บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวกล้อง

ข้าวกล้องหรืออาจมีคำเรียกอื่นว่า ข้าวแดง ข้าวซ้อมมือ ข้าวอนามัย เป็นข้าวที่มีสีคล้ำกว่าข้าวขัดขาวทั่วไป โดยมีลักษณะของเมล็ดข้าวเป็นสีเหลืองถึงน้ำตาล ข้าวกล้องเป็นข้าวที่กะเทาะเปลือกข้าวส่วนที่เรียกว่าแกลบออก โดยยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) อยู่ ซึ่งเป็นส่วนที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีวิตามิน เกลือแร่ โปรตีนและกากใยที่สูงกว่าข้าวขัดขาว แต่มีปริมาณพลังงาน และคาร์โบไฮเดรตที่ใกล้เคียงกับข้าวขัดขาว (จริยา เดชกุญชร, 2552; พินิจ จันทร และคณะ, 2555) เมื่อเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องกับข้าวขัดข้าว พบว่า ข้าวกล้องมีไรโบ-ฟลาวินหรือวิตามิน บี 2 และแพนโทเธนเนต มากกว่าข้าวขัดขาว 2 เท่า มีกากใย วิตามิน บี 6 และไนอะซินมากกว่าข้าวขัดขาว 3 เท่า มีไทอามีนหรือวิตามิน บี 1 มากกว่าข้าวขัดขาว 5 เท่า และมีวิตามินอีมากกว่าค่อนข้างมาก นอกจากนี้ข้าวกล้องยังมีเกลือแร่และแร่ธาตุที่จำเป็น ได้แก่ ฟอสฟอรัส แคลเซียม เหล็ก โพแทสเซียม แมกนีเซียม สังกะสี ทองแดง โคบอลต์ ซีลีเนียม และไอโอดีน ในปริมาณที่สูงกว่าข้าวขัดข้าว (จริยา เดชกุญชร, 2552)

1. ประโยชน์ของข้าวกล้อง

ข้าวกล้องมีเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นองค์ประกอบ ส่งผลให้พบปริมาณกากใยมากในข้าวกล้อง ซึ่งกากใยจะประกอบไปด้วยสารที่อยู่ในกลุ่มของน้ำตาลโมเลกุลใหญ่เชิงซ้อน (Polysaccharides) โดยทั่วไปกากใยมักอยู่ที่บริเวณผนังเซลล์ของพืช เมื่อมีการบริโภคกากใยเข้าไปในร่างกาย จะพบว่าร่างกายไม่สามารถย่อยกากใยได้หมด จึงมีการขับออกทางลำไส้ใหญ่ผ่านทางอุจจาระ โดยส่วนของกากอาหารทำให้อุจจาระรวมตัวกันเป็นก้อนได้ง่าย ขับถ่ายได้สะดวก ป้องกันการท้องผูก และยังช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งที่ลำไส้ใหญ่ได้อีกทางหนึ่ง เมื่อทำการเปรียบเทียบแป้งในข้าวกล้องกับข้าวขัดขาว พบว่าแป้งในข้าวกล้องเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ซึ่งจะมีการถูกย่อยสลายไปอย่างช้า ๆ ทำให้สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดี แต่แป้งในข้าวขัดขาวเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงเดี่ยว ส่งผลให้ระดับน้ำตาลในเลือดเปลี่ยนแปลงในระดับที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ไม่สมดุลกับระดับของอินซูลิน ทำให้มีน้ำตาลค้างอยู่ในเลือดจำนวนมาก ร่างกายจะทำการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นไขมัน ส่งผลให้ผู้บริโภคแป้งจากข้าวขัดขาวอ้วนได้ง่าย ดังนั้นการบริโภคข้าวกล้องจึงสามารถช่วยป้องกันโรคเบาหวาน และโรคอ้วนได้ นอกจากนี้ข้าวกล้องยังมีคุณค่าทางโภชนาการอื่น ๆ อีก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 (จริยา เดชกุญชร, 2552)

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวไทย

ชนิดข้าว	พลังงาน mg/100	ฟอสฟอรัส mg/100	เหล็ก mg/100	ไทอะมีน mg/100	ไรโบฟลาวิน mg/100	ไนอะซีน mg/100	วิตามินอี mg/100
ข้าวกล้อง	366	255	3.7	0.55	0.06	2.80	0.41
ข้าวขัด	353	130	0.9	0.26	0.42	1.60	-

ที่มา: จริยา เดชกุญชร (2552)

2. ชนิดของข้าวกล้อง

ในปัจจุบันผู้บริโภคหันมาสนใจอาหารเพื่อสุขภาพกันมากขึ้น ส่งผลให้มีการรับประทานข้าวกล้องเพิ่มมากขึ้น ซึ่งข้าวทุกประเภทสามารถทำเป็นข้าวกล้องได้ เมื่อทำการแบ่งชนิดของข้าวกล้องตามลักษณะของสีสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

2.1 ข้าวกล้องชนิดสีขาวเหลืองนวล มีลักษณะดังภาพที่ 2.1 ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายพันธุ์ โดยพันธุ์ที่ได้รับความนิยม ได้แก่ ข้าวหอมมะลิกล้องชัยภูมิ ข้าวหอมมะลิกล้องสุรินทร์ ข้าวหอมมะลิกล้องทุ่งกุลาร้องไห้ ข้าวหอมมะลิกล้องปทุมธานี 1 ข้าวหอมมะลิกล้องสุพรรณบุรี ข้าวกล้องญี่ปุ่น ข้าวกล้องดอย และข้าวกล้องข้าวเหนียว (จริยา เดชกุญชร, 2552)

ภาพที่ 2.1 ลักษณะของข้าวกล้องชนิดสีขาวเหลืองนวล
ที่มา: จริยา เดชกุญชร (2552)

2.2 ข้าวกล้องนิล เป็นข้าวที่มีสารอาหารสูงกว่าข้าวขัดข้าวถึง 7 เท่า ข้าวในกลุ่มนี้จะมีสารโปรแอนโทไซยานิดิน (Proanthocyanidin) ซึ่งเป็นสารที่มีสีอยู่ในเมล็ดข้าว ส่งผลให้เมล็ดของข้าวกล้องนิลมีสีม่วงเข้มจนเกือบดำ ดังแสดงในภาพที่ 2.2 สารโปรแอนโทไซยานิดินเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีสารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) เป็นองค์ประกอบ มีคุณสมบัติในการช่วยขยายหลอดเลือด กระตุ้นการไหลเวียนของโลหิต ลดความเสี่ยงโรคมะเร็ง นอกจากนั้นยังช่วยให้เส้นผมมีสีดำและนุ่มสลวย ส่งผลให้เกิดผมหงอกที่ช้าลง ชนิดของข้าวกล้องนิล ได้แก่ ข้าวกล้องหอมมะลินิล และข้าวกล้องข้าวเหนียวนิล (จริยา เดชกุญชร, 2552)

ภาพที่ 2.2 ลักษณะของข้าวกล้องนิล
ที่มา: จริยา เดชกุญชร (2552)

2.3 ข้าวกล้องสีแดง ลักษณะของเมล็ดข้าวเป็นจะมีสีแดง ดังแสดงในภาพที่ 2.3 ซึ่งเมื่อเทียบกับข้าวกล้องสีเหลืองนวล พบว่า ข้าวกล้องสีแดงจะมีวิตามินบี 6 เบต้าแคโรทีน และลูทีนที่สูงกว่าข้าวกล้องสีเหลืองนวล รวมทั้งมีธาตุเหล็กและอื่น ๆ สูงด้วยเช่นกัน และมีคุณสมบัติในการช่วยต้านโรคเบาหวาน โรคเหน็บชาได้ ข้าวกล้องสีแดงมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ ข้าวกล้องมันปู ข้าวกล้องหอมมะลิแดง และข้าวกล้องสังข์หยด เป็นต้น (จริยา เดชกุญชร, 2552)

ภาพที่ 2.3 ลักษณะของข้าวกล้องสีแดง
ที่มา: จริยา เดชกุญชร (2552)

ข้าวสินเหล็ก

ข้าวสินเหล็ก (Sinlek rice) เป็นข้าวที่มีการพัฒนาสายพันธุ์เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการ ซึ่งเกิดจากการวิจัยและพัฒนาภายใต้ความร่วมมือระหว่างศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โดยมีการผสมข้ามพันธุ์ระหว่างข้าวหอมนิลที่ค่อนข้างแข็งแรง อุดมไปด้วยสารอาหารมากมาย และข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งมีกลิ่นหอม นุ่ม รสชาติดี และมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ทำให้ได้ข้าวกล้องที่มีธาตุเหล็กสูง ป้องกันภาวะโรคโลหิตจาง เหมาะสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวานหรือคนที่มีระดับน้ำตาลในเลือดสูง (กรุงเทพธุรกิจ, 2558; รัชนีวรรณ สะอาดศรีวีรเดช และคณะ, 2556)

1. ลักษณะทั่วไป

ข้าวสินเหล็กเป็นข้าวสีขาวที่มีกลิ่นหอม รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ไม่ไวต่อช่วงแสง ปลูกได้ตลอดทั้งปี มีความต้านทานต่อโรคไหม้ ลักษณะประจำพันธุ์ของข้าวสินเหล็ก มีดังนี้ (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว, 2558)

ความสูง	148 เซนติเมตร
อายุเก็บเกี่ยว	120 วัน
ผลผลิต	600-800 กิโลกรัมต่อไร่
% ข้าวกล้อง (Brown rice)	76%
% ต้นข้าวหรือข้าวเต็มเมล็ด (Head rice)	50%

ความยาวของเมล็ด

ข้าวเปลือก	11 มิลลิเมตร
ข้าวกล้อง	7.6 มิลลิเมตร
ข้าวขัด	7.0 มิลลิเมตร

2. คุณค่าทางโภชนาการ

ข้าวสินเหล็กเป็นข้าวที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยมีค่าดัชนีน้ำตาลปานกลาง มีธาตุเหล็กสูงกว่าข้าวกล้องพันธุ์อื่น ๆ มีวิตามินบี 1 สูงกว่าข้าวขัดสีหรือข้าวขาว มีใยอาหารสูงช่วยให้ระบบขับถ่ายดีขึ้น และลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเกี่ยวกับลำไส้ และมีสารต้านอนุมูลอิสระสูง (กรุงเทพธุรกิจ, 2558) สำหรับคุณสมบัติทางโภชนาการในข้าวกล้อง มีดังนี้ (ศูนย์วิทยาศาสตร์ข้าว, 2558)

ปริมาณอะไมโลส	16.5%
อุณหภูมิแป้งสุก	70-74 องศาเซลเซียส
ธาตุเหล็ก	15-21 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
ความเป็นประโยชน์ของธาตุเหล็ก	
ข้าวกล้อง	7.19 นาโนกรัมFerritin/มิลลิกรัม-cell protein
ข้าวขัด	8.30 นาโนกรัมFerritin/มิลลิกรัม-cell protein
ธาตุสังกะสี	26.9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
โอเมก้า-3 (Omega-3)	22.4 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
แกมมา โอไรซานอล	372 ไมโครกรัมต่อกรัม
วิตามินอี	680 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม
โฟเลต	20.35 ไมโครกรัมต่อ 100 กรัม
ดัชนีน้ำตาล	58

จากคุณค่าทางโภชนาการของข้าวสินเหล็ก สามารถนำข้าวสินเหล็กมาช่วยแก้ปัญหาผู้ที่เป็นโรคเบาหวาน สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดีขึ้น โดยเมื่อนำมาทดลองบริโภคในกลุ่มผู้ป่วยเบาหวาน พบว่า การบริโภคข้าวกล้องสินเหล็ก ช่วยแก้ปัญหาเบาหวานได้ ทำให้สภาวะดื้อต่อ insulin ลดลงและการทำงานของตับอ่อนดีขึ้น ตลอดจนลดกลไกการอักเสบในเลือดจากขบวนการออกซิเดชั่น รวมทั้งทำให้ค่าเฉลี่ยของไขมันในเลือด (Triglyceride) ลดลง นอกจากนั้นยังมีใยอาหารมากกว่าข้าวขัดสี รวมถึงมีวิตามินและธาตุเหล็กที่มากกว่า ในปัจจุบันมีการส่งเสริมการบริโภคข้าวสินเหล็กในเด็กนักเรียนที่มีภาวะพร่องธาตุเหล็ก ทำให้ระดับฮีโมโกลบินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (อภิชาติ วรรณวิจิตร และรัชนี คงคาฉุยฉาย, 2551)

ธาตุเหล็ก

เหล็กเป็นสารอาหารประเภทเกลือแร่ที่จำเป็นและมีประโยชน์ต่อร่างกาย โดยทั่วไปคนเราควรมีเหล็กอยู่ในร่างกายประมาณ 3-5 กรัม โดยส่วนใหญ่เหล็กจะอยู่ในฮีโมโกลบินถึงร้อยละ 75 ซึ่งฮีโมโกลบินเป็นสารที่ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนจากปอดไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายผ่านทางกระแสเลือด ถ้าในกระแสเลือดมีปริมาณเหล็กต่ำจะส่งผลให้เกิดโรคโลหิตจางได้ นอกจากนั้นยังสามารถพบ

เหล็กอยู่ในตับ ม้าม และไขกระดูก ร้อยละ 15 พบที่เอนไซม์หลายชนิดในเซลล์ ร้อยละ 5 และพบอยู่ในไมโอโกลบิน (Myoglobin) ซึ่งสารที่ทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนภายในเซลล์ ร้อยละ 5 (อัจฉรา ดลวิทยาคุณ, 2556)

1. หน้าที่ของธาตุเหล็กต่อร่างกาย

โดยส่วนใหญ่เหล็กจะอยู่ร่วมกับโปรตีน โดยอยู่ในส่วนของฮีม (heme) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีแดง รวมเรียกว่า ฮีโมโกลบิน ซึ่งฮีมจะทำหน้าที่ในการจับกับออกซิเจนและอยู่ในเม็ดเลือดแดง เพื่อพาออกซิเจนไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย นอกจากนั้นยังพบเหล็กได้ในไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อ โดยไมโอโกลบินก็ประกอบไปด้วยฮีมทำหน้าที่ในการจับออกซิเจนเช่นเดียวกัน แต่เป็นการรับออกซิเจนจากฮีโมโกลบินมาเก็บในกล้ามเนื้อ เพื่อใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ในเอนไซม์หลายชนิดที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกาย ที่ช่วยในการสร้างพลังงานก็ยังมีเหล็กเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นเหล็กจึงเป็นธาตุที่มีความสำคัญต่อการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายเป็นอย่างมาก (อัจฉรา ดลวิทยาคุณ, 2556)

2. ปริมาณความต้องการเหล็กของร่างกาย

เนื่องด้วยหน้าที่ของเหล็กที่มีต่อการทำงานของร่างกาย จึงส่งผลให้เหล็กมีความจำเป็นสำหรับทุกคน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในคนที่มีการเจริญเติบโตสูง เช่น ทารก เด็ก วัยรุ่น หญิงตั้งครรภ์ เป็นต้น คนในแต่ละเพศและวัยจะมีความต้องการเหล็กที่แตกต่างกัน รวมทั้งหากมีการเสียเลือดออกจากร่างกาย จะส่งผลให้มีความต้องการเหล็กเพิ่มมากขึ้น สำหรับปริมาณเหล็กที่ร่างกายควรได้รับตามคำแนะนำของกองโภชนาการ กรมอนามัย ได้แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณความต้องการเหล็กที่ร่างกายควรได้รับในแต่ละวัน

บุคคลแต่ละวัย	ช่วงอายุ	ปริมาณเหล็กที่ควรได้รับ (มิลลิกรัม/วัน)
วัยเด็กทารก	0-5 เดือน	น้ำนมแม่
	6-11 เดือน	9.3
วัยเด็ก	1-3 ปี	5.8
	4-5 ปี	6.3
	6-8 ปี	8.1
วัยรุ่นชาย	9-12 ปี	11.8
	13-15 ปี	14.0
	16-18 ปี	16.6
วัยรุ่นหญิง	9-12 ปี	11.8
	(หญิงมีประจำเดือน)	19.1
	13-15 ปี	28.2
	16-18 ปี	26.4
วัยผู้ใหญ่ชาย	19-59 ปี	10.4

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

บุคคลแต่ละวัย	ช่วงอายุ	ปริมาณเหล็กที่ควรได้รับ (มิลลิกรัม/วัน)
วัยผู้ใหญ่หญิง	19-50 ปี	24.7
	51-59 ปี	9.4
วัยสูงอายุชาย	60 ปีขึ้นไป	10.4
วัยสูงอายุหญิง	60 ปีขึ้นไป	9.4
หญิงตั้งครรภ์		ควรได้รับปริมาณวันละ 60
หญิงให้นมบุตร		15

ที่มา: อัจฉรา ดลวิทยาคุณ (2556)

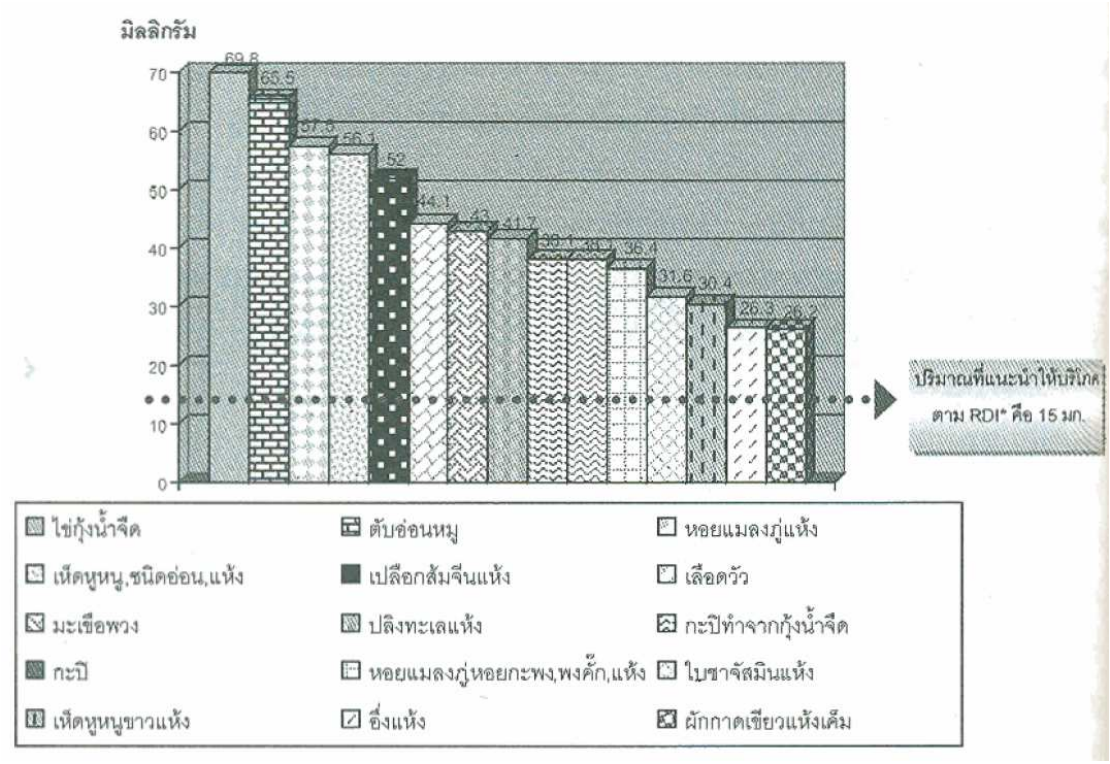
หากร่างกายของคนเราได้รับธาตุเหล็กที่มากเกินไป อาจเนื่องจากการทำลายเม็ดเลือดแดงที่ผิดปกติจะทำให้ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมีเหล็กเกาะอยู่ โดยเฉพาะในตับ และม้าม ส่งผลให้เกิดอาการตับแข็ง และตับอ่อนไม่สามารถสร้างอินซูลินได้ แต่หากร่างกายของคนเราได้รับธาตุเหล็กที่ไม่เพียงพอจะส่งผลให้เกิดโรคโลหิตจางได้ โดยมีผลต่อขนาดของเม็ดเลือดแดงที่เล็กลง และมีสีที่จางลง พร้อมทั้งจะเกิดอาการเหนื่อยง่าย อ่อนเพลีย มึนศีรษะ เบื่ออาหารหรืออยากอาหารเป็นพัก ๆ จุกเสียด ใจสั่น หายใจอึดอัด เล็บซีด บวมตามข้อ และประสิทธิภาพการทำงานลดลง ถ้าขาดเหล็กมาก ๆ มีผลทำให้หัวใจวายได้ (อัจฉรา ดลวิทยาคุณ, 2556) เพื่อป้องกันการขาดธาตุเหล็กของร่างกาย โดยทั่วไปสามารถทำได้โดยการทานอาหารเสริมที่มีธาตุเหล็กในรูปของยาเม็ด การเติมธาตุเหล็กในอาหารที่รับประทานอยู่เป็นประจำ เช่น การปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีธาตุเหล็กสูง และการป้องกันการขัดขวางการดูดซึมธาตุเหล็กของร่างกาย เช่น ลดปริมาณกรดไฟติกที่พบในธัญพืชต่าง ๆ ลง ซึ่งกรดไฟติกเป็นสารที่สามารถจับกับเหล็กและโปรตีนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำ ส่งผลให้เหล็กไม่สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ (สัญชัย ยอดมณี, 2552)

3. ชนิดของอาหารที่ให้เหล็ก

ธาตุเหล็กสามารถพบได้ในอาหารที่เป็นพืชและสัตว์ โดยธาตุเหล็กจะอยู่ในอาหารด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ 1) สารประกอบฮีม (Heme iron) โดยอยู่ในฮีโมโกลบิน ส่วนใหญ่พบมากในเลือด ตับ และเนื้อสัตว์ต่าง ๆ เช่น วัว หมู ปลา ไก่ ธาตุเหล็กในรูปแบบนี้จะถูกดูดซึมได้โดยตรงที่เยื่อบุผิวลำไส้เล็ก 2) สารประกอบที่ไม่ใช่ฮีม (Non-heme iron) พบได้ 2 รูปแบบ คือ สารอินทรีย์ ซึ่งมักพบอยู่ในอาหาร เช่น ธัญพืช แป้ง ไข่ ผัก ผลไม้ และสารอนินทรีย์ ซึ่งมักพบอยู่ในยา (สัญชัย ยอดมณี, 2552) ปริมาณเหล็กที่พบในอาหารประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.4 เหล็กที่พบในอาหารที่มาจากสัตว์จะมีการดูดซึมสู่ร่างกายได้ดีกว่าอาหารจากพืช โดยร่างกายดูดซึมจากเนื้อสัตว์ได้ 23-35% ส่วนในพืชดูดซึมได้ประมาณ 5% (อัจฉรา ดลวิทยาคุณ, 2556)

ภายใน 4 ชั่วโมงหลังจากบริโภคอาหารที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบเข้าไป ร่างกายจะมีการดูดซึมธาตุเหล็กที่บริเวณลำไส้เล็กส่วนต้น โดยเหล็กประมาณร้อยละ 6-10 ของปริมาณเหล็กในอาหารจะสามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ โดยปริมาณเหล็กที่ถูกดูดซึมเข้าไปจะขึ้นอยู่กับปริมาณเหล็กที่อยู่ใน

ร่างกาย โดยส่วนใหญ่ผู้ชายจะมีเหล็กสะสมอยู่ในร่างกายมาก ส่งผลให้มีการดูดซึมเหล็กน้อย ส่วนผู้หญิงจะมีการดูดซึมเหล็กได้มากกว่าเนื่องจากมีเหล็กสะสมในร่างกายน้อย อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการดูดซึมธาตุเหล็กในร่างกาย ได้แก่ 1) สภาพของร่างกายที่มีความต้องการเหล็ก เช่น ทารก เด็กก่อนวัยเรียน หญิงตั้งครรภ์ หญิงให้นมบุตร และผู้ที่เสียเลือดเป็นจำนวนมากในระหว่างมีประจำเดือนหรือเกิดอุบัติเหตุ เป็นต้น 2) สภาพความเป็นกรดในกระเพาะอาหาร โดยกรดเกลือที่อยู่ในกระเพาะจะเปลี่ยนเหล็กในรูปของเฟอร์ริกให้เป็นเฟอร์รัส ซึ่งมีผลทำให้มีการดูดซึมได้ง่ายขึ้น 3) ธาตุเหล็กในอาหารที่อยู่ในรูปของสารประกอบฮีมที่พบในเนื้อสัตว์จะดูดซึมได้ดีกว่าเหล็กที่อยู่ในรูปของสารประกอบที่ไม่ใช่ฮีมที่พบในพืช และ 4) สารอาหารที่อยู่ในอาหารที่ทานพร้อมเหล็ก เช่น น้ำตาลฟรุกโตสในน้ำผลไม้ วิตามินซี ช่วยให้ร่างกายดูดซึมเหล็กได้ดีขึ้น แต่ก็ยังมีสารอาหารบางชนิดที่เป็นตัวขัดขวางการดูดซึมเหล็กของร่างกาย เช่น เส้นใยจากพืช แคลเซียม ถั่วที่มีกรดไฟติก แทนนิน และธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสี เป็นต้น (อัจฉรา ดลวิทยาคุณ, 2556)



หมายเหตุ: * สารอาหารที่แนะนำให้บริโภคประจำวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป

ภาพที่ 2.4 แผนภูมิแท่งปริมาณเหล็กที่มีในอาหารชนิดต่าง ๆ
ที่มา: อัจฉรา ดลวิทยาคุณ (2556)

4. ปริมาณธาตุเหล็กในข้าว

ข้าวโดยทั่วไปมีปริมาณธาตุเหล็กที่สะสมอยู่ในเมล็ดน้อยกว่าธัญพืชชนิดอื่น เนื่องมาจากข้อจำกัดในการลำเลียงธาตุเหล็กจากลำต้นมาสู่เมล็ดข้าว (สัญชัย ยอดมณี, 2552) รวมถึงสายพันธุ์ของข้าวซึ่งเป็นผลมาจากกลไกทางพันธุกรรมทำให้การสะสมเหล็กในเมล็ดข้าวของแต่ละสายพันธุ์

แตกต่างกัน และสภาพแวดล้อมในการเพาะปลูก เช่น ปริมาณน้ำที่ท่วมขัง ความเป็นกรด-ด่างของดิน และการใช้ปุ๋ยที่มีธาตุไนโตรเจน เป็นต้น อย่างไรก็ตามหากเทียบระหว่างอิทธิพลของพันธุกรรมและสิ่งแวดล้อม จะพบว่าพันธุกรรมมีผลต่อปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวมากกว่าสิ่งแวดล้อมอย่างเห็นได้ชัด ในข้าวทุกพันธุ์ธาตุเหล็กส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในต้นข้าวซึ่งเป็นส่วนที่บริโภคไม่ได้ และจะเคลื่อนสู่เมล็ดข้าวเพียง 1-3% เท่านั้น (ชนากานต์ พรมอุทัย และคณะ, 2547) ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยในการสำรวจหาพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณธาตุเหล็กสูง เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์ และเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค จากการสำรวจพันธุ์ข้าวประมาณ 939 พันธุ์ ที่ศูนย์วิจัยข้าวนานาชาติ (IRRI) ประเทศฟิลิปปินส์ พบว่าปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดข้าวอยู่ระหว่าง 7.5-24.4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยข้าวพันธุ์ Jalmagna Zuchem และ Xua Bue Nuo เป็นพันธุ์พื้นเมืองของจีนและอินเดียที่มีปริมาณธาตุเหล็กสูง นอกจากนี้ยังได้มีการสำรวจพันธุ์ข้าวไทยจำนวน 38 พันธุ์ พบว่ามีปริมาณธาตุเหล็กอยู่ระหว่าง 7-22 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (สัญชัย ยอดมณี, 2552; Prom-u-thai and Rerkasem, 2001) โดยข้าวพันธุ์ที่นิยมบริโภคกันมาก เช่น ข้าวดอกมะลิ หอมสุพรรณบุรี ชัยนาท 1 และกข6 พบว่ามีธาตุเหล็กที่ค่อนข้างต่ำอยู่ที่ประมาณ 8-11 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในข้าวกล้อง และ 5-8 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในข้าวขัดขาว แต่ข้าวพันธุ์พื้นเมืองของไทยบางพันธุ์ เช่น พันธุ์จะแนะแนะ ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวที่อยู่บนพื้นที่สูงของประเทศไทย มีธาตุเหล็กสูงเทียบเท่ากับข้าวพันธุ์ปรับปรุงของศูนย์วิจัยข้าวนานาชาติ (IR68144) (ชนากานต์ พรมอุทัย และคณะ, 2547; ทรายคำ ปินตาเสน และคณะ, 2549) ปริมาณธาตุเหล็กในพันธุ์ข้าวไทยดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณธาตุเหล็กในข้าวกล้อง

สายพันธุ์	ปริมาณเหล็ก (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)	
	ข้าวกล้อง	ข้าวขัดขาว
IR68144	16.2 ± 0.3	9.0 ± 1.0
กข29	15.7 ± 0.8	6.7 ± 1.0
ข้าวดอกมะลิ 105	9.2 ± 0.4	5.0 ± 1.0
พิษณุโลก 2	12.1 ± 0.5	5.9 ± 0.4
ชัยนาท 1	11.7 ± 0.3	4.8 ± 0.9
ปทุมธานี 1	9.7 ± 0.3	6.3 ± 0.3
เจ้าหอมพิษณุโลก	12.7 ± 0.2	5.7 ± 0.7
จะแนะแนะ	17.14 ± 0.1	5.16 ± 0.1
เหนียวอุบล 2	9.91 ± 0.1	8.35 ± 0.1

ที่มา: สุรเดช ปาละวิสุทธิ์ และคณะ (2551); สัญชัย ยอดมณี (2552)

แป้งข้าว

แป้งข้าวเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าว โดยยังไม่สามารถนำมาบริโภคได้โดยตรงจะต้องนำแป้งข้าวไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป วัตถุดิบที่นิยมใช้ในการผลิตแป้งข้าว คือ ข้าวหักหรือ

ปลายข้าว โดยนำข้าวทั้ง 2 ชนิดนี้มาบดให้เป็นแป้ง และจะได้แป้งข้าวซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว

1. กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าว

กรรมวิธีการผลิตแป้งข้าว มีด้วยกัน 3 วิธี (ภาพที่ 2.5) ได้แก่ วิธีการโม่แห้ง วิธีการโม่น้ำ และวิธีผสม สำหรับแป้งที่ได้จากการโม่แห้งจะทำโดยนำข้าวหักเข้าสู่เครื่องโม่หรือบดแห้งให้เป็นผง และผ่านการร่อนให้มีขนาดประมาณ 180 ไมโครเมตร แป้งที่ได้จากการโม่แห้งจะมีคุณภาพต่ำ เพราะเม็ดแป้งค่อนข้างหยาบ และมีสิ่งเจือปนสูงกว่า อายุการเก็บรักษาสั้น เนื่องจากเกิดกลิ่นหืนได้ง่าย ส่วนแป้งที่ได้จากการโม่น้ำ ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่นิยมผลิตแป้งข้าวในระดับอุตสาหกรรม โดยนำข้าวมาแช่น้ำจนนิ่ม จากนั้นนำไปโม่พร้อมกับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม จะได้แป้งที่มีความละเอียดสม่ำเสมอ ต่อจากนั้นจะแยกน้ำออก ตีแป้งและนำไปอบต่อไป แป้งที่ได้จะมีคุณภาพดี มีความละเอียดและสิ่งเจือปนน้อย แป้งชนิดนี้จะผ่านขั้นตอนการล้างน้ำ ซึ่งจะทำให้ได้สัดส่วนของสตาร์ชในปริมาณสูง และกระบวนการล้างจะช่วยแยกไขมัน และสิ่งเจือปนอื่น ๆ ออกไป ทำให้เนื้อแป้งขาวและเก็บรักษาได้นานโดยไม่เหม็นหืนและเกิดมอด สำหรับการผลิตแป้งข้าวโดยวิธีผสมเป็นการโม่แป้งจากข้าวที่แช่น้ำเหมือนกับวิธีโม่น้ำ หลังจากนั้นนำข้าวไปอบแห้งด้วยความร้อนและโม่แบบแห้งจนได้แป้ง และนำไปร่อนให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ แป้งในเมล็ดข้าวจะถูกทำให้สุกก่อนการโม่ แป้งชนิดนี้จะมีคุณภาพสูงและนำไปใช้ทำขนมเฉพาะอย่าง เช่น ขนมโก๋จากแป้งข้าวเหนียว เป็นต้น (รสิตา โอสถานนท์, 2555; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556)

ภาพที่ 2.5 ขั้นตอนการผลิตแป้งข้าว
ที่มา: รสิตา โอสถานนท์ (2555)

2. คุณสมบัติของแป้ง

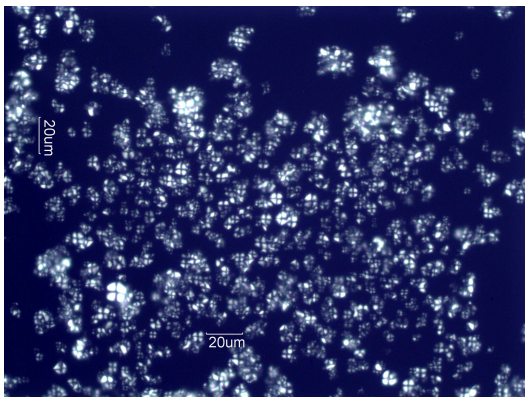
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีสูตรทางเคมี คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ จากสูตรพบว่าแป้งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน หน่วยย่อยของแป้งคือน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) แป้งจะประกอบไปด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ อะไมโลส และอะไมโลเพกทิน โดยแป้งที่ได้มาจากวัตถุดิบต่างชนิดกันจะมีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อคุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) แป้งข้าวซึ่งทำมาจากข้าวหักหรือปลายข้าว ก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างจากแป้งที่ทำจากวัตถุดิบอื่น การตรวจสอบคุณสมบัติของแป้งข้าวจะคล้ายกับการตรวจสอบคุณภาพข้าวที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการโม่แป้ง คุณสมบัติของแป้งข้าวที่ต้องมีการตรวจสอบ ได้แก่

2.1 คุณสมบัติทางเคมีที่ควรมีการตรวจสอบมีด้วยกันหลายชนิด ได้แก่

2.1.1 โปรตีน ในข้าวจะมีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยโปรตีนจะพบมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด และเนื้อเมล็ดด้านนอก ข้าวจะมีโปรตีนกลูเทลิน (Glutelin) ซึ่งเป็นโปรตีนสะสมในปริมาณมากที่สุด โดยเป็นโปรตีนชนิดที่สามารถละลายในกรดหรือด่างเจือจางได้ และมีโปรตีนโพรลามิน (Prolamin) น้อยที่สุด ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดที่ละลายในแอลกอฮอล์ ดังนั้นแป้งข้าวจึงเป็นแป้งที่ไม่มีกลูเทน (Gluten) เนื่องจากกลูเทนจะเกิดจากการโปรตีน 2 ชนิด คือกลูเทลินและโพรลามิน ซึ่งพบได้ในแป้งสาลี ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้งข้าวจะไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้กลูเทนในผู้บริโภค จึงเป็นวัตถุดิบที่เหมาะในการนำมาประกอบเป็นอาหารเพื่อสุขภาพได้ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556)

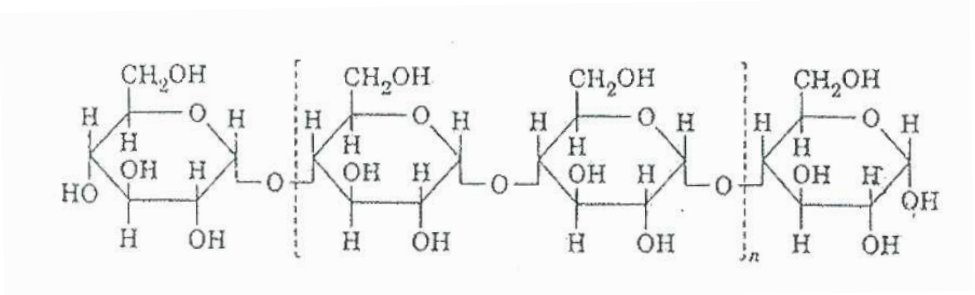
2.1.2 ไขมัน ในเมล็ดข้าวจะมีปริมาณไขมันอยู่ในส่วนด้านนอกของเมล็ดมากกว่าเนื้อในเมล็ด โดยมีปริมาณไขมันอยู่ประมาณ 3% ไขมันในเมล็ดข้าวสามารถลดลงเหลือ 0.3-0.5% ได้เมื่อมีการขัดสีข้าวให้ขาว โดยไขมันที่เหลืออยู่เป็นไขมันที่เกาะเกี่ยว (Bound lipids) กับสารอื่น ในเม็ดสตาร์ชจะมีไขมันอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ คือ 1) ไขมันอยู่กับโปรตีนที่ผิวของเม็ดสตาร์ชภายนอก หรืออาจอยู่กับอะไมโลเพกตินที่อยู่ด้านนอก 2) ไขมันเกาะเกี่ยวกับสตาร์ชอยู่ภายในเม็ดสตาร์ช และ 3) ไขมันไม่เกาะเกี่ยวกับสตาร์ชแต่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ช ชนิดของไขมันที่พบในข้าวโดยส่วนใหญ่ คือ ไตรกลีเซอไรด์ รองลงมา คือ ฟอสฟอลิพิด ไกลโคลิพิด และเทอร์พีนอยด์ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556)

2.1.3 สตาร์ช ในเมล็ดข้าวจะประกอบด้วยสตาร์ช 60-75% โดยน้ำหนัก สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ โดยประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ของกลูโคส พบมากในเนื้อเมล็ด (Endosperm) ของข้าว ซึ่งมีอยู่ประมาณ 90% คุณสมบัติเฉพาะตัวของเม็ดสตาร์ช คือ มอลทีสครอส (Maltese Cross) หรือเรียกอีกชื่อว่า ไบรีฟริงเจนซ์ (Birefringence) ซึ่งเป็นการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ ทำให้เกิดลักษณะคล้ายกากบาท (ภาพที่ 2.6) ซึ่งต้องใช้กล้องที่ใช้แสงโพลาไรซ์ในการส่องดู ลักษณะของไบรีฟริงเจนซ์เกิดจากการจัดเรียงโครงสร้างภายในโมเลกุลของเม็ดสตาร์ชอย่างเป็นระเบียบ องค์ประกอบภายในของเม็ดสตาร์ชจะประกอบไปด้วยอะไมโลสและอะไมโลเพกติน (รสิตา โอสถานนท์, 2555; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556)



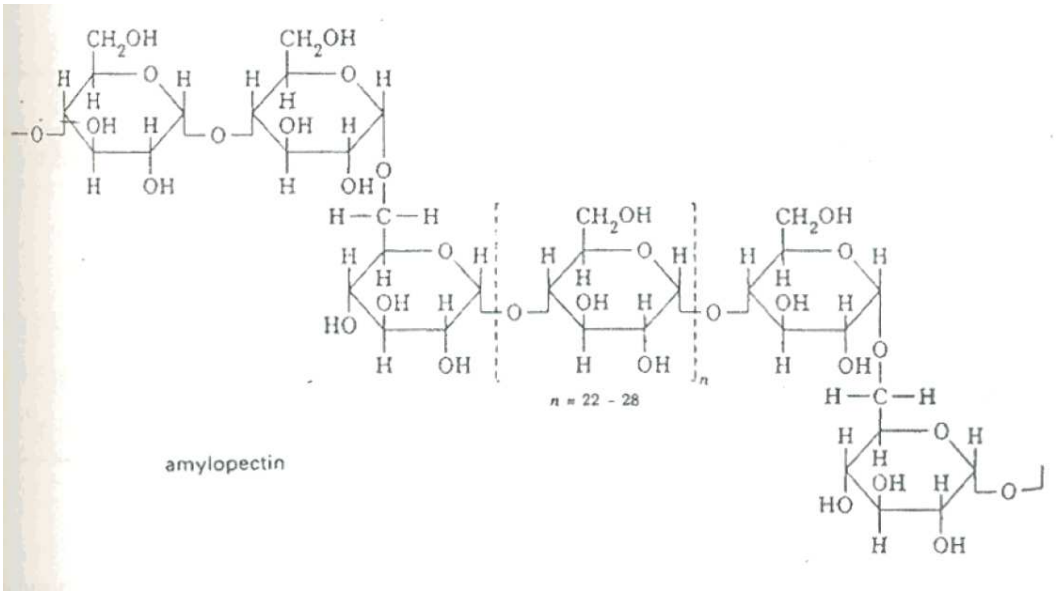
ภาพที่ 2.6 ลักษณะไบรีฟริงเจนซ์ของเม็ดแป้งข้าว
ที่มา: http://www.microlabgallery.com/gallery/images/Rice%20Starch%20Std%20XPol.JPG

2.1.4 อัตราส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินในเม็ดสตาร์ชของแป้งแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ซึ่งอะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น (Linear chains) ที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา-1, 4 (**α**-1,4) ซึ่งอาจมีโซ่กิ่งอยู่บ้างแต่ไม่มาก ประมาณ 3-4 กิ่ง ดังภาพที่ 2.7 แป้งที่มีอะไมโลสสูง (ประมาณ 28%) ได้แก่ แป้งข้าวโพด แป้งสาลี และแป้งข้าวฟ่าง ส่วนแป้งที่มีอะไมโลสต่ำ (น้อยกว่า 20%) ได้แก่ แป้งจากรากและหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งสาคู ส่วนแป้งที่ได้มากจากกลุ่มของข้าวเหนียว (Waxy starch) จะไม่มีอะไมโลสเลย เนื่องด้วยแป้งแต่ละชนิดจะมีค่า Degree of polymerization (DP) ของอะไมโลสที่แตกต่างกัน ส่งผลให้น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสในแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสจะอยู่ในช่วง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน ในแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เนื่องจากมีโมเลกุลของอะไมโลส (DP) อยู่ในช่วง 1,000-6,000 ส่วนแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เนื่องจากมีโมเลกุลของอะไมโลส (DP) อยู่ในช่วง 200-1,200 เม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวจะมีอะไมโลสต่ำ ประมาณ 17% และมีขนาดโมเลกุลของอะไมโลส (DP) เฉลี่ย 1,000-1,100 (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556; กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลส
ที่มา: รสิตา โอสถานนท์ (2555)

อะไมโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (Branched chain) ของกลูโคส โดยส่วนที่เป็นเส้นตรงจะมีการเชื่อมต่อของกลูโคสด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด **α**-1,4 และส่วนที่เป็นโซ่กิ่งจะมีการเชื่อมต่อของกลูโคสด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด **α**-1,6 ดังภาพที่ 2.8 ในเม็ดสตาร์ชของแป้งข้าวจะพบว่ามีขนาดของโมเลกุลของอะไมโลเพกติน (DP) เฉลี่ยประมาณ 4,700-18,500 โดยอะไมโลเพกตินจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่มากกว่าอะไมโลสถึง 1,000 เท่า คือประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556; กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างโมเลกุลของอะไมโลเพกทิน
ที่มา: รสิตา โอสถานนท์ (2555)

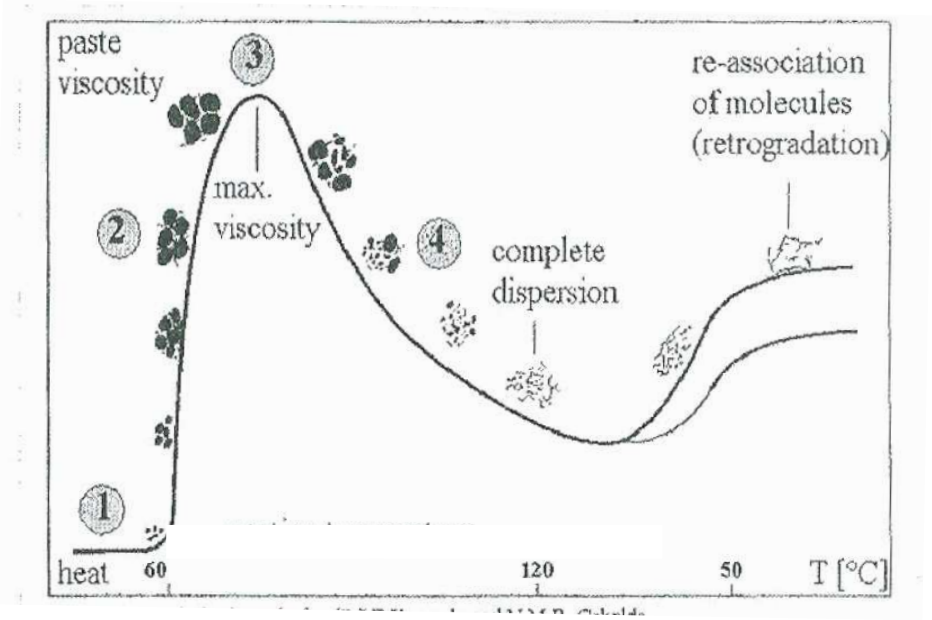
องค์ประกอบส่วนใหญ่ภายในเม็ดสตาร์ช คือ อะไมโลเพกติน และองค์ประกอบรอง คือ อะไมโลส ซึ่งหากทำการแบ่งประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลสสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.4 อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินส่งผลต่อคุณลักษณะของข้าวที่แตกต่างกัน โดยข้าวที่มีอะไมโลสสูงจะสามารถดูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ ทำให้ข้าวสุกที่ได้มีลักษณะทึบแสง ไม่ร่วน และขยายตัวได้มาก (งามชื่น คงเสรี, 2541)

ตารางที่ 2.4 ประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ประเภทของข้าว	ปริมาณอะไมโลส (%)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	1-2	เหนียวมาก
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำมาก	2-9	เหนียว นุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ	9-20	เหนียว นุ่ม
ข้าวเจ้าอะไมโลสปานกลาง	20-25	นุ่ม ค่อนข้างเหนียว
ข้าวเจ้าอะไมโลสสูง	25-33	ร่วนแข็ง

ที่มา: งามชื่น คงเสรี (2541)

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของแป้ง คือ ความหนืด (Viscosity) โดยแป้งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติในด้านความหนืดที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ได้ลักษณะ (Profile) ของความหนืดที่แตกต่างกัน ดังภาพที่ 2.9 แป้งจะเกิดความหนืดขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิร่วมกับการกวนหรือคนอย่างสม่ำเสมอ โดยจะมีการเพิ่มอุณหภูมิจาก 50°C ไปจนถึง 95°C และคงที่ที่ 95°C เป็นเวลา 2.5 นาที หลังจากนั้นจะทำการลดอุณหภูมิลงเหลือ 50°C เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความหนืด ได้แก่ เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) และเครื่อง Brabender amylograph เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งชนิดต่าง ๆ
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

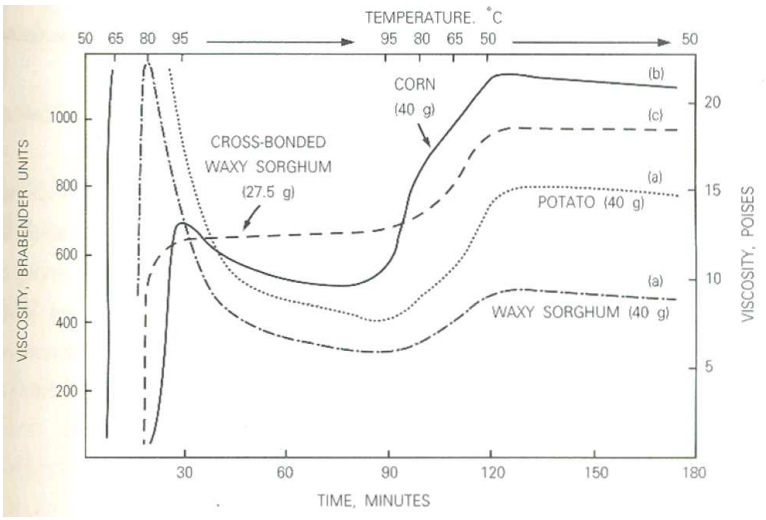
2.2.1 การแบ่งประเภทของแป้งตามกราฟแสดงความหนืด โดยพิจารณาจากกำลังการพองตัวของแป้ง โดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของแป้งได้ 4 แบบ (ภาพที่ 2.10) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ดังนี้

แบบ a: กราฟจากเม็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูง (High-swelling starches) ซึ่งลักษณะของกราฟความหนืดที่ได้จะมีความสูงชัน และลดลงได้อย่างรวดเร็วในระหว่างการต้มสุก เม็ดแป้งมีกำลังการพองตัวสูง เมื่อมีการให้ความร้อน ส่งผลให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนลง และเมื่อได้รับแรงเฉือนเม็ดแป้งจะมีการกระจายตัวออกจากกัน ตัวอย่างของแป้งในกลุ่มที่มีกำลังการพองตัวสูง ได้แก่ แป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวฟ่าง และแป้งจากธัญพืช

แบบ b: กราฟจากเม็ดแป้งที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง (Moderate-swelling starches) ซึ่งลักษณะของกราฟความหนืดที่ได้จะมีความชันและเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกที่น้อยกว่าแบบ a เม็ดแป้งไม่มีการกระจายตัวออกจากกัน เนื่องจากมีการพองตัวไม่มาก ตัวอย่างของแป้งในกลุ่มที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง ได้แก่ แป้งจากธัญพืชต่าง ๆ

แบบ c: กราฟจากเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อย (Restricted-swelling starches) ซึ่งลักษณะของกราฟความหนืดที่ได้จะไม่เป็นยอดสูงสุด ค่าความหนืดอาจจะมีค่าที่คงที่หรือเพิ่มขึ้นในระหว่างการต้มสุก ตัวอย่างของแป้งในกลุ่มที่มีกำลังการพองตัวน้อย ได้แก่ แป้งจากถั่ว และแป้งครอส-ลิง (Cross-linked) ซึ่งวิธีครอสลิงจะส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและการละลายที่ลดลง และเม็ดแป้งที่พองตัวจะมีความเสถียรภาพมากขึ้น

แบบ d: กราฟจากเม็ดแป้งที่มีการพองตัวน้อยมาก (Highly-restricted swelling starches) ได้แก่ แป้งข้าวโพดซึ่งเป็นแป้งที่มีอะไมโลสสูงประมาณ 50-80% (ไม่มีแสดงในภาพ)



ภาพที่ 2.10 รูปแบบความหนืดของแป้งสุกชนิดต่าง ๆ เมื่อแบ่งตามกำลังการพองตัว
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

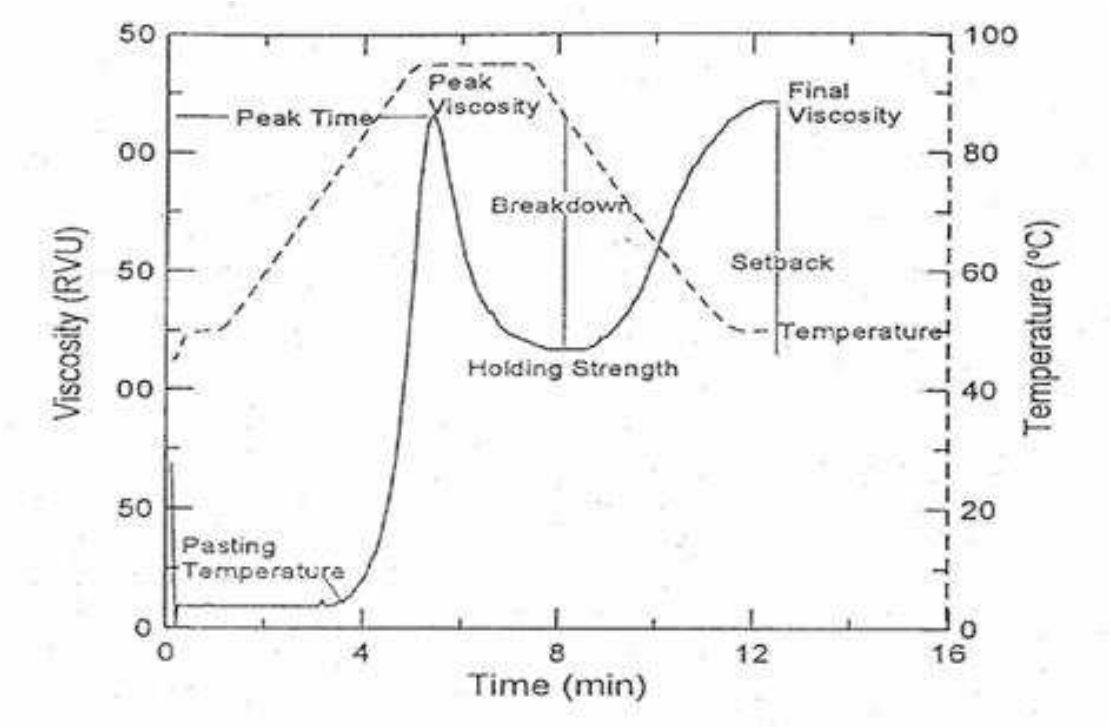
2.2.2 วิธีการวัดความหนืด เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความหนืดมีด้วยกันหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีขั้นตอนในการทำงานและการอ่านค่าความหนืดทีแตกต่างกัน ตัวอย่างของเครื่องมือที่ใช้วัดความหนืด ได้แก่

1) เครื่องวัดความหนืดแบบบรูคฟิล์ด (Brookfield viscometer) เป็นเครื่องวัดความหนืดที่อุณหภูมิหนึ่ง โดยมีใบพัดเพื่อใช้ในการหมุนของเหลวด้วยอัตราเร็วที่คงที่ มีหน่วยเป็นเซนติพอยส์ (Centipoise)

2) เครื่องบราเบนเดอร์ อะมิโลกราฟ (Brabender amylograph) เป็นเครื่องที่ใช้ในการวัดความหนืดกันอย่างกว้างขวาง โดยมีการแสดงผลในรูปของกราฟระหว่างการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้ง และอุณหภูมิที่มีการให้ความร้อนและทำให้เย็น มีหน่วยเป็น Brabender Unit (BU)

3) เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นเครื่องที่ใช้วัดความหนืดเพื่อประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยมีการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ เครื่อง RVA สามารถเปลี่ยนแปลงระดับของอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว และสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ ทำให้ได้ผลของกราฟความหนืดที่

รวดเร็ว โดยใช้เวลาสั้นประมาณ 13 นาที และมีการใช้ปริมาณตัวอย่างที่น้อย คุณสมบัติความหนืดของแป้งแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน ดังภาพที่ 2.11 และตารางที่ 2.5



ภาพที่ 2.11 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

ค่าที่เครื่องแสดงผลอ่านได้จะมีหน่วยเป็น % หรือ RVU ดังนี้

(1) Peak time คือ เวลาที่เกิดจุดสูงสุด (peak) ของความหนืด มีหน่วยเป็นนาที

(2) Pasting temperature คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 นาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

(3) Peak temperature คือ อุณหภูมิที่เกิดจุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

(4) Peak viscosity คือ ความหนืดที่ความหนืดที่จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU

(5) Holding strength คือ ความหนืดที่ต่ำที่สุดระหว่างการทำเย็น มีหน่วยเป็น RVU

(6) Breakdown คือ ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

(7) Final viscosity คือ ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU

(8) Setback from peak คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็น RVU

(9) Setback from trough คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติความหนืดของแป้งแต่ละชนิดเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

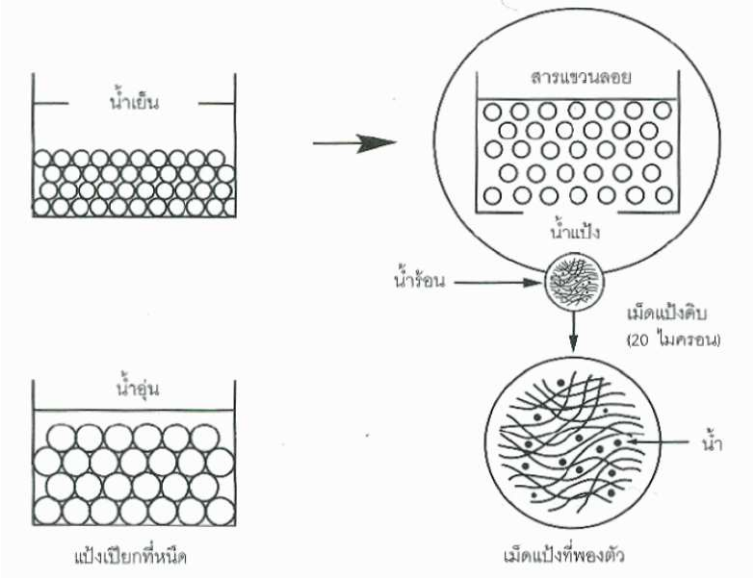
แป้ง	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity	Breakdown	Setback	Paste type	Paste clarity
ข้าวสาลี	52-65	ต่ำ	ต่ำ/ปานกลาง	ปานกลาง	สั้น	ทึบแสง
ข้าวโพด	62-72	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สั้น	ทึบแสง
ข้าวโพดข้าวเหนียว	63-72	สูง	สูง	ต่ำ	ยาว	โปร่งแสง
ข้าวฟ่าง	68-78	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	สั้น	ทึบแสง
ข้าวเจ้า	61-78	ปานกลาง	ต่ำ/สูง	ปานกลาง/สูง	สั้น	ทึบแสง
มันสำปะหลัง	50-68	สูง	สูง	ต่ำ	ยาว	โปร่งแสง
มันฝรั่ง	56-69	สูง	สูง	ปานกลาง	ยาว	โปร่งแสง
สาคู	60-72	สูง	สูง	ต่ำ	ยาว	โปร่งแสง

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

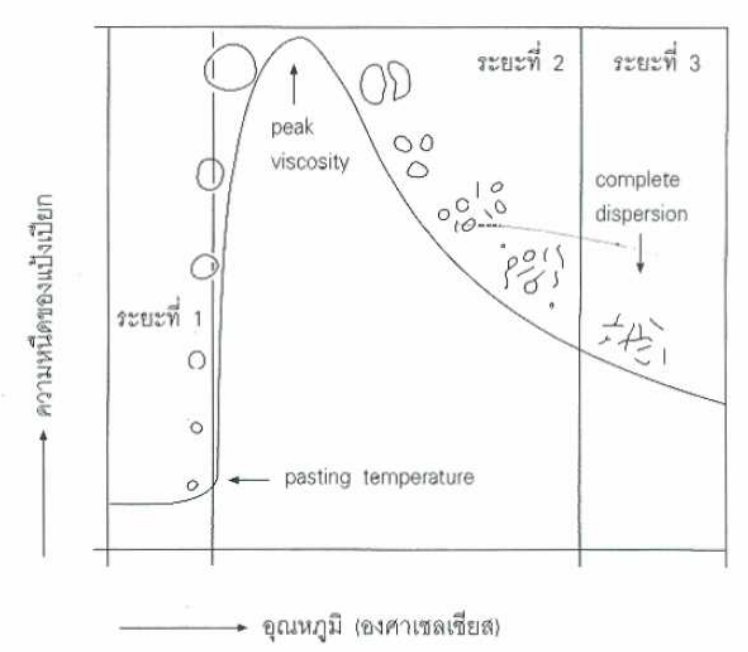
2.2.3 การเกิดเจลาติไนเซชัน (Gelatinization) เป็นการที่แป้งเกิดความหนืดขึ้น ที่อุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งอุณหภูมิที่แป้งเริ่มเกิดความหนืด จะเรียกว่าอุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์หรืออุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (Pasting temperature) และเวลาที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด จะเรียกว่า Pasting time ซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะมีจะเกิดเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยแป้งจากพืชหัวจะมีอุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ที่ต่ำกว่าแป้งจากธัญพืช โดยทั่วไปแป้งจะละลายได้ยากมากในน้ำเย็น ทั้งที่โมเลกุลของแป้งโดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl groups) ที่ยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งหมู่ไฮดรอกซิลมีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้ดี แต่เนื่องด้วยเม็ดแป้งมีการจัดเรียงตัวอยู่ภายในร่างแห (Micelles) จึงทำให้ละลายในน้ำได้น้อย อย่างไรก็ตามเม็ดแป้งจะมีความสามารถดูดซึมน้ำและพองตัวได้บ้างเล็กน้อย แต่เมื่อมีการให้ความร้อนแก่เม็ดแป้ง จะพบว่าเม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวได้มาก ดังแสดงในภาพที่ 2.12 เนื่องด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดการคลายตัวโมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่รอบเม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งจะเคลื่อนไหวได้ยาก ส่งผลให้น้ำแป้งมีความใสและความหนืดมากขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ (ภาพที่ 2.13) คือ ระยะที่ 1 เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวน้อยและสามารถผันกลับได้ รวมทั้งมีการดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัด เนื่องจากความยืดหยุ่นที่น้อยของร่างแหระหว่างไมเซลล์ (Micelles) ความหนืดของสารละลายแป้งจะไม่มีการเพิ่มขึ้นมากนัก รูปร่างและลักษณะการไบรีฟริงเจนซ์ของเม็ดแป้งยังคงเหมือนเดิม เมื่อมีการให้ความร้อนกับสารละลายแป้งจนถึงอุณหภูมิประมาณ 65°C โดยอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง จะทำให้เข้าสู่ระยะที่ 2 โดยเม็ดแป้งจะเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็วและไม่สามารถผันกลับได้ มีการดูดซึมน้ำได้มาก เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนในร่างแหระหว่างไมเซลล์ถูกทำลาย ส่งผลให้ร่างแหอ่อนแอลง ในขั้นนี้จะเรียกได้ว่าเกิดการเจลาติไนเซชัน รูปร่างและลักษณะการไบรีฟริงเจนซ์ของเม็ดแป้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ความหนืดของสารละลายแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่ม

ละลายออกมา และเมื่อทำการเพิ่มอุณหภูมิต่อไป จะเข้าสู่ระยะที่ 3 คือ แป้งจะมีการละลายออกมาเพิ่มมากขึ้น และเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโดยจะมีรูปร่างที่ไม่แน่นอน เมื่อทำการลดอุณหภูมิของสารละลายแป้งลง จะทำให้สารละลายเกิดเป็นเจล (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ภาพที่ 2.12 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งในระหว่างการหุงต้ม
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

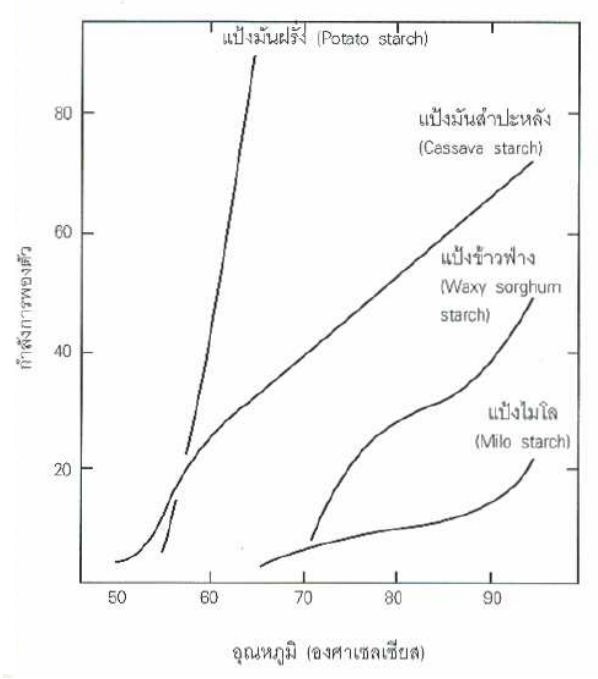


ภาพที่ 2.13 ระยะในการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดแป้ง
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

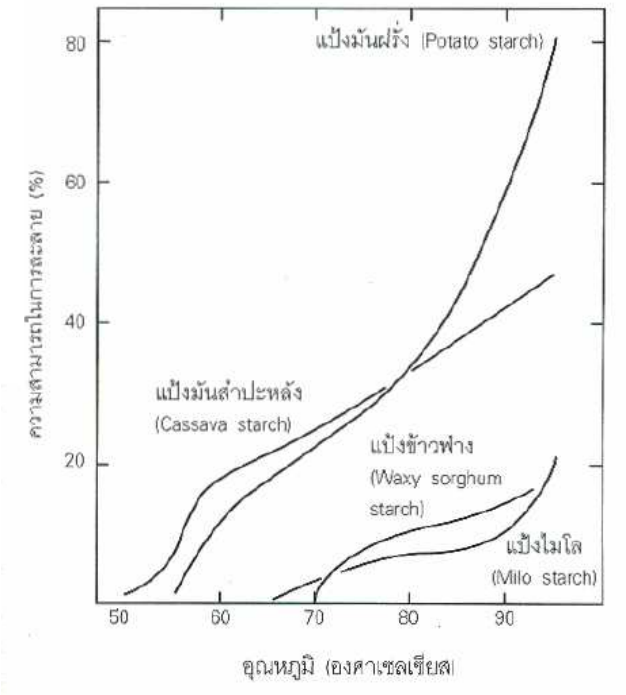
2.2.4 การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช เมื่อมีการให้ความร้อนกับสารละลายแป้งจนเกิดเป็นเจลแล้วยังมีการให้ความร้อนต่อไป จะส่งให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวที่เพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่ ซึ่งสารละลายแป้งจะเกิดความหนืดสูงสุด หลังจากนั้นเม็ดสตาร์ชจะเกิดการแตกออก ทำให้โมเลกุลของอะไมโลสกระจัดกระจายออกมาภายนอก ส่งผลให้ความหนืดลดลง (ภาพที่ 2.9) และเมื่อลดอุณหภูมิของสารละลายแป้งลง จนแป้งเกิดการเย็นตัว โมเลกุลของอะไมโลสจะเข้ามาเรียงตัวและเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุล โมเลกุลของน้ำจะถูกแยกออกมานอกเจล ในช่วงนี้ความหนืดของสารละลายแป้งจะเพิ่มขึ้น เรียกว่า เกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation) ดังนั้นการเกิดรีโทร-เกรเดชันของสตาร์ชจะเกิดได้ 2 ลักษณะ คือ เมื่อมีการให้ความร้อนกับสารละลายแป้งจนเม็ดสตาร์ชแตกตัวออก แล้ววางทิ้งไว้ให้เย็น จะได้เป็นน้ำแป้งเข้มข้นที่แขวนลอยอยู่ แต่เมื่อมีการทำให้เย็นโมเลกุลจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นเจลยืดหยุ่นได้ (รสิตา โอสถานนท์, 2555)

2.3 คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งที่สำคัญ คือ การดูดซับน้ำ การพองตัวและการละลาย โดยการดูดซับน้ำจะตรวจวัดได้จากการนำน้ำเติมลงในแป้งและทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แป้งจะดูดซึมน้ำภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดความสมดุลขึ้นระหว่างความชื้นภายในแป้งและความชื้นในบรรยากาศ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะมีผลต่อปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมในเม็ดแป้ง โดยปกติแป้งส่วนใหญ่จะมีความชื้นประมาณ 10-17% ภายใต้บรรยากาศปกติ ความสามารถในการดูดซึมน้ำของแป้งแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง และแป้งข้าวโพดข้าวเหนียว สามารถดูดซึมน้ำได้ในปริมาณ 39.9, 42.9, 50.9 และ 51.4 กรัมต่อน้ำหนักแป้งแห้ง 100 กรัม ตามลำดับ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

ในด้านคุณสมบัติการพองตัวและการละลาย สำหรับแป้งดิบที่อยู่ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์จะไม่ละลายน้ำ เนื่องจากภายในเม็ดแป้งมีพันธะไฮโดรเจนอยู่ภายใน ซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายแป้งให้สูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนซ์ ส่งผลให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัวและบางส่วนของแป้งเกิดการละลายได้ ส่งผลให้ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติในด้านการพองตัวและการละลายของสารละลายแป้งจะมีความสัมพันธ์กัน รูปแบบการพองตัวของแป้งกับอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 2.14 และรูปแบบการละลายของแป้งกับอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 2.15 (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



ภาพที่ 2.14 รูปแบบการพองตัวของแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวฟ่าง และแป้งไมโล
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

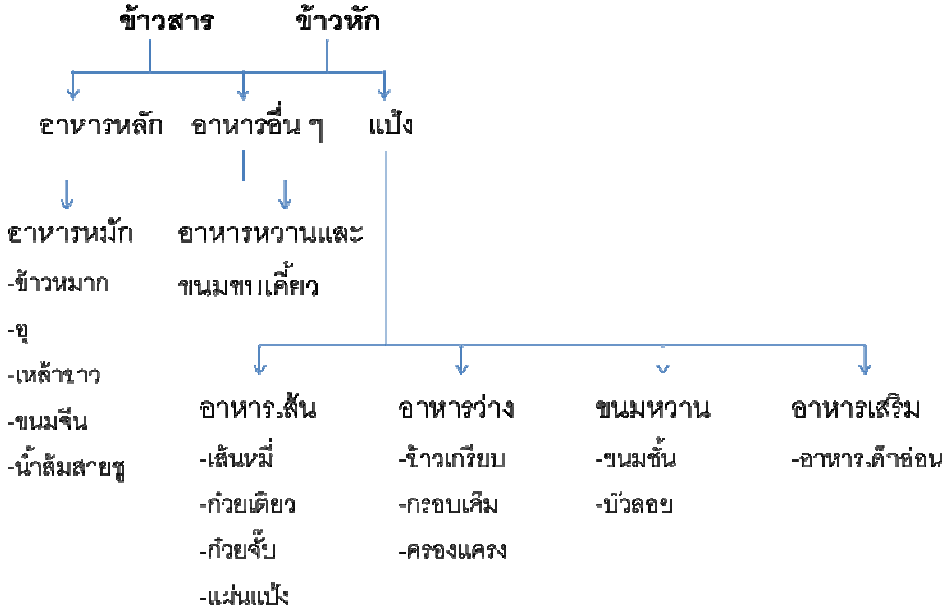


ภาพที่ 2.15 รูปแบบการละลายของแป้งมันฝรั่ง แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวฟ่างและแป้งไมโล
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2546)

ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งมีหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ซึ่งแป้งจากธัญพืชจะมีการพองตัวและการละลายต่ำสุด เนื่องจากมีอะไมโลสสูง ส่งผลให้ร่างแหในโครงสร้างของเม็ดแป้งแข็งแรง ส่วนแป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันฝรั่ง จะมีการพองตัวสูง เนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) สิ่งเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตก็เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น กรดไขมันในธรรมชาติของแป้งข้าวโพดจะยับยั้งการพองตัวของเม็ดแป้งได้ หรือการใส่โพแทสเซียม ปาล์มมิเตท และสเตียเรตจะลดกำลังการพองตัวของแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น รวมทั้งปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัวจะมีผลต่อการพองตัวและการละลาย โดยสารละลายที่มีปริมาณแป้งน้อย (ต่ำกว่า 20%) จะมีค่าการละลายที่สูงกว่าสารละลายที่มีปริมาณแป้งมาก (สูงกว่า 20%) ซึ่งการพองตัวและการละลายจะถูกยับยั้งได้ในสภาวะที่สารละลายมีปริมาณน้ำน้อย

3. การนำแป้งข้าวไปใช้ประโยชน์

โดยส่วนใหญ่แป้งข้าวมักทำมาจากข้าวประเภทอะไมโลสสูง เช่น พันธุ์เหลืองประทิว123 สุพรรณบุรี 1 และสุพรรณบุรี 90 เป็นต้น ส่วนข้าวอะไมโลสต่ำมักไม่นิยมนำมาผลิตแป้ง เพราะทำให้ได้ลักษณะของแป้งที่แฉะไม่เหมาะสำหรับทำผลิตภัณฑ์เส้น และแผ่นต่าง ๆ แป้งสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อีกมากมาย (ภาพที่ 2.16) ตัวอย่างของการนำแป้งข้าวมาใช้ประโยชน์ ได้แก่



ภาพที่ 2.16 การใช้ประโยชน์จากข้าว
ที่มา: รสิตา โอสถานนท์ (2555)

3.1 ผลิตภัณฑ์อาหารเส้นจากข้าว ได้แก่ ก๋วยเตี๋ยวเส้นใหญ่ ก๋วยเตี๋ยวเส้นเล็ก เส้นหมี่ และขนมจีน รวมถึงผลิตภัณฑ์ประเภทแผ่น เช่น ใบเมี่ยงญวน ก๋วยจั๊บ หรือที่ทำเป็นขนมหวาน เช่น

ลอดช่อง เป็นต้น วัตถุดิบที่ใช้มักเป็นข้าวหักที่มีอะมิโลสสูง นำมาโม่แบบเปียก แล้วมีการให้ความร้อนกับก้อนแป้งหรือน้ำแป้งต่อไป ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัส กลิ่นและรสชาติของแต่ละผลิตภัณฑ์จะแตกต่างกันไป ขึ้นกับกรรมวิธีในการผลิต (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556)

3.2 ผลิตภัณฑ์อาหารว่างแบบพองกรอบ หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่าข้าวเกรียบ โดยเป็นอาหารว่างหรืออาหารขบเคี้ยวจากข้าว วัตถุดิบหลักของข้าวเกรียบ คือ แป้งข้าวเจ้า แป้งสาลี หรือแป้งมัน-สำปะหลัง ผสมด้วยเนื้อสัตว์หรือผัก เครื่องปรุงรส นำมาบดผสมให้เข้ากัน ทำให้สุกแล้วขึ้นรูปเป็นรูปร่างต่าง ๆ หลังจากนั้นนำไปทำให้แห้ง และนำไปทอดหรืออบก่อนรับประทาน ผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบที่เป็นที่รู้จักและนิยมรับประทานกัน เช่น ข้าวเกรียบกุ้ง ข้าวเกรียบปลา และข้าวเกรียบฟักทอง เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556)

3.3 ผลิตภัณฑ์แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลี เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของแป้งข้าวและลดการนำเข้าแป้งสาลีจากต่างประเทศ ในปัจจุบันจึงมีการสนับสนุนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการใช้ประโยชน์ของแป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อผู้บริโภคเนื่องจากแป้งข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการสูง เพราะประกอบด้วยโปรตีนที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ (ปราศจากกลูเตน) และย่อยง่าย ส่วนไขมันที่อยู่ในแป้งข้าวเป็นประเภทกรดไขมันไม่อิ่มตัวถึง 70% ซึ่งอุดมไปด้วยสารยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidation) ที่พบในธรรมชาติ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2556) ผลิตภัณฑ์ที่มีการนำแป้งข้าวมาใช้ ได้แก่ (งามชื่น คงเสรี, 2546)

3.3.1 ขนมปัง มีการใช้แป้งข้าวทดแทนแป้งสาลีได้ 10-30% โดยต้องนำแป้งข้าวเจ้าผสมแป้งข้าวเหนียวในอัตราส่วน 1:1 สำหรับในผลิตภัณฑ์ขนมปังแซนด์วิช จะต้องมีการเติมโปรตีนกลูเตน 12%, Distilled monoglyceride (MGL) 0.3%, Diacetyl tartrate ester of monoglyceride (DATEM) 0.3%, Sodium stearyl lactylate (SSL) 0.3% เอนไซม์แอลฟาอะมิเลส (α-amylase) 0.005% เพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของแป้ง หากต้องการผลิตขนมปังที่ทำจากแป้งข้าว 100% ควรใช้แป้งข้าวชนิดอะมิโลสต่ำและโม่แบบแห้ง มีความละเอียด 120-140 เมช และมีการเติม hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC) 2.5-3.0% เพื่อปรับปรุงคุณภาพของแป้งและควรผลิตเฉพาะขนมปังขนาดเล็ก

3.3.2 ผลิตภัณฑ์เส้น ได้แก่ บะหมี่ หมี่สั้ว สามารถใช้แป้งข้าวชนิดอะมิโลสสูงถึงปาน-กลางทดแทนแป้งสาลีได้ 35-40% โดยอาจมีการปรับปรุงคุณภาพของแป้งได้ด้วยการเติมแป้งมันสำปะหลังดัดแปรชนิด High cross linked หรือ Low cross link ที่ 5-10% หรือแป้งพรีเจลาติไนซ์จาก Extrusion ที่ 10%

3.3.3 ผลิตภัณฑ์ปาท่องโก๋ สามารถนำแป้งข้าวมาทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ได้ 40% แต่ระยะเวลาในการหมักให้แป้งขึ้นฟูไม่ควรเกิน 4 ชั่วโมง

3.3.4 ขนมคุกกี้ แป้งข้าวที่มีอะไมโลสปานกลางและสูง ชนิดโม่น้ำ สามารถนำมาผลิตคุกกี้ได้ แต่ควรมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 140 เมช ถ้าแป้งหยาบจะทำให้คุกกี้ที่ได้เปราะและหักง่าย อย่างไรก็ตามเพื่อยืดอายุความกรอบของคุกกี้ ควรเติมแป้งพรีเจลาติไนซ์ชนิดที่โม่จากข้าวสุกอบแห้ง 20%

3.3.5 ขนมเค้ก แป้งข้าวที่มีอะไมโลสต่ำและโม่แบบแห้งเหมาะสำหรับทำเค้ก โดยสามารถทดแทนแป้งสาลีได้ 100% แต่ควรมีการเติม สารเสริม SP เป็น Emulsifier เพื่อช่วยในการ

ขึ้นฟู สำหรับแป้งข้าวชนิดโม่น้ำสามารถทดแทนแป้งสาลีได้ 80% โดยแป้งชนิดโม่น้ำมีผลทำให้ชิ้นเค้กเกิดการยุบตัวได้จึงไม่เหมาะในการนำมาทดแทนทั้งหมด

ผลิตภัณฑ์ขนมอบ

ผลิตภัณฑ์ขนมอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้แป้งสาลีเป็นวัตถุดิบหลัก ผลิตภัณฑ์ขนมอบมีอยู่ด้วยกันหลายประเภท ดังนี้

1. คุกกี้ (Cookies)

คุกกี้เป็นผลิตภัณฑ์เบอเกอรี่ที่มีขนาดเล็ก หรือขนมประเภทบิสกิตที่มีลักษณะแบนและมีรสหวาน มีรูปร่างและกลิ่นรสต่าง ๆ กัน มีความกรอบ หยิบจับสะดวก ความชื้นต่ำ สะดวกต่อการบรรจุ บางชนิดอาจจะตกแต่งด้วยผลไม้ และถั่ว คุกกี้สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ตามวัตถุดิบที่ใช้และแบ่งตามกรรมวิธีการผลิต (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2553) ได้ดังนี้

1.1 แบ่งตามวัตถุดิบที่ใช้ มี 2 ชนิด คือ คุกกี้เนย มีสูตรโครงร่างเหมือนกับเค้กแต่มีของเหลวน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเค้ก และคุกกี้ไข่ ซึ่งมีวิธีการผสมที่แตกต่างและปริมาณไข่ที่มากกว่าคุกกี้เนย เพื่อช่วยให้อากาศและเป็นโครงร่างของคุกกี้

1.2 แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต แบ่งได้ 4 ชนิด คือ คุกกี้หยอด คุกกี้ม้วน คุกกี้กด และคุกกี้แท่ง

2. เค้ก (Cakes)

เค้กเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ขึ้นฟูด้วยสารเคมีและ/หรืออากาศ ส่วนผสมที่ทำให้เกิดโครงสร้างของเค้ก ได้แก่ แป้ง ไข่ น้ำนม ส่วนผสมที่ให้ความนุ่ม ได้แก่ น้ำตาล ไขมัน และผงฟู ส่วนผสมเหล่านี้เมื่อรวมกันจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อละเอียดและเบา เค้กแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ เค้กเนย เป็นเค้กที่มีเปอร์เซ็นต์ของไขมันสูง การขึ้นฟูของเค้กเกิดจากอากาศที่ได้จากการตีเนยโดยเม็ดไขมันจะเก็บอากาศเข้าไว้ ซึ่งจะขยายตัวในระหว่างการอบ เค้กไข่ เป็นเค้กที่ไม่มีไขมันในส่วนผสม เนื้อเค้กและปริมาตรของเค้กขึ้นอยู่กับการขยายตัวของไข่ขาวที่นำมาตีจนเป็นฟอง และชิฟฟอนเค้ก เป็นเค้กที่มีลักษณะรวมของเค้กเนยและเค้กไข่ คือมีโครงสร้างที่ละเอียดของเค้กไข่และมีเนื้อเค้กที่มันเงาของเค้กเนย ต่างจากเค้กเนยตรงที่ชิฟฟอนเค้กใช้น้ำมันพืชผสมแทนเนยหรือมาร์การีนในเค้กเนยและวิธีการผสม (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2553)

3. ขนมปัง (Breads)

ขนมปังเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่ขึ้นฟูด้วยยีสต์ ประกอบด้วยส่วนผสมหลัก 4 อย่าง คือ แป้งสาลี ยีสต์ น้ำ และเกลือ ส่วนผสมอื่น ได้แก่ น้ำตาล น้ำนม ไขมัน ไข่ เป็นต้น ขนมปังแบ่งออกเป็นหลายชนิดตามปริมาณของไขมันในส่วนผสม คือ ขนมปังที่มีปริมาณไขมันต่ำ (0-3%) เป็นขนมปังชนิดแข็ง เช่น ขนมปังฝรั่งเศส ขนมปังเวียนนา และขนมปังขาไก่ เป็นต้น ขนมปังที่มีปริมาณไขมันปานกลาง (3-6%) เป็นขนมปังจืด ได้แก่ ขนมปังแซนวิช ขนมปังหัวกะโหลก และขนมปังรำ ขนมปังที่มีปริมาณไขมันสูง (6-12%) หรือขนมปังหวานที่มีไส้ผลไม้ หรือไส้ชนิดอื่น เช่น ซอฟบันน์ ฮอทดอก แฮมเบอร์เกอร์ ขนมปังไส้ และขนมปังที่มีปริมาณไขมันสูงมาก (12-24%) เป็นขนมปังหวานเช่นกัน แต่มีปริมาณไขมันสูงกว่าขนมปังหวานทั่วไป ได้แก่ ขนมปังมะพร้าว

ซินนามอนโรล นอกจากนี้ยังมีผลิตภัณฑ์อื่น เช่น โดนัทยีสต์ เดนนิสเพสตี้ และโรลต่าง ๆ เป็นต้น (จุฑา พีรพัชระ, 2547)

บราวนี่ (Brownie)

บราวนี่เป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบที่มีลักษณะผสมระหว่างเค้กและคุกกี้ คือมีลักษณะของส่วนผสมแป้งก่อนอบที่เหลวเหมือนเค้ก แต่จะมีลักษณะแข็งเหมือนคุกกี้หลังอบ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณไขมันคือเนยและช็อคโกแล็ตที่มาก กรรมวิธีในการทำสามารถทำได้ 2 วิธี คือ กรรมวิธีแบบ Foaming Method หรือ Sponge Method วิธีการนี้มีลักษณะกรรมวิธีการทำคล้ายเค้ก และกรรมวิธีแบบ Creaming Method ด้านรูปแบบในการเสิร์ฟมี 2 แบบ คือ บราวนี่ส่วนที่มีหน้าหรือด้านบนที่ราดด้วยช็อคโกแล็ตฟัดจ์ไอซิ่งหลังจากการอบสุก และบราวนี่ที่ไม่มีหน้าแต่จะมีรสชาติเข้มข้นกว่าที่มีหน้าขนม ขนาดของการตัดชิ้นเสิร์ฟจะตัดเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีขนาดตั้งแต่ 4½-8 เซนติเมตร และอุณหภูมิในการอบตั้งแต่ 325-360 องศาฟาเรนไฮต์ นอกจากนี้ในเนื้อขนมส่วนใหญ่จะมักนิยมใส่ถั่วต่าง ๆ ลงผสมเพื่อเป็นการเพิ่มรสชาติ วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตบราวนี่จะเหมือนกับเค้กและคุกกี้ ซึ่งจะมีส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดลักษณะทางโครงสร้าง เนื้อสัมผัส และกลิ่นรส คือ แป้งสาลี ไขมัน ไข่ไก่ น้ำตาล นม ผงฟู และช็อคโกแล็ตหรือโกโก้ (สังวาล ธรรมษา, 2555) วัตถุดิบที่ใช้ในการทำบราวนี่จะเหมือนกับเค้กและคุกกี้ ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ จะมีบทบาทและหน้าที่ที่ต่างกัน ดังนี้

1. แป้งสาลี เป็นแป้งหลักที่ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เนื่องจากมีคุณสมบัติเฉพาะที่แป้งชนิดอื่นไม่มี คือ กลูเตน (Gluten) โดยเมื่อนำแป้งผสมกับน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้แป้งมีคุณสมบัติเป็นยาง เหนียว และยืดหยุ่นได้ กลูเตนจะเป็นตัวเก็บก๊าซไว้ทำให้เกิดโครงร่างที่จำเป็นของผลิตภัณฑ์ และจะเป็นโครงร่างแบบฟองน้ำเมื่อได้รับความร้อนจากตู้อบ แป้งสาลีมีด้วยกัน 3 ชนิด คือ 1) แป้งเค้ก มีโปรตีนประมาณ 7-8% 2) แป้งขนมปัง มีโปรตีนประมาณ 13-14% และ 3) แป้งอเนกประสงค์ มีโปรตีนประมาณ 10-11% (ณนนท์ แดงสังวาลย์, 2553) แป้งสาลีที่ใช้ทำบราวนี่ควรมีโปรตีนต่ำหรือปานกลาง (7-11%) ซึ่งจะช่วยให้กลูเตนนุ่ม เมื่อสัมผัสแล้วจะไม่ให้ความเหนียวและแข็งกระด้างแก่เนื้อผลิตภัณฑ์ แต่ก็มีความคงตัวเป็นโครงร่างขึ้นฟู มีรูพรุนและเนื้อที่นุ่ม (สังวาล ธรรมษา, 2555)

2. ไขมัน (shortening) ที่ใช้ในขนมอบมีทั้งไขมันจากพืชและสัตว์ ไขมันที่ได้มาจากสัตว์ได้แก่ เนยสด ได้จากน้ำนมวัว มันหมู ส่วนไขมันที่ได้จากพืชได้มาจากเมล็ดพืชชนิดต่าง ๆ เช่น เมล็ดฝ้าย ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ข้าว งา มะพร้าว และปาล์ม เป็นต้น ชนิดของไขมันที่ใช้ในเบเกอรี่ (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2553) ได้แก่

2.1 เนยสด ทำจากนมวัวในส่วนที่เป็นไขมัน ประกอบด้วยไขมันประมาณ 80% ลักษณะโดยทั่วไปของเนยสด คือ สีเหลือง กลิ่นรสหอม แต่มีค่าของความเป็นครีมต่ำจึงไม่สามารถตีเป็นครีมได้ เพราะขาดความเป็นเนื้อเดียวกัน เค้กที่ทำจากเนยล้วนจึงมีปริมาตรต่ำ เนื้อเค้กหยาบ เพราะเนยสดมีสภาพยืดหยุ่นที่ไม่ดี แต่เค้กจะมีกลิ่นและรสหอมหวานน่ารับประทาน นิยมใช้เนย

สดคู่กับเนยขาว เพราะเนยขาวจะช่วยเพิ่มให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อที่ละเอียด ปริมาตรใหญ่ และเป็นการลดต้นทุนการผลิต (จุฑา พีรพัชระ, 2547; จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2553)

2.2 เนยขาวหรือไขมันพืชแข็ง ทำจากน้ำมันพืชที่บริสุทธิ์ปราศจากกลิ่น เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น เนยขาวมีคุณสมบัติที่ดีในด้านมีค่าความเป็นครีมสูง ไม่มีกลิ่นและรส เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง เนยขาวที่ดีต้องมีลักษณะที่ยืดหยุ่นได้ คือไม่แข็งที่อุณหภูมิต่ำและไม่เหลวที่อุณหภูมิสูง เนยขาวนิยมใช้ในการทำครีมชนิดต่าง ๆ เพื่อแต่งหน้าเค้ก (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2553)

2.3 มาการิน (Margarine) ทำจากไขมันของพืชหรือสัตว์ที่นำมาผสมกับนมและครีม อาจไม่ใส่นมหรือไขของสัตว์ก็ได้เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการในด้านการลดไขมันของผู้บริโภค มาการีนมีทั้งสีขาวและสีเหลือง ผลิตขึ้นมาแทนเนยสดโดยมีการปรุงแต่งให้รูปร่างลักษณะและกลิ่นรสใกล้เคียงกับเนยสดมากที่สุด จึงเรียกอีกอย่างว่าเนยเทียม มีลักษณะเป็นของแข็งทีอุณหภูมิห้องมีไขมัน 80-85% นิยมใช้ทำขนมปัง เค้ก คุกกี้ และเพสตรี้ (ณนนท์ แดงสังวาลย์, 2553)

หน้าที่ของไขมันในส่วนผสม คือ ช่วยในการเป็นครีม โดยไขมันสามารถเก็บอากาศได้เมื่อถูกตีแรง ๆ และเร็ว โดยเฉพาะเมื่อสัมผัสกับส่วนผสมอื่น ๆ ทำให้เนื้อเนียนลื่น ซึ่งมีผลต่อความนุ่มของผลิตภัณฑ์ และถ้าไขมันที่ใช้มีคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ก็จะช่วยให้ส่วนผสมที่เป็นของเหลวเข้ากับส่วนผสมน้ำและน้ำตาลได้ดี จึงทำให้เนื้อผลิตภัณฑ์มีความชุ่มฉ่ำและอ่อนนุ่มตัวดี (สังวาล ธรรมษา, 2555)

3. นม ที่นำมาใช้ในเบเกอรี่ มีด้วยกัน 3 ชนิด คือ 1) นมสด เป็นของเหลวที่มีทั้งชนิดที่มีไขมันเต็ม (Whole milk) และนมที่ปราศจากไขมันหรือที่เรียกว่าหางนม (Skim Milk) และบัตเตอร์มิลค์ (Butter Milk) 2) นมข้น เป็นนมที่ระเหยเอาความชื้นออก แบ่งออกเป็นนมข้นหวานที่เติมน้ำตาลและนมข้นจืดชนิดที่มีไขมันและไม่มีไขมันหรือเรียกว่านมสดระเหย 3) นมผง เป็นนมสดที่มีไขมันเต็ม และหางนมสดที่ปราศจากไขมัน นำมาต้มให้ร้อนและนำไปกระจายบนลูกกลิ้งที่มีความร้อนหรือฉีดผ่านเครื่องพ่นฝอยแห้ง (Spray dry) นมผงที่ได้ไม่ควรมีความชื้นเกิน 5% (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2553; จุฑา พีรพัชระ, 2547) นมเป็นส่วนผสมที่ก่อให้เกิดโครงร่างที่ดีต่อผลิตภัณฑ์ ช่วยเสริมคุณค่าทางอาหารและให้กลิ่นรสแก่ผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้นมยังเป็นตัวช่วยให้ส่วนผสมอื่น ๆ เข้ากัน ช่วยละลายน้ำตาลซึ่งเป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เมื่อรวมกับของเหลว ความชื้นของนมไม่ได้เป็นตัวทำให้ผลิตภัณฑ์แข็งหรือนุ่มขึ้น แต่เมื่อรวมกับส่วนผสมอื่น ๆ แล้วอาจช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีทั้งความแข็งและความนุ่มทั้ง 2 อย่างได้ (สังวาล ธรรมษา, 2555)

4. น้ำตาล ถือเป็นวัตถุดิบหลักในการทำขนมอบ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีรสชาติอร่อย และให้สีน้ำตาลทองในผลิตภัณฑ์ น้ำตาลที่ใช้ในผลิตภัณฑ์มีด้วยกัน 3 ชนิด คือ 1) น้ำตาลทรายขาว เป็นน้ำตาลที่เป็นผลึกทำจากอ้อยหรือหัวบีท น้ำตาลทรายที่นำมาใช้ความมีความละเอียดและขาว เพราะจะผสมกับส่วนอื่น ๆ ได้ดี ส่วนน้ำตาลทรายเม็ดใหญ่มักใช้สำหรับโรยหน้า น้ำตาลทรายเม็ดเล็กใช้ทำเค้ก และน้ำตาลทรายป่นใช้ทำคุกกี้ เป็นต้น 2) น้ำตาลไอซิ่ง เป็นน้ำตาลป่นที่ผสมแป้งข้าวโพด 3% เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อน ใช้มากในการทำครีม คุกกี้บางชนิด หรือแป้งสำเร็จรูป 3) น้ำตาลทรายแดง เป็นน้ำตาลจากอ้อยที่ไม่ได้ฟอกสี มักใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มี

กลิ่นรสและสีของน้ำตาลทรายแดง เช่น บราวนี่ เค้กกล้วยหอม และเค้กผลไม้ เป็นต้น หน้าที่ของน้ำตาลต่อขนมอบ คือ ช่วยให้ความหวานแก่ผลิตภัณฑ์ ช่วยในการตีครีมและไข่ให้มีความคงตัวและขึ้นฟู ช่วยเก็บความชื้นและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความชุ่มชื้น อยู่ได้นาน ทำให้เปลือกนอกของผลิตภัณฑ์และเนื้อผลิตภัณฑ์เกิดสี และให้คุณค่าทางอาหารแก่ผลิตภัณฑ์ (ณนนท์ แดงสังวาลย์, 2553; จุฑา พีรพัชระ, 2547; สังวาล ธรรมษา, 2555)

5. สารเคมีที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความเบา โปร่ง ลักษณะเนื้อในเป็นรู ผลิตภัณฑ์ที่ทำให้ขึ้นฟูที่เป็นที่นิยม ได้แก่ 1) เบคกิ้งโซดา (Baking soda) หรือที่เรียกว่าโซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งจะเป็นสารที่ช่วยในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้สารนี้จะมีผลเสียโดยอาจมีสารตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสเฝื่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใช้ในปริมาณมากเกินไป เพื่อแก้ปัญหาจึงต้องเติมกรดอาหาร เช่น น้ำมะนาว นมเปรี้ยว และน้ำส้มผสมกับผงโซดาด้วยเพราะสารดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นกรด 2) ผงฟู (Baking ยowder) เป็นสารที่ผลิตจากการผสมของเบคกิ้งโซดากับสารเคมีที่ทำหน้าที่เป็นกรด ซึ่งจะมีการเติมแป้งข้าวโพดลงไปด้วยส่วนหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้สารทั้งสองชนิดนี้สัมผัสกันโดยตรง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ผงฟูที่ให้ปฏิกิริยารวดเร็วหรือผงฟูกำลังหนึ่ง ผงฟูชนิดนี้ประกอบด้วยเบคกิ้งโซดากับกรดทาร์ทาร์ริก หรือครีมออฟทาร์ทาร์ (Cream of tartar) หรือเกลือฟอตเฟต เช่น แคลเซียมแอซิดฟอสเฟต แคลเซียมแอซิดไพโรฟอสเฟต และผงฟูที่ให้ปฏิกิริยาช้าหรือผงฟูกำลังสอง ผงฟูประเภทนี้ประกอบด้วยเบคกิ้งโซดากับกรด 2 ชนิด หรือมากกว่า กรดชนิดหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเร็ว ได้แก่ แคลเซียมแอซิดฟอสเฟต ส่วนกรดที่เกิดปฏิกิริยาช้า ได้แก่ โซเดียมไพโรฟอสเฟต หรือโซเดียมอะลูมิเนียมซัลเฟต (จิตธนา แจ่มเมฆ และอรอนงค์ นัยวิกุล, 2553; ณนนท์ แดงสังวาลย์, 2553)

6. ไข่ ที่ใช้ในขนมอบส่วนมากเป็นไข่ไก่ ซึ่งเป็นส่วนผสมที่สำคัญมากในการทำพวกเค้กและขนมหวาน ไข่ที่มีลักษณะที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ควรมีขนาดโตและสด เมื่อต่อยจากเปลือกควรพบไข่แดงกลมนูนตรงกลาง ไข่ขาวจะข้นเกาะกันดีกับไข่แดง หน้าที่ของไข่ที่มีต่อผลิตภัณฑ์ คือ ทำให้ผลิตภัณฑ์ขึ้นฟู มีปริมาตรดี เมื่อตีไข่จะช่วยเก็บอากาศ ฟองอากาศที่อยู่ในไข่จะขยายตัวทำให้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ โดยฟองอากาศจะขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนและจะเกิดการคงตัวเมื่ออบ นอกจากนี้ไข่ยังช่วยให้เกิดสี กลิ่นรสและคุณค่าทางอาหารในผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความนุ่มเนื่องจากไข่มีความชื้นสูงถึง 75% และยังสามารถเก็บไว้ในเนื้อผลิตภัณฑ์ได้ ทำให้แห้งช้าลง (สังวาล ธรรมษา, 2555; ณนนท์ แดงสังวาลย์, 2553)

7. ผงโกโก้และช็อคโกแลต เป็นวัตถุดิบที่ทำให้เกิดสีและกลิ่นรสในผลิตภัณฑ์ ผงโกโก้ทำมาจากเมล็ดของผลคาโค (Cacao) นำมาผ่านกรรมวิธีจนได้เป็นของเหลวข้น สีน้ำตาลแดง หลังจากนั้นนำมาทำให้แห้งและบดเป็นผง ผงโกโก้จะมีเนยโกโก้ (Cocoa butter) อยู่ประมาณ 20-30% หากมีการสกัดเอาเนยโกโก้ออก แล้วนำผงโกโก้ที่ได้มาผสมกับไขมันพืชในปริมาณต่าง ๆ และอัดลงในพิมพ์ จะได้ออกมาเป็นช็อคโกแลตแท่ง ซึ่งมีรสขม อาจมีการใส่น้ำตาลเพื่อเพิ่มความหวานได้ แต่ช็อคโกแลตที่มีรสขมจะมีกลิ่นรสที่ดีกว่าแบบที่มีน้ำตาล สำหรับการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์บราวนี่ จะนำช็อคโกแล็ตแท่งมาละลายใช้เป็นส่วนประกอบในส่วนหน้าของผลิตภัณฑ์ (สังวาล ธรรมษา, 2555)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผาณิต รุจิรพิสิฐ และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าว 9 สายพันธุ์ จากจังหวัดอุบลราชธานี พบว่า ข้าวเหนียวดำมีปริมาณโปรตีนสูง ข้าวหอมกัญญามีโปรตีน วิตามินบี 1 วิตามินอี และไขมันสูง ข้าวหอมนิลมีใยอาหาร ซีลีเนียม และไนอะซินสูง ข้าวสังข์หยดมีสังกะสีที่สูง และให้พลังงานต่ำที่สุด ข้าวหอมมะลิแดงมีกากใยและพลังงานสูง ข้าวสินเหล็กมีวิตามินบี 1 สูง ข้าวหอมอุบลมีคาร์โบไฮเดรต และธาตุเหล็กสูง ข้าวหอมมะลิ 105 มีสังกะสี ไนอะซิน และวิตามินอีสูง และข้าวเล้าแตกไม่มีสารอาหารใดสูงอย่างเด่นชัด

กาญจนา ลากุลเพลิน และคณะ (2553) ได้ทำการศึกษาสารต้านออกซิเดชันในข้าวสินเหล็ก โดยศึกษาในรูปของแป้งโม่แห้ง โม่เปียก โม่แห้งผสมสูตร และโม่เปียกผสมสูตร โดยทดสอบสารต้านออกซิเดชันด้วยวิธี FRAP assay พบว่า แป้งโม่แห้งมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 1,191.18 µmole รองลงมาคือ แป้งโม่แห้งผสมสูตร แป้งโม่เปียก และแป้งโม่เปียกผสมสูตร มีค่าเท่ากับ 1,137.13, 851.68 และ 746.09 µmole ตามลำดับ

รัชนีวรรณ สะอาดศรีวีรเดช และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาการแช่ต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของข้าวกล้องสินเหล็ก พบว่า การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวกล้องสินเหล็กเป็น 70°C เวลา 180 นาที จะส่งผลให้ปริมาณความชื้น ความสามารถในการดูดน้ำ Pasting temperature และ Final viscosity สูงขึ้น แต่ Peak viscosity และ Breakdown ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และนำผลที่ได้มาใช้เป็นสภาวะสำหรับการแช่ข้าวเพื่อนำมาผลิตเครื่องดื่มเลียนแบบนมจากข้าวกล้องสินเหล็ก โดยแช่ข้าวที่อุณหภูมิ 30°C เวลา 180 นาที ทำให้ได้เมล็ดข้าวที่มีความสามารถในการดูดน้ำที่ 25.64±0.39% ความหนืดสูงสุด 2444.33±19.03 เซนติพอยส์

ทรายคำ ปินตาเสน และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาความแปรปรวนของปริมาณธาตุเหล็กภายในและระหว่างพันธุ์ของข้าวพื้นเมืองไทยในจังหวัดแม่ฮ่องสอน พบว่า ข้าวพันธุ์บือบ้าง บือก๊ะวะ และบือกี่ มีปริมาณธาตุเหล็กสูง โดยเปรียบเทียบกับข้าวพันธุ์ IR68144 (พันธุ์ที่มีปริมาณเหล็กในเมล็ดสูง) และพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 (พันธุ์ที่มีปริมาณเหล็กในเมล็ดต่ำ) เมื่อนำมาปลูกทดสอบรุ่นลูกพบว่ามีปริมาณธาตุเหล็กในเมล็ดอยู่ระหว่าง 9.5-16 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักแห้งของข้าวกล้อง

ณนนท์ แดงสังวาลย์ และคณะ (2554) ได้ทำการศึกษาการใช้แป้งกล้วยน้ำว้าทดแทนแป้งสาลีในบราวนี่ โดยนำแป้งกล้วยน้ำว้ามาทดแทนแป้งสาลี 5 ระดับ คือ ร้อยละ 0 25 50 75 และ 100 ของน้ำหนักแป้งสาลีที่ใช้ พบว่าการทดแทนด้วยแป้งกล้วยน้ำว้าที่ปริมาณร้อยละ 50 มีคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมสูงสุด และมีคะแนนความชอบด้านสี กลิ่นรส รสชาติ ความนุ่ม และความชุ่มฉ่ำไม่แตกต่างจากสูตรที่ใช้แป้งสาลีล้วน

Soojung et al. (2013) ได้ทำการศึกษาผลของการบดแห้งและบดเปียกของแป้งข้าวที่มีผลต่อคุณสมบัติของโดที่ปราศจากกลูเตนและเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่า แป้งข้าวเจ้าแบบโม่แห้งที่มีการเสียสภาพของสตาร์ชสูงจะมีคุณสมบัติเชิงหน้าที่ที่เกี่ยวกับน้ำสูงกว่าแป้งข้าวเจ้าที่โม่เปียกที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามแป้งข้าวเจ้าโม่เปียกจะมีค่าความหนืดสูงกว่า เนื่องจากความสามารถในการพองตัวในการเกิดเจลาติไนซ์ที่มากกว่า

พร้อมลักษณ์ สมบูรณ์ปัญญากุล และคณะ (2555) ได้ทำการพัฒนาคุกกี้ข้าวกล้องสินเหล็ก โดยศึกษาผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยแป้งข้าวกล้องสินเหล็กต่อสมบัติทางกายภาพและประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยแปรอัตราส่วนแป้งข้าวกล้องสินเหล็กต่อแป้งสาลีเป็น 0:100, 20:80, 40:60, 60:40 และ 80:20 พบว่าเมื่ออัตราส่วนของแป้งข้าวกล้องสินเหล็กสูงขึ้น คุกกี้มีค่าแรงกดแตกสูงขึ้น ($p<0.05$) แต่อัตราการแผ่ขยายตัวลดลง ($p<0.05$) จากการวัดค่าสีของคุกกี้ พบว่า เมื่ออัตราส่วนของแป้งข้าวกล้องสินเหล็กเพิ่มขึ้น คุกกี้มีค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองลดลง ($p<0.05$) อัตราส่วนของแป้งข้าวกล้องสินเหล็กต่อแป้งสาลีที่เหมาะสมในการผลิตคุกกี้ คือ 40:60 เมื่อวิเคราะห์คุณค่าทางด้านโภชนาการของคุกกี้สูตรนี้ พบว่ามีความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต และ ค่าพลังงาน เป็น 2.95, 6.19, 26.34, 2.52, 62.00 กรัมต่อ 100 กรัม และ 509.82 กิโลแคลอรี ตามลำดับ

Manuel et al. (2008) ได้ทำการศึกษาคุณภาพของเค้กที่ทำมาจากแป้งถั่วลูกไก่ โดยแป้งถั่วลูกไก่จะส่งผลให้องค์ประกอบของกรดอะมิโนและปริมาณใยอาหารสูงขึ้น ในผลิตภัณฑ์ขนมปังและขนมอบ ผลของการทดแทนแป้งถั่วลูกไก่ทำให้เค้กมีความแน่นเนื้อเพิ่มมากขึ้น แต่การยืดเกาะและความยืดหยุ่นตัวของเค้กจะลดต่ำลง เนื่องจากเค้กมีความแข็งเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพันธุ์ของถั่วลูกไก่ พบว่าสายพันธุ์ Pedrosillano และ Sinaloa ให้เค้กที่มีปริมาณเนื้อเค้กมากที่สุด แต่ทั้ง 2 สายพันธุ์ให้เค้กชั้นที่มีความแน่นและความเหนียวต่ำที่สุด ส่วนชนิดของแป้ง แป้งที่มีสีขาวจะให้เค้กฟองน้ำ (sponge cakes) ที่มีปริมาณและความสมมาตรสูงกว่าการใช้แป้งทั้งหมด

Veluppillai et al. (2010) ได้ทำศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการเตรียมขนมปังจากแป้งสาลีและแป้งข้าวเจ้าที่ทำจากมอลต์ โดยนำข้าวเจ้าพันธ์พื้นเมืองหลายพันธุ์มาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 องศา-เซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และให้เจริญเป็นเวลา 3 วัน เพื่อให้มีปริมาณของอะไมเลสมีมากพอในการทำขนมปัง ขนมปังที่มีคุณภาพดีที่สุดจะประกอบด้วยอะไมเลสและสารออกซิไดซ์ที่ความเข้มข้น 40 กรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรทั่วไป พบว่าขนมปังที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าจะมีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใยอาหารทั้งหมดและปริมาณกรดอะมิโนอิสระที่มากกว่าขนมปังจากแป้งสาลี

กรอบแนวคิดในการวิจัย