลอได้โดยใช้ hydrocolloids และ α -amylase

Khampang et al (2009) ศึกษาการเพิ่มปริมาณสารอาหารของข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยใช้กระบวนการงอก พบว่า เมื่อนำข้าวกล้องไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พีเอช 5.5 นาน 48 ชั่วโมง ทำให้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต วิตามินบี 1, gamma amino butyric acid (GABA), total phenolics และ phytic acid มากที่สุด แต่เมื่อนำข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วแดง ไปผ่านกระบวนการงอก โดยนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่า มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังมีสารเหล่านี้มีปริมาณเพิ่มขึ้น เช่น วิตามินบี 1 โดยเฉพาะถั่วเหลือง (22.14 mg/100g) และถั่วแดง (15.7 mg/100g) สาร gamma amino butyric acid (GABA) พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 14.5, 13.8, 9.0 และ 15.7mg/100g ตามลำดับ และ total phenolic ของธัญพืช 4 ชนิดมีค่าเท่ากับ 0.60, 0.74, 0.58 และ 0.63 mg/100g อย่างไรก็ตามในธัญพืชงอก 4 ชนิด (ข้าวโพด ถั่วเหลือง ถั่วเขียว และถั่วแดง) มีปริมาณไขมัน โปรตีนและ phytic acid ลดลง

Watanabe et al (2004) ศึกษาการประยุกต์ใช้ข้าวกล้องงอก (สายพันธุ์ Koshihikari) ในการทำขนมปัง ซึ่งเตรียมข้าวกล้องงอกโดยแช่น้ำสำหรับการทำขนมปังแล้วนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติของโดและขนมปัง พบว่า การแทนแป้งข้าวสาลีด้วยข้าวกล้องหรือข้าวกล้องงอกทำให้ขนมปังมีปริมาณน้อยกว่าขนมปังปกติที่ไม่มีการเติมข้าวกล้องหรือข้าวกล้องงอกเป็นส่วนผสม อย่างไรก็ตามตัวอย่างขนมปังที่มีข้าวกล้องหรือข้าวกล้องงอกช่วยยับยั้งความเก่าของขนมปังระหว่างการเก็บรักษา และในการแทนข้าวกล้องงอรร้อยละ 10 และ 20 เปรียบเทียบกับข้าวกล้องจะเห็นว่าข้าวกล้องงอกส่งผลในการทำให้โดมีความเหนียวและชะลอการเกิดความเก่าค้ำของขนมปัง ส่วน GABA และ oryzanol ไม่พบในขนมปัง และ phytic acid พบว่าคงเหลือ ปริมาณร้อยละ 54 และ 45 ของร้อยละ 30 ในการแทนข้าวกล้องและข้าวกล้องงอกในขนมปัง ตามลำดับ