

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมาย และชนิดของข้าวฟ่าง

ข้าวฟ่าง (Sorghum) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Sorghum vulgare* มีต้นกำเนิดจากแอฟริกา (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538) เป็นหนึ่งในธัญพืชหลักสำหรับการบริโภคในแถบพื้นที่แห้งแล้งของแอฟริกา และเอเชีย ในประเทศที่พัฒนาแล้วส่วนใหญ่จะใช้ข้าวฟ่างเป็นอาหารสัตว์ ในทวีปเอเชีย อเมริกาเหนือ และแอฟริกาจะได้รับการสนับสนุนให้ปลูกข้าวฟ่าง และปลูกมากในประเทศอินเดีย ไนจีเรีย ซูดาน และแอฟริกาใต้ (Lasztity, 1995)

ข้าวฟ่างที่ปลูกกันโดยทั่วไปนั้น อาจจะแบ่งเป็นชนิดต่างๆ โดยอาศัยลักษณะการใช้ประโยชน์ได้เป็น 5 ชนิด ดังนี้

2.1.1 ข้าวฟ่างเมล็ด (Grain sorghum) เป็นข้าวฟ่างชนิดที่มีขนาดข้อและเมล็ดใหญ่กว่าต้นเตี้ยกว่าและผลิตเมล็ดได้มากกว่าข้าวฟ่างชนิดอื่นๆ ข้าวฟ่างชนิดนี้จะนำเมล็ดมาใช้เป็นอาหารทั้งอาหารมนุษย์และอาหารสัตว์ ข้าวฟ่างที่ปลูกกันในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นข้าวฟ่างชนิดนี้ได้แก่ ข้าวฟ่างพันธุ์อุทอง 1 พันธุ์เฮการี (hegari) เป็นต้น ใช้ประโยชน์โดยการแปรรูปเป็นอาหารของคนและสัตว์ ข้าวฟ่างประเภทนี้จะมีข้อขนาดใหญ่ เมล็ดโต ลำต้นค่อนข้างเตี้ย ผลผลิตเมล็ดสูงกว่าข้าวฟ่างกลุ่มอื่น ได้แก่ พันธุ์ KU439 KU526 KU804 HI8501 Hegari Uthong Pac80 DK54 และ CSH เป็นต้น

2.1.2 ข้าวฟ่างหญ้า (Grass sorghum) เป็นข้าวฟ่างที่ใช้ใบและลำต้นเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะ โดยตัดต้นสดให้สัตว์กินหรือปลูกเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ อาจจะใช้ทำหญ้าหมัก หญ้าแห้ง ข้าวฟ่างชนิดนี้มี ลำต้นและใบเล็ก ยาวเรียวเหมือนหญ้า เมล็ดค่อนข้างเล็กแต่มีขนาดใหญ่กว่าเมล็ดหญ้าทั่วไป ตัวอย่างข้าวฟ่างชนิดนี้ได้แก่ หญ้าซูดาน หญ้าซูดักซ์ (sudax) ซึ่งเป็นลูกผสมระหว่างข้าวฟ่างกับหญ้าซูดาน

2.1.3 ข้าวฟ่างหวาน (Sorgo หรือ Sweet sorghum) ข้าวฟ่างชนิดนี้มีลำต้นค่อนข้างสูง มักสูงกว่า 2 เมตร ในลำต้นจะมีน้ำหวานอยู่มากคล้ายอ้อย ใช้หีบเอาไปทำน้ำเชื่อมหรือน้ำตาลได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ทำแอลกอฮอล์ได้ด้วย ต้นและใบยังใช้ทำหญ้าหมักหรือปลูกให้สัตว์กินสดๆ ได้แก่ พันธุ์ เรย์ (Wray) ซีส (Theis) MN 1030 ริโอ (Rio) และ แบรินเดส (Brandes) ซึ่งมีความหวาน 19.3, 16.4, 15.2, 16.4, และ 16.7 องศา บริกซ์ ตามลำดับ

2.1.4 ข้าวฟ่างไม้กวาด (Broom corn) ข้าวฟ่างชนิดนี้มีข้อหรือก้านรวงที่มีแขนงยาวถึง 30-90 เซนติเมตร ก้านรวงที่เอาเมล็ดออกไปแล้วจึงเหมาะที่จะใช้ทำไม้กวาดได้ดี ข้าวฟ่างชนิดนี้มีใบและเมล็ดน้อย เมล็ดค่อนข้างเล็กมักมีขนหรือหางลำต้นแข็ง ในยุโรปและอเมริกาจึงนิยมปลูกเพื่อนำข้อมาทำไม้กวาดโดยเฉพาะสำหรับประเทศไทยนั้นมีโรงงานผลิตไม้กวาดจากต้นข้าวฟ่างพันธุ์นี้อยู่ที่ ต.หนองสาหร่าย อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา เป็นอุตสาหกรรมขนาดย่อม ผลิตไม้กวาดส่งขายในประเทศ ญี่ปุ่น เกาหลี และฮ่องกง

2.1.5 ข้าวฟ่างคั่ว (Pop sorghum) เป็นข้าวฟ่างที่มีเมล็ดค่อนข้างแข็ง แกร่ง เมล็ดมีส่วนของแป้งแข็ง ซึ่งล้อมรอบแป้งอ่อนมาก เมื่อนำมาคั่วจะแตกพองเช่นเดียวกับข้าวโพดคั่ว นิยม

รับประทานในหลายประเทศ สำหรับในประเทศไทยมีปลูกกันมานานแล้ว ตามคันนา หรือบริเวณบ้าน ต้นสูงประมาณ 1 เมตร ต้นสีน้ำตาล ช่อดอกหกลม เมล็ดเล็กสีเหลืองนวล หรือสีขาวมีแป้งใสมาก มีคุณค่าอาหารสูง พันธุ์ที่รู้จักกันทั่วไป คือข้าวฟ่างหางช้าง ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวฟ่างที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เลวได้ดี แต่ไวต่อช่วงแสง คือ ถ้าปลูกก่อนเดือนกรกฎาคม ซึ่งเป็นเดือนที่เหมาะสมแก่การปลูก จะยืดระยะของการเจริญเติบโตออกไปอีก ทำให้อายุเก็บเกี่ยวยาวกว่าปกติ เนื่องจากช่วงแสงแดดในระยะเวลา นั้น ไม่เหมาะสมกับการผลิดอกออกช่อและแก่เพื่อเก็บเกี่ยวได้ (ณรงค์ศักดิ์ เสนาณรงค์, 2553)

2.2 ข้อมูลการเพาะปลูก และผลผลิตข้าวฟ่าง

ในประเทศไทย ช่วงเดือนที่เพาะปลูกข้าวฟ่าง คือ เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม โดยเฉพาะเดือน สิงหาคม - ตุลาคม ส่วนช่วงเดือนที่เก็บเกี่ยวผลผลิต คือ เดือนพฤศจิกายน- มีนาคม โดยเฉพาะในเดือน ธันวาคม - มกราคม ทั้งนี้แหล่งผลิตข้าวฟ่างที่มีปริมาณมาก 5 อันดับแรก คือ จังหวัดลพบุรี นครสวรรค์ เพชรบูรณ์ สระบุรี และชัยนาท ข้อมูลการเพาะปลูกและปริมาณผลผลิตข้าวฟ่างในประเทศไทย แสดงในตาราง 2.1 โดยมีประเทศคู่ค้าที่สำคัญ ได้แก่ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน และมีประเทศคู่แข่งที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา อินเดีย ออสเตรเลีย

ตาราง 2.1 ข้อมูลการเพาะปลูก และผลผลิตข้าวฟ่างในประเทศไทย

	2550	2551	2552
การผลิต			
1.เนื้อที่เพาะปลูก (ไร่)	209,229	210,321	189,472
2.ผลผลิต (ตัน)	56,613	55,234	54,378
3.ผลผลิตต่อไร่ (กก.)	271	263	287
การค้า			
1.การค้าของโลก (ล้านตัน)	8.93	6.16	6.09
2.ส่วนแบ่งการตลาดโลก (%)	0.03	0.11	0.12
3.ใช้ในประเทศ (ตัน)	53,824	51,945	49,900
4.ส่งออก			
ปริมาณ (ตัน)			
มูลค่า (ล้านบาท)	2,789	6,561	7,000
	25.06	63.08	52.00
5. ราคาส่งออก (บาท/ตัน)	8,986	9,615	7,400

ที่มา : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553

2.3 โครงสร้างของข้าวฟ่าง

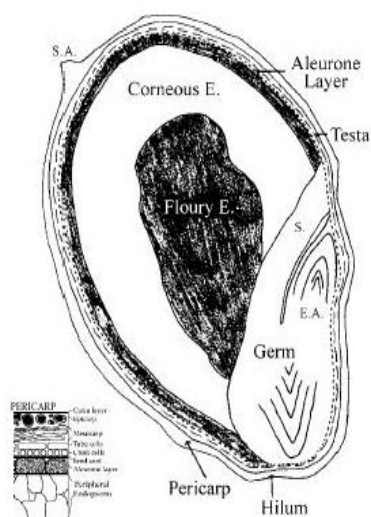
โครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่างประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ เยื่อหุ้มชั้นนอก (เยื่อหุ้มชั้นนอก) 6 เปอร์เซ็นต์ เอนโดสเปิร์ม (endosperm) 84 เปอร์เซ็นต์ และ คัพภะ (germ) 10 เปอร์เซ็นต์ (แสดงดังภาพ 2.1) มีความสัมพันธ์กับชนิดของข้าวฟ่างที่มีอิทธิพลมาจากปัจจัยด้านสายพันธุ์และสิ่งแวดล้อม

2.3.1 เยื่อหุ้มชั้นนอก (Pericarp)

สีของเยื่อหุ้มผลควบคุมโดยยีน R และ ยีน Y โดยข้าวฟ่างที่มีเยื่อหุ้มชั้นนอกสีขาว ยีนแสดงเป็น R_{yy} หรือ ryy เยื่อหุ้มผล สีขาวมียีน rrY และสีแดงมียีน R_Y ชั้น testa ควบคุมโดยยีน B₁B₂ และยีน Z ควบคุมความหนาของเยื่อหุ้มผลโดยชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอก(testa) ที่มียีน b₁b₁b₂b₂ จะมีสีน้ำตาลหรือสีม่วง ข้าวฟ่างที่ชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกมีรงควัตถุ (B₁B₂) และมียีน S กระจายอยู่จะป้องกันไม่ให้นกกินและมีปริมาณแทนนินสูง (Henry and Kettlewell, 1996)

2.3.2 เอนโดสเปิร์ม (Endosperm)

สีของเอนโดสเปิร์มส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งที่ปลูก สายพันธุ์ที่มีสีเหลืองจะมีแคโรทีนอยด์สูง สีของเอนโดสเปิร์มเป็นผลมาจากสีของเมล็ดที่ปรากฏ ถ้าเยื่อหุ้มผลบาง และชั้นชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดชั้นนอกไม่มีรงควัตถุ สีของเมล็ดจะเป็นสีเหลือง ถ้าเยื่อหุ้มผลหนา และไม่มีรงควัตถุ สีของเมล็ดจะเป็นสีขาว ข้าวฟ่างสีบรอนท์ จะมีเยื่อหุ้มผลบางสีแดง เอนโดสเปิร์มสีเหลือง ข้าวฟ่างมีเอนโดสเปิร์มเป็นสีเหลืองต่างๆ เนื่องจากเป็นพันธุ์ผสมระหว่างสายพันธุ์ที่มี เอนโดสเปิร์มสีเหลืองกับสายพันธุ์ที่มีเอนโดสเปิร์มไม่เป็นสีเหลือง (Henry and Kettlewell, 1996)



ภาพประกอบ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่าง

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวฟ่าง

2.4.1 คาร์โบไฮเดรต

สตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักของข้าวฟ่าง รองลงมาคือ โปรตีน โพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (NSP) และไขมัน ตามลำดับ ข้าวฟ่างเป็นธัญพืชเพียงชนิดเดียวที่มีสตาร์ชอยู่ในชั้นเยื่อหุ้มผล (Henry and Kettlewell, 1996) ส่วนโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช (NSP) ส่วนใหญ่จะอยู่ในชั้น เยื่อหุ้มชั้นนอก และเอนโดสเปิร์ม มีประมาณ 2-7 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ องค์ประกอบที่สำคัญ คือ arabinoxylans 55 เปอร์เซ็นต์ และ β -glucans 40 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชทั้งหมด โดย arabinoxylans ในข้าวฟ่างเป็น glucoronoarabinoxylans ที่ประกอบด้วย ferulic acid และ *p*-coumaric acid มีบทบาทสำคัญในกระบวนการผลิตขนมอบ แต่ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ arabinoxylans จะเป็นปัญหาในกระบวนการผลิต เนื่องจากทำให้เกิดเวิร์ตต่ำ และทำให้เปียร์ซุ่นส่วน β -glucan ประกอบไปด้วย cellulose (1,4- β -D-glucans) เป็น glucans ชนิด Curdian (1,3- β -D-glucans) และ glucans ชนิด lichenan (1,3; 1,4- β -D-glucans) β -glucan มีลักษณะเป็นยางเหนียวและหนืดไม่สามารถสกัดได้ด้วยน้ำนอกจากนี้ข้าวฟ่างยังประกอบไปด้วยโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ลิกนิน ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ (Dicko *et al.*, 2006)

2.4.2 โปรตีน

ชนิดและปริมาณโปรตีนในข้าวฟ่างมีความแตกต่างกันตามสภาวะการเพาะปลูก เช่น น้ำธาตุอาหารในดิน อุณหภูมิ และสิ่งแวดล้อมในระหว่างการเจริญเติบโต เป็นต้น (Henry and Kettlewell, 1996) โดยพบประมาณ 7-15 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์มประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ในคัพภะประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์และใน เยื่อหุ้มชั้นนอก ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อแบ่งตามการละลาย สามารถแบ่งโปรตีนออกได้เป็น อัลบูมินโกลบูลิน (Albuminglobulin) และคาพิริน (Carfirin) ซึ่งโปรตีนมากในส่วนของ คัพภะ คือ อัลบูมินและโกลบูลิน ส่วนในเอนโดสเปิร์มจะมีคาพิริน และกลูเตลิน (Henry and Kettlewell, 1996) โปรตีนในข้าวฟ่าง จัดว่ามีคุณภาพต่ำ เนื่องจากคาร์พิริน หนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์โปรติเอส การย่อยโปรตีนจะลดลงหลังจากผ่านการหุงต้มแต่การหมักจะเพิ่มการย่อยของโปรตีนการย่อยได้ลดลง เนื่องจากโปรตีนทำปฏิกิริยากับโปรตีน คาร์โบไฮเดรต โพลีฟีนอล และคาร์โบไฮเดรตทำปฏิกิริยากับโพลีฟีนอล (Dicko *et al.*, 2006)

2.4.3 ไขมัน

ไขมันในเมล็ดข้าวฟ่าง ส่วนใหญ่พบในคัพภะโดยอุดมไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้แก่ กรดลิโนเลอิก 49 เปอร์เซ็นต์ กรดโอเลอิก 31 เปอร์เซ็นต์ กรดปาล์มมิติก 14 เปอร์เซ็นต์ กรดลิโนเลนิก 2.7 เปอร์เซ็นต์ และกรดสเตียริก 2.1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับไขมันในข้าวโพด แต่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมากกว่า (Dicko *et al.*, 2006)

2.4.4 วิตามินและแร่ธาตุ

ข้าวฟ่างมีวิตามินมากกว่า 20 ชนิด โดยเฉพาะวิตามินบี ได้แก่ ไทอะมิน ไรโบฟลาวิน ไพริดอกซีน และวิตามินที่ละลายได้ในไขมันได้แก่ วิตามินเอ ดี อีและเค ส่วนแร่ธาตุที่พบมากในข้าวฟ่าง ประกอบด้วยฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เหล็กและสังกะสี ซึ่งสังกะสีมีความสำคัญสำหรับสตรีมีครรภ์ ขณะที่ในข้าวโพดและข้าวสาลีมีไม่เพียงพอ (Dicko *et al.*, 2006)

ตาราง 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวฟ่าง

	องค์ประกอบ หลัก (g/100g f.m.)	กรดอะมิโนจำเป็น (mg/100g d.m.)	วิตามิน (mg/100g d.m.)	แร่ธาตุ (mg/100g d.m.)
คาร์โบไฮเดรต	65 - 80	Leu	832 -	Vit.-A 21 RE** Ca 21
สตาร์ช	60 - 75	Ile	215 -	Thiamin 0.35 Cl 57
อะไมโลส	12 - 22	Met/Cys*	190 -	Riboflavin 0.14 Cu 1.8
อะไมโลเพคติน	45-55	Lys	126 -	Niacin 2.8 I 0.029
ไมโซสตาร์ช	2-7	Phe/Tyr*	567 -	Pyridoxine 0.5 Fe 5.7
คาร์โบไฮเดรต น้ำหนักรวมเฉลี่ยต่ำ	2-4	Thr	189 -	Biotin 0.007 Mg 140
โปรตีน	7-15	Trp	63 - 187	Pantothen at 1.0 P 368
แอลฟา-คาร์พรีน	4-8	Val	313 -	Vitamin C <0.001 K 220
เบต้า-คาร์พรีน	0.2 - 0.5	Arg*	500 -	Na 19
แกมมา-คาร์พรีน	0.7 - 1.6	His*	200 -	n 2.5
โปรตีนอื่นๆ	2 - 5			
ไขมัน	1.5 - 6			
เถ้า	1 - 4			
ความชื้น	8 - 12			

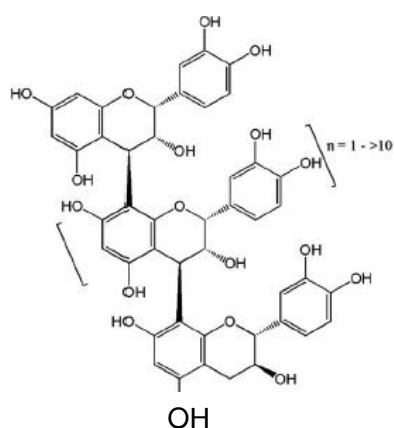
*Not strictly essential amino-acids, **RE = retinol equivalent; f.m. = fresh matter, d. m. = dry matter; NSP = non starch polysaccharides.

ที่มา: Dicko *et al.*, 2006

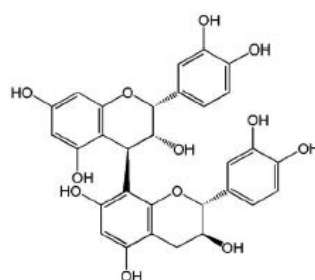
2.5 สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ

2.5.1 แทนนิน

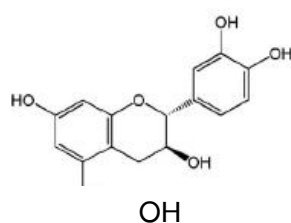
เป็นพฤษเคมีที่สำคัญของข้าวฟ่างที่ผลิตขึ้นเพื่อป้องกันสัตว์ โดยมีทั้งคุณและโทษต่อมนุษย์ แทนนินของข้าวฟ่างส่วนใหญ่เป็นชนิดคอนเดนท (condensed) ได้จากการเปลี่ยนสาร flavan-3-ols และ / หรือ flavan-3,4-diols ดังภาพประกอบ 2.2 ส่วนกรดแทนนิกหรือแทนนินที่สามารถไฮโดรไลซ์ได้ ที่พบในข้าวฟ่าง คือ โปรแอนโทไซยานิดิน (Proanthocyanidin) ที่เป็นสายของ epicatechin และ catechin (Awika and Rooney, 2004)



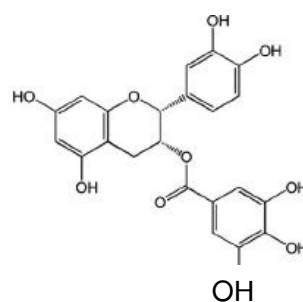
Polyflavan-3-ol



Proyanidin B1



Catechin



Epicatechin gallate

ที่มา: Awika and Rooney, 2004

ภาพประกอบ 2.2 Proanthocyanidin ที่พบในข้าวฟ่าง

ข้าวฟ่างมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ ที่ปลูกในสหรัฐไม่มีแทนนิน ซึ่งแทนนินมีผลเสียต่อมนุษย์ เนื่องจากลดคุณค่าทางอาหารด้วยการจับและลดการย่อยสลายอาหาร ข้าวฟ่างไม่มีแทนนินที่ปลูกเพื่อเป็นอาหารของมนุษย์จะให้พลังงานใกล้เคียงกับข้าวโพด

2.5.2 สารประกอบฟีนอลิก

เป็นวงแหวนเบนซีนที่มี กลุ่มไฮดรอกซิลอย่างน้อย 1 กลุ่ม โดยจำแนกเป็น Phenolic acid, Flavonoid, Stilbenes, Coumarins และ Tannin ฟีนอลิกได้จากกระบวนการเมตาบอลิซึมระดับ secondary ของพืช มีหน้าที่ช่วยในการสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของพืช มีส่วนช่วยในการป้องกันตนเองจากเชื้อโรค ปรสิต และแมลง สารประกอบฟีนอลิกในอาหารเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพโดยช่วยลดความเสี่ยงของโรคเรื้อรัง

ปริมาณของสารประกอบฟีนอลิก ขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ และส่วนของพืช โดยทั่วไปจะเชื่อมอยู่กับไกลโคไซด์ที่เป็นส่วนของน้ำตาลต่างๆ หรือเป็นสารประกอบกับกรดอินทรีย์ เอมีน ลิพิด คาร์โบไฮเดรต และฟีนอล สารประกอบฟีนอลิกที่พบส่วนใหญ่ในธัญพืช คือ กรดฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ (Liu, 2007)

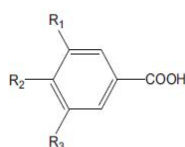
1) โครงสร้างทางเคมีของสารในกลุ่มกรดฟีนอลิก

กรดฟีนอลิก แบ่งได้ 2 กลุ่ม ใหญ่ๆ

(1) Hydroxybenzoic acid

Hydroxybenzoic acid และอนุพันธ์ประกอบไปด้วย

P - hydroxybenzoic, protocatechuic, vanillic, syringic และ gallic acids โดยทั่วไปจะอยู่ในรูป bound form และมีโครงสร้างที่ซับซ้อน เช่น lignins และ hydrolyzable tannins พบในพืชโดยเป็นอนุพันธ์ของน้ำตาลและกรดอินทรีย์ ดังภาพประกอบ 2.3



Substitutions

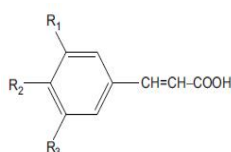
	R1	R2	R3
Benzoic acid	H	H	H
<i>p</i> -Hydroxybenzoic acid	H	OH	H
Protocatechuic acid	H	OH	OH
Vanillic acid	CH ₃ O	OH	H
Syringic acid	CH ₃ O	OH	CH ₃ O
Gallic acid	OH	OH	OH

ที่มา: Liu, 2007

ภาพประกอบ 2.3 โครงสร้างพื้นฐานของ Hydroxybenzoic acid

(2) Hydroxycinnamic acid

Hydroxycinnamic acid และอนุพันธ์ประกอบด้วย *p* - coumaric, caffeic, ferulic, และ sinapic acids ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป bound form ดังภาพประกอบ 2.4 เชื่อมอยู่กับผนังเซลล์ประกอบด้วย เซลลูโลส ลิกนิน และโปรตีน ส่วนใหญ่จะพบเฟอรูลิไต์ในเมล็ดและใบพืช จับกับพันธะโควาเลนต์ กับโมโนแซคคาไรด์ และไดแซคคาไรด์ โพลีแซคคาไรด์ในผนังเซลล์พืช ไกลโค-โปรตีน โพลีเอมีน ลิกนินและโพลิเมอร์คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ละลายน้ำ



Substitutions

	R1	R2	R3
Cinnamic acid	H	H	H
<i>p</i> -Coumaric acid	H	OH	H
Caffeic acid	OH	OH	H
Ferulic acid	CH ₃ O	OH	H
Sinapic acid	CH ₃ O	OH	CH ₃ O

ที่มา: Liu, 2007

ภาพประกอบ 2.4 โครงสร้างพื้นฐานของ Hydroxycinnamic acid

ตาราง 2.3 ปริมาณฟีนอลิตที่พบในข้าวฟ่างชนิดต่างๆ

Phenolic acid	White sorghum (CS 3541)		Red sorghum (SC 0630)		Brown sorghum (SC 0719)	
	Free	Bound	Free	Bound	Free	Bound
Gallic	-	19.7	-	46.0	-	26.1
Protocatechuic	7.4	133.9	13.0	83.0	8.0	15.8
<i>p</i> -Hydroxybenzoic	4.0	11.4	6.7	16.0	9.3	24.2
Vanillic	8.3	-	7.7	19.2	23.3	27.4
Caffeic	3.4	22.2	4.1	48.0	8.7	26.8
<i>p</i> -Coumaric	45.7	138.5	13.5	72.5	6.4	79.9
Ferulic	45.5	297.2	8.9	95.7	26.0	91.9
Cinnamic	9.4	-	10.7	-	-	19.7

ที่มา: Hahn *et al.*, 1983

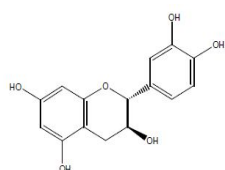
Free and bound phenolic acid composition ($\mu\text{g g}^{-1}$) of sorghum

2) โครงสร้างทางเคมีของสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์

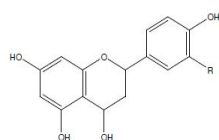
ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) ประกอบไปด้วย สารประกอบฟีนอลิกมากกว่า 3,000 โครงสร้าง โดยฟลาโวนอยด์ที่พบในข้าวฟ่างมีทั้ง Flavonols (flavan-3-ols flavan-4-ols เป็นต้น) Flavanones, Flavones และ Anthocyanins (ภาพประกอบ 2.3) flavan-4-ols apiforol (pro-apigeninidin หรือ leuco-apigeninidin) และ luteoforol (proluteolinidin หรือ leuco-luteolinidin) ซึ่งมีจำนวนมากในข้าวฟ่างและเป็นสารตั้งต้นของ Apigeninidin และ Luteolinidin ตามลำดับ ข้าวฟ่างที่มี เยื่อหุ้มชั้นนอก สีดำจะมี flavan-4-ols และ แอนโธไซยานินสูง แอนโธไซยานินที่สำคัญในข้าวฟ่าง ได้แก่ 3-deoxyanthocyanidins ตัวอย่างเช่น apigeninidin และ luteolinidin เยื่อหุ้มชั้นนอก ที่มีสีแดงเนื่องจากมี 3-deoxyanthocyanidins ที่เหมือน anthocyanidins ใช้เป็นสีผสมอาหารธรรมชาติ หรือเติมเป็นยา 3-deoxyanthocyanidins มีความน่าสนใจในการนำไปประยุกต์ใช้ในอาหาร เนื่องจากทนความร้อนและมีความคงตัวที่ดี

3-deoxyanthocyanidins มีมากในข้าวฟ่างเมล็ดสีแดง แต่ไม่มีในพืชชนิดอื่น สามารถละลายในสารละลายอินทรีย์ สารละลายกรด ได้ดีกว่าแอนโธไซยานินที่พบในผลไม้ ผัก และธัญพืชอื่นๆ ดังนั้น ข้าวฟ่างจึงมีศักยภาพในทางการค้าเนื่องจากเป็นแหล่งของแอนโธไซยานิน (Liu, 2007)

เนื่องจากโมเลกุลของแอนโธไซยานินเป็นไกลโคไซด์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นน้ำตาลและส่วนที่เป็นอะไกลโคน (aglycone) เรียกว่า แอนโธไซยานิดิน (anthocyanidin) ซึ่งแยกออกจากกันโดยการไฮโดรไลซิสด้วยกรด ในเนื้อเยื่อพืชจะไม่พบอะไกลโคนที่อยู่ในรูปอิสระ จะพบเฉพาะที่อยู่ในรูป ไกลโคไซด์ คือ รวมกับน้ำตาลเป็นเอสเทอร์เท่านั้น (นิธิยา รัตนพานนท์, 2549)



Flavan-3-ol
catechin



Flavan-4-ols

Apiforol (leucoapigeninidin) : R = H

Luteoforol (leucoluteolinidin) : R = OH

Anthocyanidins

Fisetinidin : $R_1 = R_2 = \text{OH}$, $R_3 = \text{H}$

Cyanidin : $R_1 = \text{OH}$, $R_2 = \text{H}$, $R_3 = \text{OH}$

Pelargonidin : $R_1 = R_2 = \text{H}$, $R_3 = \text{OH}$

Peonidin : $R_1 = \text{OCH}_3$, $R_2 = \text{H}$, $R_3 = \text{OH}$

Malvidin : $R_1 = R_2 = \text{OCH}_3$, $R_3 = \text{OH}$

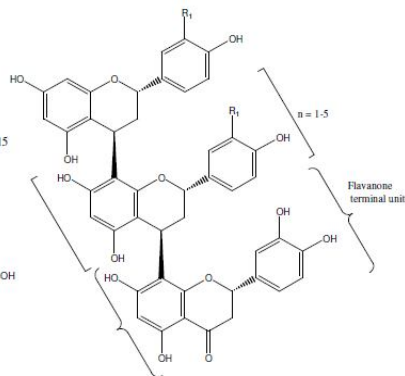
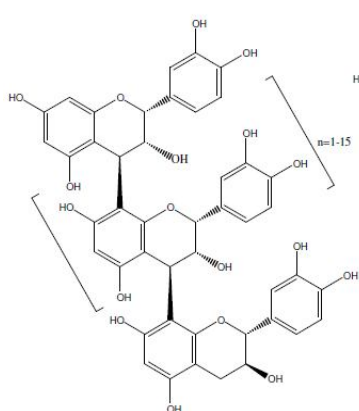
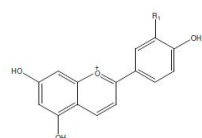
Delphinidin : $R_1 = R_2 = R_3 = \text{OH}$

Petundin : $R_1 = \text{OCH}_3$, $R_2 = R_3 = \text{OH}$

3-Deoxyanthocyanidins

Apigeninidin : $R_1 = \text{H}$

Luteolinidin : $R_1 = \text{OH}$



Proanthocyanidins

Pro-3-deoxyanthocyanidin:

$R_1 = \text{H}$, pro-apigeninidins

$R_1 = \text{OH}$, pro-luteolinidins

ที่มา: Liu, 2007

ภาพประกอบ 2.5 โครงสร้างของสารในกลุ่มฟลาโวนอยด์

2.5.3 ไฟโตสเตอรอล

เป็นสารประกอบคล้ายคอเลสเตอรอล พบเป็นองค์ประกอบของเซลล์เมมเบรน ในเมล็ดธัญพืชพบมากในชั้นรำและสามารถสกัดได้จากส่วนน้ำมันรำ เป็นสารประกอบที่มีความน่าสนใจเนื่องจากช่วยลดการเกิดโรคหัวใจ โดยจะลดคอเลสเตอรอล ชั้นรำของธัญพืชจำพวกข้าวและข้าวโพดจะมีไฟโตสเตอรอลปริมาณสูงในธัญพืชจะอยู่ในรูปอิสระ เป็นสารประกอบของกรดไขมันหรือกรดไฮดรอกซี-ซินนามิก (มักจะเป็นกรด-เฟอรูลิก) หรือจับอยู่กับน้ำตาล (ส่วนมากเป็นน้ำตาลกลูโคส) ไฟโตสเตอรอลอิสระในข้าวฟ่างประกอบด้วย Sitosterol Campesterol และ Stigmasterol ในรูปที่เป็นสารประกอบกับกรดไขมัน C14 – C24 และกรดเฟอรูลิก หรือจะเหมือนกับสารประกอบในชั้นรำของข้าวและข้าวโพด ไฟโตสเตอรอลในข้าวฟ่างมีปริมาณน้อยมาก คือ 0.5 มิลลิกรัมต่อกรัมของเมล็ดข้าวฟ่าง เส้นใยที่แยกได้จากข้าวฟ่างโดยการไม่เปียกมีไฟโตสเตอรอลประมาณ 0.7 – 0.8 มิลลิกรัมต่อกรัม ใน ชั้นรำของข้าวที่สกัดภายใต้สภาวะที่เหมาะสมมีประมาณ 1.7 – 5.6 มิลลิกรัมต่อกรัม อย่างไรก็ตาม การไม่เปียกจะสูญเสียไฟโตสเตอรอลประมาณ 53–73 เปอร์เซ็นต์ ค่าที่ได้นี้เป็นการสกัดด้วยเฮกเซน (ไม่สามารถสกัดสารประกอบในรูป bound) ปริมาณไฟโตสเตอรอลที่แท้จริงอาจจะสูงกว่าหากไฮโดรไลซิส หรือสกัดในสภาวะที่เหมาะสม เช่นการใช้ขนาดของอุปกรณ์ที่เหมาะสม การใช้ตัวทำละลายที่ดี อย่างไรก็ตาม ข้าวฟ่างจัดเป็นแหล่งไฟโตสเตอรอลและสามารถสกัดได้จากชั้นรำ (Awika and Rooney, 2004)

2.5.4 โพลีโคซานอล

เป็นส่วนผสมของสายคาร์บอนแอลกอฮอล์น้ำหนักโมเลกุลสูง (เรียกว่าแอลกอฮอล์ไขมัน) ที่พบเป็นส่วนประกอบจำพวกไขมันพืช สารประกอบนี้มีจำหน่ายทางการค้าโดยได้จากการนำไขมันมาแยกและทำให้บริสุทธิ์ ในข้าวฟ่าง มีโพลีโคซานอลประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ด ซึ่งมีสูงกว่าในธัญพืชชนิดอื่นๆ โพลีโคซานอลประกอบด้วย ออคตาโคซานอล (C28) และ ไตรอะคอนทานอล (C30) เป็นส่วนใหญ่ หรือมีโพลีโคซานอลประมาณ 38–92 มิลลิกรัมของน้ำหนักเมล็ดข้าวฟ่างทุกๆ 100 กรัม โพลีโคซานอลทำให้ลดคอเลสเตอรอลเทียบเท่ากับยาสตาลิน (เป็นยาที่ใช้อยู่กันอยู่ในปัจจุบัน แต่มีราคาแพงและอันตราย) การได้รับโพลีโคซานอล 10 มิลลิกรัมต่อวันช่วยลดระดับคอเลสเตอรอล LDL และเพิ่ม คอเลสเตอรอล HDL มากกว่า โยวาสตาลิน 20 มิลลิกรัมต่อวัน โพลีโคซานอลไม่เป็นพิษ แม้จะได้รับในปริมาณสูง ประโยชน์อื่นๆของโพลีโคซานอล เช่น การชะลอการหืนของไขมัน การตกตะกอนของเกล็ดเลือด และการขยายเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ เป็นต้น โพลีโคซานอลในเมล็ดข้าวฟ่างจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำมาใช้แทนการใช้ยาสตาลิน (Awika and Rooney, 2004)

2.6 ประโยชน์ของข้าวฟ่าง

ข้าวฟ่างมีคุณสมบัติเฉพาะที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการใช้ทำอาหาร ซึ่งวิธี การต้มโดยใช้ความร้อน เป็นวิธีที่ประหยัดและง่ายที่สุดในการเตรียมอาหารจากข้าวฟ่าง ในหลายภูมิภาคของโลก มีการนำข้าวฟ่างมาผลิตเป็นอาหารและผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ เช่น พอร์ริด (porridge) ขนมปังที่ไม่ได้ใส่ยีสต์ให้ฟู คุกกี้ เค้ก คัสคูส (couscous) และ มอลตีในการผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เมล็ดข้าวฟ่างส่วนที่แข็งและข้าวฟ่างเต็มเมล็ดอาจนำมาผลิตเป็นแป้ง หรือเมล็ดข้าวฟ่างที่ขัดเปลือกออก (decorticate) ก่อนบดเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอนุภาคที่ละเอียดหรือแป้งที่ใช้ในการอาหารแบบดั้งเดิม นอกจากนั้น

ข้าวฟ่างทุกชนิดไม่มีกลูเตนเป็นองค์ประกอบ มีรสชาติปกติ สามารถดูดซับกลิ่นรสอื่นๆ ได้ ในขณะที่บางชนิดยังอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการทดแทนผลิตภัณฑ์จากข้าวสาลี ดังเช่นในสหรัฐอเมริกา ที่ส่งออกข้าวฟ่างสีขาวยังโรงโม่แป้งในประเทศญี่ปุ่นเพื่อผลิตเป็นแป้งข้าวฟ่าง และผู้ประกอบการผลิตภัณฑ์สแน็คในญี่ปุ่นได้ใช้แป้งข้าวฟ่างในการวิจัยและพัฒนาสูตรอาหาร ในเชิงพาณิชย์ (Dicko *et al.*, 2007) ในปัจจุบัน นิยมนำข้าวฟ่างมาบดแห้ง ในลักษณะเดียวกับการบดข้าวโพด หรือข้าวสาลี หรือการขัดสีเปลือกออกแบบข้าวสาลี แล้วจึงนำเมล็ดข้าวฟ่างที่ขัดเปลือกออกแล้วมาบด ผลผลิตที่ได้จากการบดจะมีคุณค่าทางอาหารแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 2.6 และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ทั้งการนำไปประกอบอาหารชนิดต่างๆ ตามความนิยมของท้องถิ่น เช่น ในอินเดีย นำแป้งข้าวฟ่างที่บดทั้งเมล็ดไปปั่น และกดเป็นแผ่นกลมบางแล้วนำไปปิ้งหรือทอดหรืออบ ชาวจีนนำแป้งข้าวฟ่างไปทำ ขนมปัง ในแอฟริกันิมนำข้าวฟ่างไปทำเป็นเบียร์พื้นเมือง ปัจจุบันมีการนำข้าวฟ่างไปใช้ผลิตแอลกอฮอล์ รวมทั้งการทำกรดซิตริกและกรดแลกติกอีกด้วย (ณรงค์ศักดิ์ เสนาณรงค์, 2553)

ตาราง 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของผลผลิตที่ได้จากการบดข้าวฟ่างแบบแห้ง

ผลผลิตที่ได้	โปรตีน %	ไขมัน %	เส้นใย %	เถ้า %
ข้าวฟ่างทั้งเมล็ด	9.6	3.4	2.2	1.5
ข้าวฟ่างขัดผิวแล้ว	9.5	3.0	1.3	1.2
แป้งข้าวฟ่าง-หยาบ	9.5	2.5	1.2	1.0
แป้งข้าวฟ่าง-ละเอียด	9.5	1.0	1.0	0.8
ข้าวฟ่างบดหยาบใช้ทำเบียร์	9.5	0.7	0.8	0.4
เปลือกข้าวฟ่าง	8.9	5.5	8.6	2.4
คัพพะข้าวฟ่าง	15.1	20.0	2.6	8.2
ส่วนที่ใช้เลี้ยงสัตว์	11.2	6.5	3.8	2.7

ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538

ข้าวฟ่างมีความสำคัญในการใช้เป็นอาหารสัตว์ ในประเทศต่างๆ เช่น สหรัฐ เม็กซิโก อเมริกาใต้ ออสเตรเลีย และประเทศอื่นๆ ที่พัฒนาแล้วข้าวฟ่างคุณภาพดี มีคุณค่าทางอาหารเทียบเท่ากับข้าวโพด และยังสามารถนำมาผ่านกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น การบด(grinding) การบด (crushing) การนึ่ง (steaming) การนึ่งเป็นแผ่น (steam flaking) ป๊อบปิ้ง (popping) และการเอ็กซ์ทรูด (extruding) เพื่อปรับปรุงคุณค่าทางอาหารและเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ ในขณะนี้ใช้เป็นอาหารสัตว์ เช่น วัวเนื้อ วัวควายให้นม ไก่ไข่ เป็ดไก่ และหมู (U.S. Grains council. 2010)

แม้ว่าในประเทศที่พัฒนาแล้ว นิยมปลูกข้าวฟ่างเพื่อเป็นอาหารสัตว์ แต่ในแอฟริกาและเอเชียใช้ข้าวฟ่างทั้งเป็นอาหารมนุษย์และอาหารสัตว์ ทั้งนี้มีข้อมูลว่าประชากรมากกว่า 300 ล้านคนของประเทศที่กำลังพัฒนาบริโภคข้าวฟ่างเป็นแหล่งพลังงานอาหารหลักในรูปของ ตอร์ติญ่า ทิน พอร์ริด

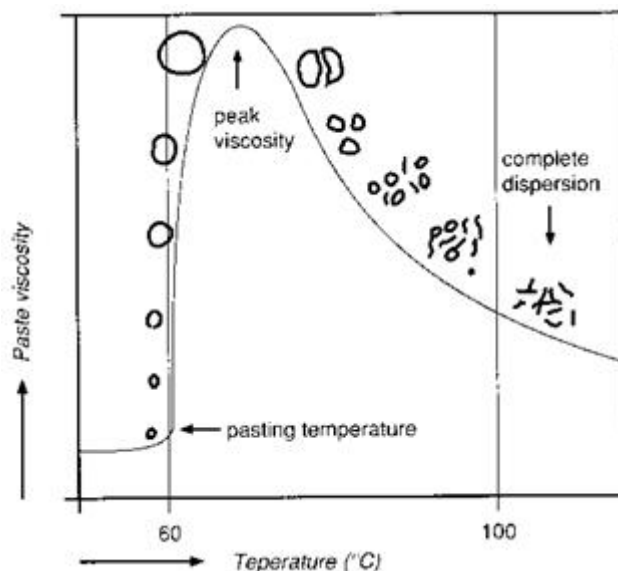
(Tortillas Thin porridge) เช่น บวยี่ (bouillie) ในแอฟริกาและเอเชีย สติฟ พอร์ริดจ์ (Stiff porridge) เช่น โต (to) ในแอฟริกาตะวันตก คูสคูส (couscous) ในแอฟริกา อินเจอร์รา (injera) ในเอธิโอเปีย นาซ่า (nasha) และ คิสร่า (kisra) ในซูดาน เบียร์ เช่น โตโร คาพอลโล บुरुคูตู (dolo chapallo pito burukutu) ในแอฟริกา โอจิ (oji) ในไนจีเรีย และผลิตภัณฑ์ขนมปัง ในสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่นและแอฟริกา (Dicko1 *et al.*, 2007)

2.7 คุณสมบัติของแป้ง

2.7.1 การเกิดเจลลิตไนเซชัน (Gelatinisation)

เม็ดแป้งมีคุณสมบัติเป็น optical birefringence คือ การบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ สมบัตินี้บ่งชี้ว่าแป้งมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ (order orientation) หรืออยู่ในรูปผลึก (crystallinity) การจัดเรียงตัวลักษณะนี้ทำให้เม็ดแป้งไม่ละลายในน้ำเย็น โดยสามารถดูดน้ำเย็นและพองตัว (swelling) ได้เล็กน้อย ความสามารถในการดูดน้ำของเม็ดแป้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เม็ดสตาร์ชจะพองตัวออกมาและมีอะไมโลสส่วนที่ละลายน้ำได้หลุดออกมาด้วย ทำให้ได้ส่วนผสมของน้ำแป้งที่มีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้มากขึ้น เม็ดแป้งจะพองตัวมากขึ้นจนมีขนาดใหญ่และแตกออกได้เป็นสารละลายข้นหนืด (starch paste) ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่ละลายได้ของอะไมโลสและบางส่วนของอะไมโลเพกติน และเรียกกระบวนการนี้ว่า เจลลิตไนเซชัน (gelatinization) การเกิดเจลลิตไนเซชันจะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ชสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆ ได้ดีกว่าการเกิดเจลลิตไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ (แสดงดังภาพประกอบ 2.6) คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่าง ไมเซลล์ (micelles) ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ (birefringence) เมื่อใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สารละลายของแป้งจนถึงประมาณ 65 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่าง ไมเซลล์ภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามาและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดแสงระนาบโพลาไรซ์ได้ ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเจล อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลลิตไนซ์ เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด มักจะเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนของอะไมโลสและอะมิโลเพกติน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เป็นต้น สำหรับความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ในระหว่างเจลลิตไนซ์มีการแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของแป้ง โดยพบว่าสตาร์ชมันฝรั่งจะให้ความหนืดสูงสุดสูงที่สุดและมีความสามารถในการทำให้ข้นหนืด

(thickening power) สูงด้วย ในขณะที่แป้งจากข้าวโพดและข้าวสาลีจะมีความหนืดสูงสุดต่ำ เนื่องจากเม็ดแป้งมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง



ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546

ภาพประกอบ 2.6 ระยะในการเกิดเจลลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง

การเกิดเจลลาติไนซ์ไม่ได้เกิดเฉพาะอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่เกิดเป็นช่วงอุณหภูมิ 8-12 องศาเซลเซียส การตรวจสอบกระบวนการเจลลาติไนเซชัน นอกจากการใช้การสังเกตการเปลี่ยนโครงสร้างการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้ว สามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการซึ่งเครื่องมือที่นิยมในปัจจุบันนี้คือเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ปกติพอลิเมอร์ต่างๆ ในรูปผลึกและอสัณฐานจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แป้งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วงของ 160 - 200 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้นอุณหภูมิของการหลอมละลายก็จะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมีประมาณ 70 ส่วนหรือมากกว่า การหลอมละลายก็คือการเกิดเจลลาติไนเซชัน ช่วงของอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลง (onset temperature) และอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (peak temperature) ของความร้อน คือ ช่วงอุณหภูมิของเจลลาติไนเซชัน สำหรับการวัดลักษณะของการเกิดเจลลาติไนเซชันของแป้งโดยใช้เครื่อง DSC จึงทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างสารผสมแป้งกับน้ำในอัตรา 30 : 70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลลา - ตินเซชันจะได้ Thermogram ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง heat flow และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนเซชัน (enthalpy, cal/g) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง แป้งแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลาติไนเซชันต่างๆ กัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.7.2 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป เม็ดแป้งจะพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะมีการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มี การดูดน้ำกลับเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน หรือการคืนตัว (setback) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะสีขาวขุ่นและความหนืดเพิ่มขึ้น การเกิดรีโทรเกรเดชันขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา พีเอชของสารละลาย ปริมาณ และขนาดของอะมิโลส อะมิโลเพกติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแป้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำ และความเข้มข้นของแป้งสูง แป้งสามารถคืนตัวได้ดี ในช่วงพีเอช 5 - 7 แป้งสามารถคืนตัวได้เร็วที่สุด สำหรับช่วงพีเอชที่สูงหรือต่ำกว่านี้ แป้งจะคืนตัวได้ช้าลง การชะลอการคืนตัวของแป้งจะใช้เกลือที่มีประจุลบและบวก (monovalent anion และ cation) แคลเซียมไนเตรท (calcium nitrate) และยูเรีย (urea) ปริมาณและขนาดของอะมิโลสมีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ อัตราในการเกิด รีโทรเกรเดชันจะสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) เมื่อขนาดโมเลกุล (degree of polymerization) ของ อะมิโลส เท่ากับ 100 - 200 อัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะมิโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ใน การทำให้อะมิโลสที่เกิดรีโทรเกรเดชันกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิ 100-160 องศาเซลเซียส อะมิโลเพกตินจะมีผลทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันได้น้อยมาก ดังนั้นสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีอัตรา การเกิดรีโทรเกรเดชันที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดเหนียวจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชต่ำ ที่สุด เนื่องจากไม่มีอะมิโลสในสตาร์ช สำหรับแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชัน สูงกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสสูง (ประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์) มีอะมิโลสโมเลกุลเล็ก และมีไขมันในปริมาณสูงทำให้เกิดการจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสและไขมัน (amylase-lipid complex) (กล้านรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.7.3 คุณสมบัติของแป้งเปียก

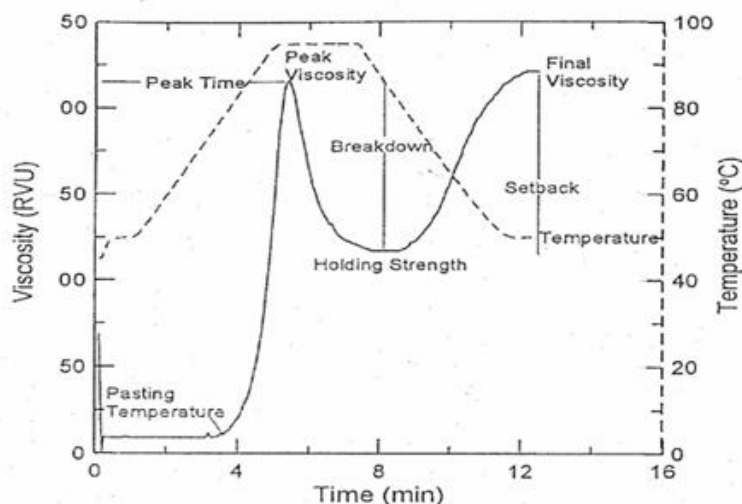
คุณสมบัติของแป้งเปียกจากแป้งแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง ปริมาณแป้ง กระบวนการให้ความร้อน อุณหภูมิ ความเป็นกรดเบส เวลาในการให้ความร้อน การกวน และเครื่องมือที่ใช้คุณสมบัติที่สำคัญของแป้งเปียก ได้แก่ ความหนืด เนื้อสัมผัส ความโปร่งใสของแป้ง เปียก และความคงทนต่อแรงเฉือนปัจจัยที่มีผลต่อความหนืด ได้แก่ ชนิดของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน และปริมาณแป้ง แป้งเปียกของแป้งมันฝรั่งมีความหนืดสูงมากเนื่องจากมีกลุ่มฟอสเฟตเป็น องค์ประกอบ แป้งมันฝรั่งที่มีปริมาณฟอสเฟตสูงก็จะมีความหนืดสูง สำหรับแป้งจากส่วนราก (มันสำปะหลัง) และแป้งข้าวเหนียว มีความหนืดสูงกว่าแป้งจากธัญพืช (ข้าวโพด ข้าวสาลี) ในการกวนหรือการผสมแป้งเปียก แรงเฉือนที่เกิดขึ้นจะตัดเม็ดแป้งที่พองตัวบางส่วน ทำให้ความหนืด ของแป้งลดลง ดังนั้นแป้งที่มีพันธะครอสลิงจะสามารถทนต่อแรงเฉือนได้ดี เมื่อให้ความร้อนพร้อมๆ กับการกวน (กล้านรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

2.7.4 ความหนืด

เป็นคุณสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งทำให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและมีความหนืดมากขึ้น พฤติกรรมความหนืดเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวและแตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง เมื่อเม็ดแป้งซึ่งแขวนลอยในน้ำได้รับความร้อนจนถึงระดับหนึ่งจะพองตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเร็วมาก อุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เรียกว่า pasting temperature ความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงความหนืดสูงสุด (peak viscosity) จากนั้นอาจลดลงหรือคงที่ขึ้นกับชนิดของแป้ง การที่แป้งมีความหนืดสูงสุดเนื่องจากเมื่อเม็ดแป้งมีการพองตัวมากขึ้น และมีชิ้นส่วนของเม็ดแป้ง และ / หรือโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพกตินบางส่วนที่แตกสลายออกมาอยู่ในสารละลาย เมื่อส่วนที่แตกสลายและละลายออกมามีมากกว่าการพองตัวที่เพิ่มขึ้นความหนืดจะเริ่มลดลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดเมื่ออยู่ในช่วงการหุงต้มที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้นค่าความหนืดของน้ำแป้งสูงจะเป็นผลมาจากการพองตัวของเม็ดแป้ง และการแตกหักของเม็ดแป้งร่วมกับการละลายออกมาของโมเลกุลแป้งเมื่อลดอุณหภูมิลง โมเลกุลอิสระที่กระจัดกระจายออกมา (โดยเฉพาะส่วนของอะมิโลส) ถ้ามีขนาดโมเลกุลที่เหมาะสมคือ ไม่สั้นและยาวเกินไปก็จะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกัน และกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดสูงขึ้นอีก ความหนืดที่กลับสูงขึ้นนี้อีกนี้เรียกว่า setback และปรากฏการณ์นี้ก็คือการคืนตัวของแป้ง (retrogradation) ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดอนุภาค สัดส่วนของอะมิโลสต่ออะมิโลเพกติน อุณหภูมิ อัตราการเคี่ยว เป็นต้น แต่ที่มีผลมากที่สุดได้แก่ ชนิดของแป้ง เครื่อง rapid visco analyser (RVA) เป็นเครื่องมือที่ได้รับการพัฒนามาเพื่อติดตามพฤติกรรมความหนืดของแป้งอีกแบบหนึ่ง คุณสมบัติพิเศษของเครื่องมือนี้คือสามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิทั้งการทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว ควบคุมกับความสามารถในการรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ทำให้สามารถหา pasting curve ได้ภายใน 13 นาที เนื่องจากมีกลไกในการส่งผ่านความร้อนที่ดีและยังใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าด้วยการทำงานของเครื่อง RVA คล้ายกับเครื่อง Brabender viscoamylograph โดยใช้แป้งประมาณ 3 กรัม เติมน้ำ 25 มิลลิลิตร รักษาอุณหภูมิไว้ที่ 50 หรือ 60 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนด้วยอัตราประมาณ 12 องศาเซลเซียส ต่อนาที จนได้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปลอยไว้ 2-3 นาที ทำให้เย็นลงด้วยอัตราประมาณ 12 องศาเซลเซียส ต่อนาทีจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่าเป็นเวลา 2 นาที เครื่องจะทำการบันทึกอุณหภูมิและ viscosity profile ที่เปลี่ยนไปกับเวลา ดังภาพประกอบ 2.7 ค่าที่เครื่องจะแสดงผลอ่านได้บนจอคอมพิวเตอร์โดยความหนืดมีหน่วยเป็น RVU ดังนี้

- 1) Peak Time = เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (นาที)
- 2) Pasting Temperature = อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรืออุณหภูมิที่ความหนืดเพิ่มขึ้น 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) (กล้านรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ที่มา: กล้านรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2546

ภาพประกอบ 2.7 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

2.8 วัตถุดิบที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

2.8.1 แป้ง

แป้งสาลีเป็นแป้งที่ใช้ทำเบเกอรี่ทุกชนิด แป้งสาลีมีโปรตีน 2 ชนิด รวมอยู่ในสัดส่วนที่เหมาะสม คือ กลูเตนิน และไกลอะดิน ซึ่งเมื่อแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่ถูกต้องจะทำให้เกิดสารชนิดหนึ่งเรียกว่า กลูเตน (gluten) มีลักษณะเหนียว ยืดหยุ่นได้ กลูเตนนี้เป็นตัวเก็บก๊าซไว้ให้เกิดโครงสร้างที่จำเป็นของผลิตภัณฑ์ และเป็นโครงสร้างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ

ข้าวสาลีที่นำมาไม่แป้งสาลี แบ่งเป็น 2 ประเภท ตามความแข็งและสีของเมล็ด ได้แก่ ข้าวสาลีชนิดแข็ง (Hard wheat) กับข้าวสาลีชนิดอ่อน (Soft wheat) ข้าวสาลีชนิดแข็ง เมื่อนำมาไม่จะได้แป้งสาลีชนิดแข็ง ซึ่งเป็นแป้งที่มีโปรตีนสูงเหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์พวกขนมปัง แป้งชนิดนี้มีโปรตีนที่มีคุณภาพดี สามารถนวดผสมให้ได้ก้อนแป้งที่มีความยืดหยุ่นดี ทนต่อสภาพการผสม การหมัก อุณหภูมิของห้องและเครื่องผสม มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำที่ดี ซึ่งเป็นผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาตรดีด้วย มีรูและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี ก้อนโดที่ทำจากส่วนผสมของแป้งสาลีชนิดแข็งจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้สูงอีกด้วยข้าวสาลีชนิดอ่อน เมื่อนำมาไม่จะได้แป้งสาลีชนิดอ่อนซึ่งมีโปรตีนต่ำ แป้งมีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ต่ำกว่าแป้งชนิดแข็ง มีความทนทานต่อการผสมและการหมักที่ต่ำ ไม่เหมาะที่จะใช้ทำขนมปังเพราะไม่สามารถจะนวดผสมให้เป็นก้อนโดได้ แต่จะเหมาะสำหรับใช้ทำผลิตภัณฑ์ขนมเค้กและคุกกี้

1) คุณลักษณะของแป้งสาลี

(1) สีของแป้ง (Color) สีของแป้งมีผลต่อคุณภาพอย่างหนึ่งของผลิตภัณฑ์ แป้งที่ดีควรมีสีขาว ถ้าหากมีสีอื่นปน เช่น สีเหลืองอ่อนของแซนโทฟิลล์ หรือสีครีม จะทำให้ขนมปังมีเนื้อใน (Crumb) มีสีไม่ดี ดังนั้นแป้งที่ไม่ออกมาจึงควรผ่านการฟอกสีก่อน

(2) กำลังของแป้ง (Strength) หมายถึง พลังที่แป้งสามารถจะอุ้มก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักได้ดี เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีการขึ้นฟูและมีปริมาตรดี

(3) ความทนต่อสภาพต่างๆ ของแป้ง (Tolerance) หมายถึง ลักษณะของแป้งที่มีความสามารถทนต่อสภาพการผสมนานๆ ทนต่อการรีด และกระบวนการอื่นๆ โดยที่กลูเตนไม่ฉีกขาด ความทนต่อสภาพต่างๆ นี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับกลูเตน แป้งที่มีความทนต่อสภาพต่างๆ สูง จะหมักได้นานและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาตรดี

(4) ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งสูง (High water absorption) หมายถึง แป้งที่มีคุณลักษณะในการดูดซึมน้ำได้มากพอที่จะทำให้คุณภาพของแป้งยังคงสภาพที่ดีอยู่ ผลของการที่แป้งดูดซึมน้ำได้มากจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรมากขึ้น เนื้อในขนมปังไม่แห้ง ทำให้มีคุณภาพในการเก็บและการกินที่ดี

(5) ความสม่ำเสมอเป็นอันหนึ่งอันเดียวของแป้ง (Uniformity) หมายถึง ความสม่ำเสมอในสี ขนาดของแป้ง และทั่วไป ถ้าแป้งขาดความสม่ำเสมอแล้วจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำแต่ละครั้งไม่เหมือนกัน จึงควรทำการตรวจสอบก่อนที่จะทำผลิตภัณฑ์

2) หน้าที่ของแป้งต่อผลิตภัณฑ์

ส่วนใหญ่แล้วแป้งสาลีเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการช่วยให้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์และทำให้ผลิตภัณฑ์คงรูปอยู่ได้เมื่ออบเสร็จแล้ว เป็นส่วนผสมหลักที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ทุกชนิด ถ้าปราศจากแป้งจะไม่สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้ และเนื่องจากแป้งมีหลายชนิดแต่ละชนิดก็เหมาะสำหรับการทำผลิตภัณฑ์เฉพาะอย่าง ดังนั้นจึงควรเลือกใช้แป้งสาลีที่มีคุณลักษณะเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำ

2.8.2 น้ำ

1) หน้าที่ของน้ำต่อผลิตภัณฑ์

(1) ทำให้เกิดกลูเตน
(2) ช่วยควบคุมความชื้นของโด
(3) ช่วยควบคุมอุณหภูมิของโด และการที่จะทำให้โดมีความอ่อนหรือเย็นสามารถควบคุมที่น้ำได้

(4) ช่วยละลายเกลือและส่วนผสมอื่นที่ไม่ใช่แป้ง เช่น น้ำตาล เกลือ และโปรตีนที่ละลายน้ำได้ให้เป็นเนื้อเดียวกัน

(5) ทำให้สตาร์ชเปื่อยและเกิดการพองตัว ทำให้ง่าย

(6) ช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้ดี

(7) ช่วยให้เก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน

(8) ช่วยกระจายยีสต์ในการหมักโด

2.8.3 น้ำตาล

1) หน้าที่ของน้ำตาลต่อผลิตภัณฑ์

(1) ให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะขนมเค้ก

- (2) เป็นอาหารของยีสต์ในระหว่างการหมัก
- (3) ใช้เตรียมเป็นไอซิ่งชนิดต่างๆ สำหรับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่
- (4) ช่วยในการตีครีมและตีไข่ให้มีความคงตัวและขึ้นฟู
- (5) ช่วยให้เนื้อขนมดี
- (6) ช่วยเก็บความชื้นและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มอยู่ได้นาน
- (7) ทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์มีสีดี
- (8) เพิ่มคุณค่าทางอาหารแก่ผลิตภัณฑ์

2.8.4 เกลือ

1) หน้าที่ของเกลือต่อผลิตภัณฑ์

- (1) ช่วยป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ไม่ต้องการในโดที่หมักด้วยยีสต์
- (2) เน้นรสกลืนของส่วนผสมอื่นๆ เช่น ความหวานของน้ำตาลจะเด่นชัดขึ้นด้วยรสเค็ม

ของเกลือ

- (3) จัดความไม่มีรสชาติในอาหารให้หมดไป
- (4) ช่วยควบคุมการทำงานของยีสต์ในโดที่หมักให้ขึ้นฟูด้วยยีสต์ และควบคุมอัตราการ

หมัก

- (5) ช่วยให้กลูเตนของโดมีกำลังในการยืดตัว
- (6) ช่วยให้เกิดสีของเปลือกนอกของผลิตภัณฑ์

2.8.5 สิ่ง чтоช่วยให้อขึ้นฟู

สิ่ง чтоช่วยให้อผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู มีความเบา โปร่ง มีลักษณะเนื้อในเป็นรูมี 3 ชนิดด้วยกัน คือ

1) อากาศ

การผสมอากาศให้เข้าไปในส่วนผสมทำได้หลายวิธีด้วยกัน ดังนี้

- (1) การร่อนแป้งก่อนผสม
- (2) การตีแป้งกับส่วนผสมอื่นๆ เช่น ผงฟู น้ำ ไขมัน นมและน้ำตาลเข้าด้วยกัน
- (3) การตีแยกกับน้ำตาล เช่น ในการทำบัตเตอร์เค้ก
- (4) การตีไข่กับน้ำตาล เช่น การทำสปันจ์เค้กและแองเจิลเค้ก
- (5) การห่อพับริดโดสำหรับทำฟัพเพสตรี และแดนิชเพสตรี

2) ไอน้ำ

การขึ้นฟูด้วยไอน้ำเกิดจากการที่น้ำในส่วนผสมขยายตัวขึ้น เมื่อได้รับความร้อน ปริมาตรของขนมที่ขึ้นฟูด้วยไอน้ำ ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของแป้งกับน้ำที่มีอยู่ในส่วนผสมนั้น เช่น การพองตัวของครีมพัฟหรือเอแคลร์ ซึ่งใช้น้ำปริมาณมาก ลักษณะพองตัว ตรงกลางกลวง ซึ่งเป็นผลจากการที่น้ำกลายเป็นไอน้ำเมื่อได้รับความร้อน สำหรับฟัพเพสตรีที่พองตัวขึ้นเป็นชั้น ก็เนื่องมาจากน้ำในส่วนผสม และน้ำในเนยที่นำมาห่อรีดพัฟอยู่ในระหว่างชั้นของโดนั้นเดือดกลายเป็นไอน้ำ เมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ ทำให้ฟัพเพขึ้นฟูเป็นชั้นตามลักษณะการรีดพัฟโด

3) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เกิดขึ้นได้โดยกระบวนการทางชีวเคมี ได้แก่ ยีสต์ และกระบวนการทางเคมี ได้แก่ สารเคมี คือผงฟู ผงโซดา แอมโมเนีย เป็นต้น

4) หน้าที่ของสิ่งที่ช่วยให้ชั้นฟูต่อต่อผลิตภัณฑ์

- (1) ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความเบา ขึ้นฟู ง่ายต่อการขบเคี้ยว
- (2) ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อในเป็นรูโปร่ง ทำให้น้ำย่อยสัมผัสกับอาหารได้หมด การย่อยจึงง่ายขึ้น
- (3) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่มรับประทานและอร่อย

2.8.6 ไขมัน

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยีสต์ เช่น ขนมปังโรล ไขมันจะช่วยให้ความอ่อนนุ่ม และให้กลิ่นรสที่ดี ช่วยในการกักเก็บก๊าซที่เกิดขึ้น ทำให้กลูเตนมีความแน่นจนอากาศเข้าไม่ได้ ซึ่งทำให้ปริมาตรและเปลือกนอกของขนมปังดีขึ้น และช่วยหล่อลื่นกลูเตนให้ยืดหดได้ โดยช่วยการขยายตัวของผนังเซลล์และจัดโครงสร้างของกลูเตน ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มปริมาตรของขนมปัง

2.8.7 นม

สำหรับขนมปัง นมไม่ได้เป็นส่วนผสมหลักที่สำคัญ แต่เป็นส่วนผสมที่เติมเข้าไปเพื่อช่วยให้ขนมปังมีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งนิยมใช้นมผงปราศจากไขมัน หรือหางนม ซึ่งมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น

- 1) ช่วยเพิ่มการดูดซึมน้ำและทำให้โดมีกำลังขึ้น นมผงปราศจากไขมันจะเป็นตัวช่วยให้โปรตีนของแป้งมีกำลังเนื่องจากเคซีนในนม ทำให้ปริมาตรของขนมปังเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้แป้งที่มีกำลังของโปรตีนปานกลาง สำหรับแป้งที่มีโปรตีนอ่อนควรใช้ปริมาณสูงขึ้น
- 2) ทำให้การทนทานต่อการผสมดีขึ้น โดที่ใส่นมผงจะทนต่อการผสมที่ใช้เวลาหมักได้ และกลับคืนสู่สภาพเดิมอย่างรวดเร็ว ก่อนถึงระยะที่ใส่พิมพ์
- 3) ใช้เวลาในการหมักได้นาน เนื่องจากนมทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ นมปราศจากไขมันจะทำให้เกิดกรดในระหว่างการหมักได้ช้าลง ดังนั้นจึงสามารถใช้เวลาหมักได้นาน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาตรที่ดี
- 4) ช่วยให้เกิดสีของเปลือกขนมปังที่ดี แล็กโตส เคซีน และโปรตีนอื่นในหางนมผง ช่วยทำให้เกิดสีน้ำตาลทองแก่ขนมปัง และทำให้คุณภาพในการปิ้งย่างดีขึ้น
- 5) ช่วยให้ขนมปังมีขนาดและรูปร่างของเซลล์และเนื้อสัมผัสดีขึ้น ทำให้นุ่มขึ้น
- 6) เพิ่มปริมาตรให้แก่ก้อนขนมปัง
- 7) ช่วยเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้แก่ขนมปัง เนื่องจากในนมมีแร่ธาตุ โปรตีนและวิตามิน ซึ่งช่วยทำให้ขนมปังมีกลิ่นรสและคุณภาพในการรับประทานดีขึ้น

2.8.8 ไข่

หน้าที่ของไข่ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่มีดังนี้

- 1) เป็นตัวทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู เมื่อตีไข่ขาวจะเกิดฟองซึ่งประกอบด้วยฟองอากาศเล็กๆ จำนวนมาก ซึ่งแต่ละฟองจะถูกล้อมรอบด้วยแผ่นโปรตีนจากไข่ การตีไข่ด้วยเครื่องและการสัมผัสของแผ่นโปรตีนบางๆ กับอากาศ จะทำให้โปรตีนบางส่วนแข็งตัวและทำให้ฟองคงตัวต่อการอบ ฟองอากาศจะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน และแผ่นโปรตีนจะยืดหยุ่นทำให้ยืดออกได้ เมื่อส่วนผสมหรือไข่ขาวที่ตีแข็งได้รับอุณหภูมิสูง โปรตีนจะแข็งตัวอย่างทั่วถึง จะสูญเสียความยืดหยุ่นและจะจับตัวเป็นโครงสร้าง ที่แข็งของผลิตภัณฑ์

- 2) สี ของไข่แดงช่วยให้เค็มมีสีเหลือง
- 3) ช่วยเพิ่มความเข้มข้น เนื่องจากไข่มีไขมันและของแข็งอื่นๆ ผลิตภัณฑ์จะมีไขมันเพิ่มขึ้นและมีรสหวานขึ้น นอกจากนั้นไข่ยังช่วยให้ส่วนผสมมีความมัน สามารถผสมง่ายขึ้น
- 4) ช่วยเพิ่มกลิ่นรส ไข่มีกลิ่นเฉพาะซึ่งบางคนชอบให้มีในผลิตภัณฑ์
- 5) ช่วยเพิ่มความสดและคุณค่าทางอาหาร เนื่องจากไข่ทั้งฟองมีความชื้น 75 เปอร์เซ็นต์ และมีความสามารถตามธรรมชาติในการที่จะรวมและเก็บความชื้นไว้ จึงทำให้การทำแห้งของผลิตภัณฑ์เกิดช้าลง ไข่มีคุณค่าทางอาหารสูงและทำให้ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่เป็นอาหารที่มีคุณค่า โดยไข่มีปริมาณแคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็กสูง ทั้งยังมีวิตามินที่สำคัญแก่ร่างกาย เช่น วิตามินเอ ดี ไทอะมิน และไรโบฟลาวิน นอกจากนี้โปรตีนที่มีในไข่ก็เป็นโปรตีนที่สมบูรณ์ สามารถให้กรดอะมิโนที่จำเป็นทั้งหมดที่ร่างกายต้องการ เพื่อช่วยสร้างการเจริญเติบโตและสุขภาพที่ดี

2.8.9 กลิ่นและเครื่องเทศ

กลิ่นรสและเครื่องเทศ เป็นวัตถุดิบที่ช่วยเติมกลิ่นรส และสีให้แก่ผลิตภัณฑ์ตามความต้องการ กลิ่นหอมของขนมปังที่อบใหม่ๆ เป็นกลิ่นที่กระตุ้นและชวนให้รับประทาน แต่กลิ่นแรงของกลิ่นรสบางอย่างจะไม่ใช่ที่ต้องการ ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงการใช้วัตถุดิบประเภทนี้ให้ถูกต้อง

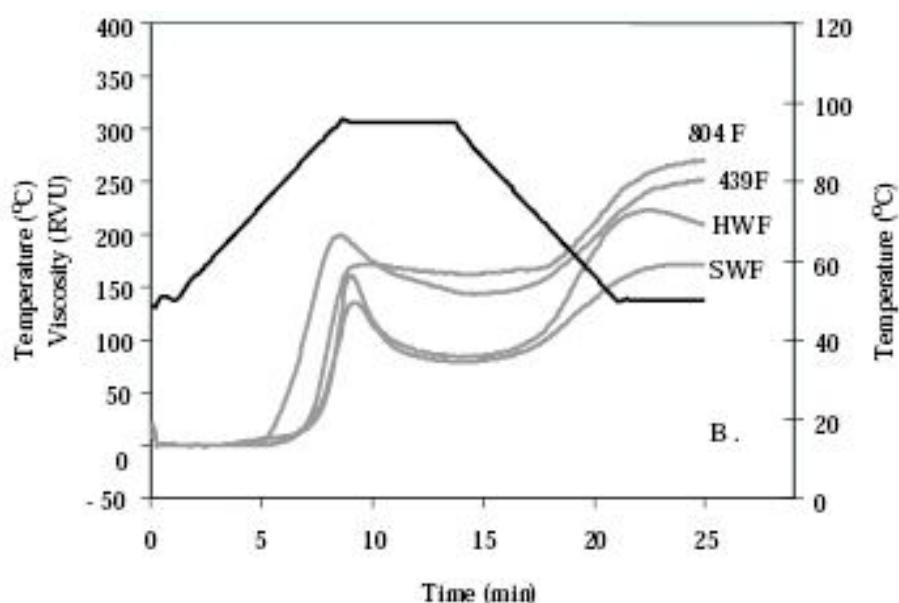
1) กลิ่นรส (Flavors) ได้มาจากการสกัดน้ำมันของผลไม้หรือผัก โดยใช้สกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ หรือตัวละลายอื่นๆ กลิ่นรสที่ได้จากผลไม้ส่วนมากได้มาจากน้ำมันธรรมชาติที่พบอยู่ตามผิวของผลไม้ เช่น ส่วนนอกของเปลือกส้มหรือมะนาว บางอย่างได้จากการสกัดจากเนื้อผลไม้ (pulp) กลิ่นรสของผลไม้เหล่านี้อาจทำเทียมโดยกลิ่นและสีที่ประดิษฐ์ขึ้นมา ซึ่งอาจเป็นกลิ่นรสชนิดแท้หรือเทียม ผู้ผลิตจะแสดงไว้ที่ฉลากของภาชนะบรรจุ สำหรับกลิ่นรสเทียมมักมีราคาถูกกว่า กลิ่นรสที่เป็นของเหลวควรเก็บไว้ในขวดสีมืดและปิดให้สนิทเมื่อไม่ใช้แล้วเพื่อป้องกันการระเหยของกลิ่น กลิ่นรสนั้นไวต่อแสงสว่างและอาจจะสูญเสียความแรงได้ถ้าเก็บในที่ที่มีแสง กลิ่นรสส่วนใหญ่จะหายไปเมื่อนำไปอบโดยการระเหย และการเป็นไอ จึงพบว่าควรเติมกลิ่นรสไปกับไขมันในการตีครีม กลิ่นรสจะถูกดูดซึมกระจายได้ดีและไม่ระเหยได้ง่ายอย่าใช้กลิ่นรสมากเกินไป ถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่น่ารับประทานซึ่งรวมถึงการใช้สีต่างๆ ในผลิตภัณฑ์ด้วย

2) เครื่องเทศ เป็นผักที่ให้กลิ่น โดยปกติมีอยู่ในรูปของการบดละเอียดอาจจะได้มาจากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น เปลือกไม้ เมล็ดผัก หรือผลไม้ หรือจากรากของพืชชนิดต่างๆ เครื่องเทศช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีรสและกลิ่นตามต้องการ และช่วยทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น เครื่องเทศที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมเบเกอรี่ ได้แก่ อบเชย (cinnamon) ดอกจันทน์ ลูกจันทน์ กานพลู เม็ดคาราเวย์ ลูกผักชี ยี่หระ ฯลฯ การใช้เครื่องเทศก็เช่นเดียวกันกับการใช้สีและกลิ่นรส ไม่ควรใช้มากเกินไป และต้องชั่งตวงด้วยความระมัดระวังในการใช้การเก็บรักษาเครื่องเทศก็เช่นเดียวกัน เนื่องจากกลิ่นของเครื่องเทศระเหยได้ ถ้าตั้งทิ้งไว้ให้สัมผัสอากาศนานๆ จะสูญเสียกลิ่นและรสได้ ดังนั้นจึงควรเก็บในภาชนะที่ปิดสนิทเมื่อไม่ใช้ การเก็บเครื่องเทศในรูปของผักหรือเมล็ดจะเก็บได้นานกว่าพวกที่บดละเอียด (จิตธนา แจ่มเมฆ และ อรอนงค์ นัยวิกุล, 2539)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chanapamokkhot and Thongngam (2007) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและเคมีเชิงฟิสิกส์ของแป้งและจากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 804 เปรียบเทียบกับแป้งและสตาร์ชจากข้าวสาลีชนิดแข็งและชนิดอ่อน เพื่อใช้เป็นแนวทางนำข้าวฟ่างมาใช้ทดแทนข้าวสาลี ผลงานวิจัยสรุปได้ดังนี้

1. โปรตีนในแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 804 มีปริมาณ 6.28 และ 9.47 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าในแป้งข้าวสาลีชนิดแข็ง (HWF) และแป้งสาลีชนิดอ่อน (SWF) ที่มีปริมาณโปรตีน 14.89 และ 11.24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
2. ปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 พันธุ์ KU 804 สตาร์ชข้าวสาลีชนิดแข็ง และชนิดอ่อน มีค่า 27.18, 25.35, 28.06 และ 23.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ
3. กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวฟ่างและข้าวสาลีเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และที่อุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวฟ่างสูงกว่าสตาร์ชข้าวสาลี
4. อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดของข้าวสาลีชนิดแข็ง มีค่าสูงกว่าสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 804 พันธุ์ KU 439 และข้าวสาลีชนิดอ่อนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่สตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 804 และ KU 439 มีความหนืดสูงสุดและค่าความหนืดลดลงสูงกว่าสตาร์ชข้าวสาลีชนิดแข็งและชนิดอ่อน แต่มีความหนืดสุดท้าย และการคืนตัว (setback) ต่ำกว่า ดังภาพประกอบ 2.8
5. แป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 804 และ KU 439 มีค่าความหนืดสูงสุด ความหนืดสุดท้ายและการคืนตัว สูงกว่าแป้งสาลีข้าวสาลีชนิดแข็ง และชนิดอ่อน ในขณะที่ค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 804 พันธุ์ KU 439 และแป้งสาลีข้าวสาลีชนิดอ่อน มีค่าต่ำกว่า แป้งสาลีข้าวสาลีชนิดแข็ง ($p < 0.05$) ทั้งสตาร์ชและแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 804 และ KU 439 มีความแตกต่างจากสตาร์ชและแป้งข้าวสาลีชนิดแข็งและชนิดอ่อน ดังภาพประกอบ 2.8



ที่มา: Chanapamokkhot and Thongngam (2007)

ภาพประกอบ 2.8 กราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งข้าวฟ่างด้วยเครื่อง RVA

คุณสมบัติทางด้านองค์ประกอบทางด้านเคมี การพองตัว การละลาย และความหนืด โปรตีนในแป้งสามารถยับยั้งการพองตัวของแป้ง ทำให้การพองตัวและความหนืดสูงสุดต่ำ จากข้อมูลที่ได้ นี้สามารถใช้ตัดแปรและปรับปรุงแป้งและสตาρχข้าวฟ่างเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบทดแทนหรือแทนสตาρχ และแป้งข้าวสาลีในผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีกลูเตน

Dykes (2005) ศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิตและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของเมล็ด ข้าวฟ่างสายพันธุ์ต่างๆ พบว่า ข้าวฟ่างที่มีสีม่วงหรือสีแดงมีปริมาณฟีนอลิตสูงกว่าข้าวฟ่างที่มีสีน้ำตาล ข้าวฟ่างที่มีเปลือกหนามีฟีนอลิตสูงกว่าที่มีเปลือกบาง ข้าวฟ่างที่ขึ้น testa มีรงควัตถุ และมีเอน B₁B₂S มีปริมาณฟีนอลิตสูงที่สุด ข้าวฟ่างที่มีเอน S ที่ควบคุมรงควัตถุ และปริมาณแทนนินในส่วนเปลือก มีฤทธิ์ การต้านอนุมูลอิสระสูง ข้าวฟ่างที่มีสีม่วงหรือสีแดงมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวฟ่างที่มีสี น้ำตาล และข้าวฟ่างที่มีสีม่วงหรือสีแดงที่มีเปลือกหนามีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าเปลือกบาง

Elkhalifa and Bernhardt (2010) ศึกษาผลของการงอกเมล็ดต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวฟ่าง โดยนำข้าวฟ่างที่ปลูกในเมืองซูดานมางอกนาน 5 วัน และวัดกิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสและ เอนไซม์อะไมเลสทุกๆ 24 ชั่วโมง พบว่า แป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการงอกในวันที่ 3 มีกิจกรรมของเอนไซม์ โปรติเอสและอะไมเลสสูงที่สุด และมีโปรตีนที่สามารถละลายได้สูงที่สุดเมื่อเทียบกับแป้งข้าวฟ่างที่ ไม่ผ่านการงอก พบการละลายของโปรตีนเกิดขึ้นสูงสุดที่ค่าพีเอช 6 แสดงว่าการงอกช่วยเพิ่มการละลาย ของโปรตีน สำหรับความเข้มข้นน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดเจลของแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการงอก พบว่า มีค่า 8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเข้มข้นของแป้งข้าวฟ่างที่ไม่งอกที่มีค่า 18 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ แป้ง ที่ผ่านการงอกยังมีความหนาแน่นต่ำ มีปริมาณน้ำและน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 131.34 เปอร์เซ็นต์ และ 90.56 เปอร์เซ็นต์ เป็น 141.64 เปอร์เซ็นต์ และ 108 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีความสามารถในการเกิด อิมัลชันและความคงตัวของอิมัลชันเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เมื่อเวลาในการงอกเพิ่มขึ้นความสามารถในการ เกิดโฟมจึงเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น การงอกจึงเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของแป้งข้าวฟ่างและเป็นแนวทาง ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารใหม่ๆโดยใช้ข้าวฟ่างงอก

Hugo *et al.*, (2003) ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการหมัก โดยนำแป้ง ข้าวฟ่างมาหมักด้วยกรดแลคติกนาน 5 วัน และทำแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตขนมปังร่วมกับแป้งสาลี ผลการทดลอง พบว่า แป้งข้าวฟ่างที่ผ่าน การหมักมีค่า pH ลดลงจาก 6.2 เป็น 3.4 การหมักทำให้ปริมาณสตาρχทั้งหมด และโปรตีนที่ละลายน้ำ ได้มีค่าลดลง แต่ปริมาณสตาρχที่ย่อยได้ง่ายด้วยเอนไซม์ โปรตีนทั้งหมด และโปรตีนที่สามารถย่อยได้ เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การหมักและการทำแห้งไม่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อน (pasting temperature) ของแป้งข้าวฟ่าง แม้ว่าทำให้ความหนืดสูงสุด และความหนืดสุดท้าย มีค่าเพิ่มขึ้น เล็กน้อย เมื่อนำแป้งข้าวฟ่างหมักไปผลิตเป็นขนมปัง พบว่า โดยมีค่าพีเอชลดลงจาก 5.8 เป็น 4.9 ขนมปัง มีปริมาตรเพิ่มขึ้นประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์เทียบกับโดที่ทำจากแป้งข้าวฟ่างที่ไม่หมัก มีโครงสร้างของเนื้อ ใน (crumb) ที่ดีขึ้น และมีความแน่นเนื้อ (firmness) ของเนื้อในลดลงเล็กน้อย ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นผลมา จากการมีโปรตีนที่สามารถย่อยได้เพิ่มขึ้นหลังกระบวนการหมัก การผสมแป้ง ข้าวฟ่างที่ผ่านการหมักลง ในแป้งสาลี (ชนิดที่ทำให้ขึ้นโด) ช่วยเพิ่มปริมาตรและน้ำหนักของขนมปังและลดความแน่นเนื้อของ เนื้อในขนมปัง เนื่องจากแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการหมักที่มีพีเอชต่ำ จึงยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์อะไมเลส เพิ่มความหนืดของแป้งข้าวฟ่าง จึงเป็นการปรับปรุงความสามารถในการเก็บกักแก๊สของโดที่ประกอบ ไปด้วยแป้งสาลีและแป้งข้าวฟ่าง

Dlamini *et al.*, (2007) ศึกษาผลของชนิดข้าวฟ่างและกระบวนการแปรรูปต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของอาหารที่เตรียมจากข้าวฟ่างของชาวแอฟริกัน โดยข้าวฟ่างที่ใช้ในการศึกษามี 2 ชนิด คือ ชนิดที่ไม่มีแทนนิน ได้แก่ Macia และ NK 283 และชนิดที่มีแทนนิน ได้แก่ Red Swazi NS 5511 และ Framida แต่ละชนิดมีทั้งแบบข้าวฟ่างเต็มเมล็ดและเมล็ดข้าวฟ่างที่ขัดเปลือกออก(decorticated) ตัวอย่างข้าวฟ่างทั้งหมดนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปแบบหมัก(fermentation) น้ำแป้งหมัก(fermentation slurry) โจ๊กหมัก(fermentation porridges) และเอ็กซ์ทราด(extrusion cooking) ผลการศึกษาพบว่าข้าวฟ่างแต่ละชนิดมีระดับฟีนอลแตกต่างกัน ซึ่งข้าวฟ่างชนิดที่มีแทนนิน มีปริมาณฟีนอลสูงที่สุด เมล็ดข้าวฟ่างที่ขัดเปลือกออกมีผลต่อการลดของปริมาณฟีนอลและแทนนินอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อนำข้าวฟ่างที่มีแทนนินทั้งแบบเต็มเมล็ดและผ่าน การขัดเปลือกออกมาผ่านกระบวนการแปรรูปแบบหมักน้ำแป้ง พบว่า ทำให้ปริมาณฟีนอลลดลง ส่วนผ่านกระบวนการแปรรูปแบบโจ๊กหมักมีระดับฟีนอลลดลงเช่นกันแต่น้อยกว่ากระบวนการแปรรูปแบบน้ำแป้งหมักในขณะที่ข้าวฟ่างที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบเอ็กซ์ทราด มีปริมาณฟีนอลลดลงมากที่สุด สำหรับผลการศึกษากิจกรรมการต้านอนุมูลอิสระ พบว่า ข้าวฟ่างชนิดที่มีแทนนินมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงกว่าข้าวฟ่างที่ไม่มีแทนนินและ การขัดเปลือกออกจะทำให้ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง สำหรับข้าวฟ่างเต็มเมล็ดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบน้ำแป้งหมักและโจ๊กหมักจะมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง ส่วนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในข้าวฟ่างเต็มเมล็ดชนิดที่ไม่มีแทนนินจะไม่เปลี่ยนแปลง เมล็ดข้าวฟ่างที่ขัดเปลือกออกแล้วนำมาผ่านกระบวนการแปรรูปแบบโจ๊กหมักจะมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระต่ำกว่าข้าวฟ่างเต็มเมล็ด ส่วนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของข้าวฟ่าง เต็มเมล็ดที่ผ่านกระบวนการแปรรูปแบบน้ำแป้งหมักและการเอ็กซ์ทราด จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนข้าวฟ่างเต็มเมล็ดและแบบขัดเปลือกออกที่ผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยการหมัก โจ๊กและเอ็กซ์ทราด ฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระจะไม่แตกต่างกัน โดยระหว่างการหมักน้ำแป้ง แทนนินจะจับกับโปรตีนและสารประกอบต่างๆ ทำให้มีปริมาณลดลง และแทนนินยังอาจถูกย่อยด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์(microbial enzyme) ส่วนที่ผ่านกระบวนการ เอ็กซ์ทราด มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระลดลง เนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแทนนินกับโปรตีนทำให้ความร้อนสูงทำให้โปรตีนเสียสภาพ โครงสร้างถูกทำลาย จึงช่วยให้เกิดการทำให้ปฏิกิริยาระหว่างโปรตีนกับแทนนิน กลายเป็น แทนนิน-โปรตีนคอมเพล็กซ์ และทำปฏิกิริยาจับอนุมูลอิสระในระบบทางเดินอาหาร โดยโพลีเมอร์ที่มีขนาดใหญ่ของแทนนินจะถูกย่อยโดยเชื้อจุลินทรีย์ประจำถิ่น(microbial flora) ที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ ดังนั้น โพลีเมอร์ของ แทนนิน-โปรตีน จึงถูกย่อยให้มีขนาดเล็กลงและปลดปล่อยแทนนินออกไป ดังนั้นแล้วการเกิด แทนนิน-โปรตีนคอมเพล็กซ์ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม สุดท้ายแล้วจะถูกย่อยสลายในระหว่างการย่อยในกระเพาะอาหารและลำไส้โดยเอนไซม์เปปซินและเอนไซม์อื่น

Khalil *et al.*, (1983) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและคุณภาพของแป้งและขนมปังจากแป้งข้าวฟ่าง 2 สายพันธุ์ที่นิยมปลูกในประเทศซาอุดีอาระเบีย ได้แก่ ข้าวฟ่างสีขาวและสีขาวออกแดง พบว่า ข้าวฟ่างทั้ง 2 สายพันธุ์มีองค์ประกอบทางเคมีใกล้เคียงกัน คือ มีโปรตีนในข้าวฟ่างสีขาว 15.3 เปอร์เซ็นต์ และในข้าวฟ่างสีขาวออกแดงมีโปรตีน 15.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณแร่ธาตุ กรดไขมัน วิตามิน ในข้าวฟ่างสีขาวออกแดงมีสูงกว่าข้าวฟ่างสีขาว ข้าวฟ่างสีขาวมีแทนนินต่ำกว่าข้าวฟ่างสีขาวออกแดง โดยมีค่า 0.09 และ 0.27 เปอร์เซ็นต์ค้ะทีชิน ตามลำดับ ทั้งนี้การอบขนมปังไม่มีผลต่อปริมาณกรดไขมันและกรดอะมิโน ในขณะที่ปริมาณ โซเดียม (Na) และแคลเซียม (Ca) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณ โพแทสเซียม (K) ฟอสฟอรัส (P) และกรดเพนโททีนิก (pantothenic acid) มีค่าลดลง และไม่พบแทนนินในขนมปัง สำหรับขนมปังที่หมักนาน 18 ชั่วโมง พบว่า มีวิตามินบี 12 และ กรดเพนโททีนิกสูง

แต่ปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าขนมปังที่ทำจากแป้งที่ไม่ผ่านการหมัก นอกจากนี้ขนมปังที่ได้จากแป้งที่ผ่านการหมักยังมี ปริมาณกรดอะมิโนไทโรซีน ไลซีน และเมไทโอนีนเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย

Onyango *et al.*, (2010) ศึกษาการปรับปรุงขนมปังปราศจากกลูเตนจากข้าวฟ่างโดยกับผสมสตาร์ชข้าวโพด มันฝรั่ง มันสำปะหลังและข้าว ในอัตราส่วน 10:90, 20:80, 30:70, 40:60 และ 50 : 50 และกำหนดให้ส่วนผสมอื่นๆ คงที่ ได้แก่ น้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 6.7 เปอร์เซ็นต์ ผงไข่ขาว 6 เปอร์เซ็นต์ ไขมันที่ใช้ทำขนมปัง 2 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 1.7 เปอร์เซ็นต์ และยีสต์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักแป้ง ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มปริมาณสตาร์ช ลดค่าความแน่นเนื้อ (firmness) และความยากง่ายในการเคี้ยว (chewiness) ของขนมปัง ในขณะที่ความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness) และความตึง (resilience) มีค่าเพิ่มขึ้น เนื้อด้านใน (crumb) ของขนมปังจากแป้งมันสำปะหลังผสมแป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวผสมแป้งข้าวฟ่าง มีคุณสมบัติดีกว่าแป้งข้าวโพดผสมแป้งข้าวฟ่าง หรือแป้งมันฝรั่งผสมแป้งข้าวฟ่าง แม้ว่าคุณสมบัติของเนื้อในขนมปัง (crumb) มีการเปลี่ยนแปลงไป คือ มีความแน่นเนื้อ (firmness) และความยากง่ายในการเคี้ยว (chewiness) เพิ่มขึ้น และมีความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ความตึง (resilience) และความยืดหยุ่น (springiness) ลดลงในระหว่างการเก็บรักษา โดยสูตรขนมปังที่มีเนื้อสัมผัสโดยรวมดีที่สุด คือ การใช้แป้งมันสำปะหลังต่อแป้งข้าวฟ่าง 50 : 50 เปอร์เซ็นต์

Onyango *et al.*, (2010) ศึกษาการปรับปรุงคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัสและคุณสมบัติการไหล (rheology) ของแป้งข้าวฟ่าง โดยการใช้ร่วมกับแป้งมันสำปะหลังพรีเจลลาติไนซ์ หรือแป้งที่ไม่ผ่านกระบวนการ (native) ในอัตราส่วน 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 และกำหนดให้ปริมาณของส่วนผสมอื่นๆ มีค่าคงที่ ได้แก่ น้ำ 100 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาล 6.7 เปอร์เซ็นต์ ผงไข่ขาว 6 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2 เปอร์เซ็นต์ เกลือ 1.7 เปอร์เซ็นต์ และยีสต์ 1.5 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแป้ง ซึ่งพบว่า แบทเทอร์ (batter) ของข้าวฟ่างที่มีส่วนผสมของ แป้งมันสำปะหลังแบบไม่ผ่านกระบวนการ มีคุณสมบัติของ เนื้อด้านในขนมปัง (crumb) ดีกว่า แบทเทอร์ ที่มีส่วนผสมของแป้งพรีเจลลาติไนซ์ โดยเมื่อมีการเพิ่มปริมาณแป้งที่ไม่ผ่านกระบวนการ ทำให้ขนมปังมีความเกาะติดกัน (Cohesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness) และ ความตึง (resilience) เพิ่มขึ้น ส่วนการเพิ่มปริมาณของแป้งแบบพรีเจลลาติไนซ์ เพิ่มขึ้น ทำให้เนื้อในขนมปังมีความเหนียวติดกัน (adhesiveness) เพิ่มขึ้น และการเพิ่มปริมาณของแป้งไม่ผ่านกระบวนการหรือแป้งพรีเจลลาติไนซ์ ทำให้เนื้อในขนมปัง มีทั้งความแน่นแข็ง (firmness) และความยากง่ายในการเคี้ยว (chewiness) เพิ่มขึ้น

Torbica *et al.*, (2010) ศึกษาเนื้อสัมผัส และคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของขนมปังปราศจากกลูเตนที่ผลิตจากแป้งข้าวผสมแป้งบัควีทแบบมีเปลือก และแบบเอาเปลือกออกในอัตราส่วน 90:10, 80:20 และ 70:30 รวม 6 ตัวอย่างพบว่า ค่าความแข็ง (hardness) ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมและขึ้นกับชนิดของแป้งบัควีท โดยตัวอย่างที่มีแป้งบัควีทแบบเอาเปลือกออก มีค่า ความแข็ง สูงกว่าตัวอย่างที่มีแป้งบัควีทแบบมีเปลือก ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สุดท้าย พบว่า ผู้ทดสอบให้การยอมรับขนมปังปราศจากกลูเตนทั้ง 6 ตัวอย่าง

