บทที่ 1

บทนำ

1.1 ประวัติความเป็นมา

ในปัจจุบันจำแนกกลุ่มพืชที่ให้แป้งตามส่วนที่ทำหน้าที่เก็บสะสมแป้งได้ 3 กลุ่มคือ กลุ่มแรก cereals หรือธัญพืชจะเก็บแป้งไว้ในเมล็ด กลุ่มที่สองคือ root crops ได้แก่ พืชที่เก็บสะสมแป้งไว้ในรากหรือลำต้นใต้ดิน ส่วนกลุ่มสุดท้ายคือ palm crops ได้แก่ พืชพวกปาล์มบางชนิดที่เก็บสะสมแป้งไว้ในเนื้อเยื่อแกนกลางของลำต้น (Pith) (วิยดา เทพหัตถี, 2523) วัตถุดิบหลักที่ใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทแป้งนั้นส่วนใหญ่คือ ธัญพืชต่างๆเช่น ข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวเหนียว ข้าวโพด และข้าวฟ่าง เป็นต้น สำหรับข้าวเจ้า ข้าวสาลี และข้าวโพด เป็นธัญพืชที่มีการรู้จักกันแพร่หลายแล้ว ส่วนข้าวฟ่างนั้นการใช้ประโยชน์ยังมีค่อนข้างจำกัด ในประเทศไทยส่วนใหญ่มักจะนำมาใช้เป็นอาหารสัตว์ จะมีเพียงบางประเทศในอัฟริกาและบางพื้นที่ในประเทศอินเดียเท่านั้นที่มีการนำมาบริโภคเป็นอาหารหลัก (ศิราพร วิเศษสุรการ, 2539) ข้าวฟ่างที่ถูกนำเข้ามาทดลองปลูกในประเทศไทยเป็นครั้งแรกเป็นข้าวฟ่างพวกเฮกการี่ต้นเตี้ยจากสหรัฐอเมริกา โดยนำเข้ามาปลูกที่สถานีบำรุงพันธุ์สัตว์ทับกวาง จังหวัดสระบุรี มีจุดประสงค์สำคัญเพื่อใช้ต้นเลี้ยงสัตว์ แต่เมื่อปลูกแล้วปรากฏว่าให้ผลผลิตเมล็ดดี และเมื่อมีตลาดต่างประเทศให้ความสนใจซื้อเมล็ดข้าวฟ่างจากประเทศไทย จากวัตถุประสงค์ของการนำข้าวฟ่างเข้ามาปลูกเพื่อใช้ต้นเลี้ยงสัตว์จึงเปลี่ยนไปเป็นปลูกเพื่อผลิตเมล็ดส่งเป็นสินค้าออกคือ ข้าวฟ่างเมล็ดหรือข้าวฟ่างปลูกเพื่อใช้เมล็ด (grain sorghum) ข้าวฟ่างชนิดนี้มีขนาดของเมล็ดใหญ่กว่า ต้นเตี้ยกว่า และผลผลิตเมล็ดจะมากกว่าข้าวฟ่างชนิดอื่น ข้าวฟ่างเมล็ดมีความสำคัญมากเป็นหนึ่งในห้าของธัญพืชที่เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์และเป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ คุณค่าทางอาหารหรือส่วนประกอบทางเคมี รวมทั้งสารแทนนินของเมล็ด ไม่สามารถบ่งบอกได้ชัดเจนจากสีของเมล็ดข้าวฟ่างที่มองเห็น จำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ทางเคมี คุณค่าทางอาหารเมื่อคำนึงเฉพาะกรดอะมิโนของเมล็ดข้าวฟ่างเทียบกับเมล็ดข้าวโพด มีรายงานไว้ว่าใกล้เคียงกัน

ยกเว้นปริมาณของแคโรทีน และแซนโทฟิล ซึ่งข้าวฟ่างจะมีน้อยกว่า แต่ปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าวฟ่างด้วย (จุฬี ทิพยรักษ์, 2533) ประเทศอินเดียตอนใต้และหลายประเทศในอัฟริกานำเมล็ดข้าวฟ่างมาแปรรูปเป็นอาหารหลักแทนข้าว ข้าวสาลี ที่ผลิตได้ผลดีไม่เท่าข้าวฟ่าง ทั้งนี้เนื่องจากสภาพดินฟ้าอากาศของประเทศเหล่านั้นค่อนข้างแห้งแล้งและร้อน ข้าวฟ่างเป็นพืชที่ทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ดีกว่าธัญพืชหลายชนิด รวมทั้งข้าวโพด อาหารที่ทำจากข้าวฟ่างมีชื่อและลักษณะรูปแบบแตกต่างกันไปตามประเทศ ประเทศในยุโรปได้ให้ความสนใจและทดลองใช้แป้งข้าวฟ่างทดแทนข้าวสาลีเป็นบางส่วนเพื่อลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมขนมปัง คุกกี้ ในบางประเทศมีการผลิตข้าวฟ่างแทนการใช้ข้าวสาลีทั้งหมด ซึ่งมีต้นทุนการผลิตหรือการนำเข้าต่อกิโลกรัมสูงกว่าแป้งข้าวฟ่างมาก สำหรับประเทศไทยนั้นได้มีการวิจัยของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยนำเมล็ดข้าวฟ่างมาแปรรูปเป็นแป้ง แล้วใช้แป้งมาเป็นส่วนประกอบทำเค้ก คุกกี้ ขนมจีน และ เส้นหมี่ ซึ่งหากมีการผลิตแป้งข้าวฟ่างมาใช้แทนแป้งข้าวสาลีเพิ่มขึ้นจะเกิดผลดีหลายด้าน ทั้งลดการนำเข้าข้าวสาลีจากต่างประเทศ ขณะเดียวกับเพิ่มการใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างได้อีกด้านหนึ่ง นอกเหนือจากผลิตข้าวฟ่างเพื่อการส่งออก เลี้ยงสัตว์ในครัวเรือนและใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์

1.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ข้าวฟ่างจัดอยู่ใน Family Gramineae, subfamily Panicoileae, และ tribe Andropogoneae ทุกสายพันธุ์มีโครโมโซม 10 คู่ และอยู่ในสปีชีส์ Sorghum bicolor L. Moench, หรืออีกชื่อ S. vulgare (Matz, 1991) ชื่อที่นิยมเรียกคือ Milo ซึ่งหมายถึงข้าวฟ่างเมล็ด เป็นพืชตระกูลหญ้า มีใบหยาบ ลำต้นแข็ง มีความสูงตั้งแต่ต่ำกว่า 1 เมตรไปจนถึง 5 เมตร แล้วแต่พันธุ์ มีลักษณะคล้ายคลึงกับข้าวโพดมากในระยะงอกไปจนถึงก่อนออกดอก ลำต้นจะมีข้อตั้งแต่ 15 – 30 ข้อ บางพันธุ์มีรากค้ำ (prop root) ในบริเวณข้อล่างๆ ใกล้โคนต้น อาจจะมีการแตกหน่อจากส่วนโคนของลำต้นมากน้อยต่างกันแล้วแต่พันธุ์ สภาพแวดล้อม และความหนาแน่นของประชากร ข้าวฟ่างมีระบบรากเป็นแบบรากฝอย มีจำนวนรากมาก (มากกว่าข้าวโพดประมาณ 2 เท่า) จึงสามารถดูดอาหารและน้ำได้ดีเป็นพิเศษ ใบข้าวฟ่างจะมีลักษณะเรียวยาว ประกอบด้วยกาบใบ (leaf sheath) และตัวใบ (leaf blade) กาบใบจะห่อหุ้มอยู่รอบลำต้นมีสี

เขียวอ่อน ส่วนตัวใบมีสีเขียวเข้มกว่า ใบคล้ายใบของพืชพวกหญ้าทั่วๆ ไปขอบใบหยักเล็กๆ คล้ายฟันเลื่อย เส้นกลางใบมักเป็นสีขาวหรือสีเขียวอ่อน ตามผิวใบมีสารพวกขี้ผึ้ง (wax) เคลือบหนาเพื่อช่วยลดการคายน้ำ (วิยดา เทพหัตถี, 2523) ใบที่อายุน้อยกว่า 3 สัปดาห์ จะมีสารไซยาโนเจนิกกลูโคไซด์ (cyanogenic glucoside) สะสมอยู่มากทำให้ต้นอ่อนระยะนี้ไม่เหมาะจะนำไปเลี้ยงสัตว์เพราะจะทำให้เกิดอันตรายต่อสัตว์ได้ถ้ากินเข้าไปในปริมาณมาก เมื่อข้าวฟ่างใกล้ระยะออกดอกจะสังเกตเห็นว่ามีใบธงเกิดขึ้น (flag leaf) กาบใบของใบธงจะหุ้มห่อช่อดอก (head) ไว้ ดอกออกเป็นช่อที่ยอด ลักษณะช่อเป็น panicle แต่มีจำนวนดอกมาก และอยู่รวมกันค่อนข้างแน่น จึงมักเรียกว่า head มีดอกเป็นแบบดอกสมบูรณ์เพศ (complete flower) ที่ปลายกิ่งแขนงของช่อดอก เกสรผู้และเกสรเมียอยู่ภายในดอกเดียวกัน มีการผสมตัวเองโดยเฉลี่ยประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ แต่อาจมีการผันแปรตั้งแต่ 50 – 100 เปอร์เซ็นต์ การบานเริ่มจากปลายช่อดอกลงมาสู่โคนช่อ ในการผลิตพันธุ์ลูกผสมจะใช้พันธุ์ที่มีเกสรผู้เป็นหมันเป็นต้นแม่ ช่อดอกอาจแน่นหรือหลวม และขนาดของช่อดอกก็แตกต่างกันไปมากในแต่ละพันธุ์ ก้านช่อดอก (peduncle) ของข้าวฟ่างส่วนมากจะตั้งตรง ยกเว้นบางพันธุ์ที่ก้านช่อดอกมีลักษณะโค้งทำมุมกับลำต้นตั้งแต่มุมเล็กไปจนบางพันธุ์ก้านช่อดอกโค้งมาขนานกับลำต้น ลักษณะการโค้งงอดังกล่าว เรียกว่า goose necked หนึ่งช่อดอกจะได้เมล็ดข้าวฟ่าง 800 – 3,000 เมล็ด (รูปที่ 1 -1)

ข้าวฟ่างเป็นพืชผสมตัวเอง มีการผสมข้ามในธรรมชาติ 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ โดยที่การผสมมักจะเกิดก่อนดอกบาน เมล็ดข้าวฟ่างจะเจริญโดยที่ยังมีกลีบดอก (glume) หุ้มบางส่วนหรือทั้งเมล็ดไว้ ขนาด รูปร่าง และสีของเปลือกเมล็ด ความยาวกลีบดอกที่หุ้มเมล็ด และลักษณะของแป้งในเอนโดสเปิร์ม (endosperm) แตกต่างกันไปตามพันธุ์ เมล็ดอาจมีสีขาว เหลือง ส้ม หรือ น้ำตาล ซึ่งรงควัตถุที่ทำให้เกิดสีอาจอยู่ที่เพอริคาร์พ (pericarp) หรือเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) เมล็ดที่มีสีน้ำตาลมักมีสาร tannin อยู่มาก สารนี้เป็นพิษต่อสัตว์ถ้าให้สัตว์กินในปริมาณมากพอ ส่วนเมล็ดสีเหลืองจะมีสารแคโรทีนซึ่งเป็นสารที่มีคุณค่าของอาหารสัตว์อยู่มาก แป้งในเมล็ดข้าวฟ่างมี 2 ชนิด คือ แป้งแข็ง (hard starch) แป้งชนิดนี้อณูของแป้งอัดตัวกันแน่นทำให้เอนโดสเปิร์มมีสีใส ส่วนแป้งอ่อน (soft starch) นั้น อณูของแป้งอัดตัวกันหลวมๆ ทำให้เอนโดสเปิร์มมีสีขุ่น เมล็ดที่มีแป้งแข็งเป็นส่วนประกอบมากนิยมใช้ทำเป็นอาหารสัตว์มากกว่าเมล็ดที่มีแป้งแข็งน้อย อีกทั้งเมล็ดชนิดนี้ยังทนทานต่อการเจาะทำลายของแมลงได้ดีกว่าด้วย

รูปที่ 1-1 ช่อดอกข้าวฟ่างลูกผสมที่โตเต็มที่ (Watson, 1967)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถึงแม้ข้าวฟ่างจะเป็นพืชล้มลุก แต่หลังจากเก็บเกี่ยวเมล็ดไปแล้วยังสามารถจะไว้ตอและเก็บเกี่ยวผลผลิตต่อไปได้อีก 1–2 ครั้ง ขึ้นอยู่กับความสมบูรณ์ของต้นและการปฏิบัติดูแลหลังจากการเก็บเกี่ยว (คณาจารย์ภาควิชาพืชไร่นา, 2527) ข้าวฟ่างสามารถทนแล้งได้ดี ไม่ต้องดูแลรักษามาก ต้องการน้ำน้อย เกษตรไทยนิยมปลูกข้าวฟ่างเป็นพืชรุ่นที่สองแทนถั่วงา ฯลฯ เพราะสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งได้ดีกว่าพืชไร่ชนิดอื่นๆ หรือใช้ปลูกเป็นพืชทดแทน เมื่อพืชที่เกษตรกรต้องการปลูกได้รับความเสียหาย

1.3 ชนิดของข้าวฟ่าง

โดยอาศัยความแตกต่างของรูปทรงต้นและการใช้ประโยชน์อาจแบ่งข้าวฟ่างออกได้เป็น 5 ประเภท คือ

1.3.1 grain sorghum (Sorghum bicolor) ข้าวฟ่างในกลุ่มนี้ได้แก่พวก milo, kafir, feterita, hegari รวมทั้งลูกผสมจากพวกที่กล่าวแล้ว รวมทั้งพวก durra, shallu และ kaoliang ซึ่งเป็นข้าวฟ่างที่นิยมปลูกในประเทศกลุ่มอาหรับ อินเดีย และจีน ตามลำดับ ไส้ของต้นข้าวฟ่างในกลุ่มนี้อาจมีลักษณะชุ่มน้ำหรือแห้งแต่จะไม่หวานเท่าลำต้นของพวก sorgos เมล็ดของข้าวฟ่างเมล็ด (grain sorghum) นี้มีขนาดใหญ่มีสีขาว แสด ชมพู เหลือง น้ำตาลหรือน้ำตาลแดง สามารถกะเทาะเมล็ดออกจากเปลือกหุ้มได้โดยง่าย ปลูกเพื่อเอาเมล็ด เมล็ดใช้เป็นอาหารมนุษย์และสัตว์

1.3.2 broom corn (Sorghum bicolor) มีชื่อเรียกในภาษาไทยว่าข้าวฟ่างไม้กวาด ช่อดอกของข้าวฟ่างชนิดนี้มี rachis สั้น แต่มีกิ่งแขนงยาว และมีดอกเพียงเล็กน้อยที่ปลายกิ่ง เมล็ดมีขนาดเล็กลีบ และมีกลีบดอกห่อหุ้มสนิท ก้านช่อดอกและกิ่งแขนงของช่อดอกเมื่อแห้งจะเหนียวและแข็งใช้ทำไม้กวาด เรียกชื่อวิทยาศาสตร์ของ broom corn ว่า S. dochna

1.3.3 forage sorghum หรือ sorgos หรือ sweet sorghum (Sorghum bicolor) มีชื่อเรียกในภาษาไทยว่าข้าวฟ่างหวาน ลำต้นของข้าวฟ่างชนิดนี้จะมีลักษณะชุ่มน้ำ และมีเปอร์เซ็นต์น้ำตาลสูงใช้ทำ syrup silage และ forage midrib ของใบข้าวฟ่างหวานจะมีสีขุ่น

เนื่องจากมีน้ำหวานอยู่ตามช่องว่างของเซลล์ ซึ่งในข้าวฟ่างชนิดอื่นเป็นที่อยู่ของอากาศ ข้าวฟ่างหวานมีลำต้นสูง มีเมล็ดขนาดเล็กและมีกลีบดอกยาว ลักษณะและขนาดของช่อดอกแตกต่างกันมาก คือมีช่อดอกตั้งแต่หลวมจนแน่น และอาจเป็นชนิดที่มีก้านแขนงสั้นไปจนถึงยาวเท่า rachis

1.3.4 grass sorghum มีชื่อเรียกในภาษาไทยว่า หญ้าข้าวฟ่าง เป็นพวกข้าวฟ่างพันธุ์ป่าต่างๆ มีลักษณะคล้ายหญ้าทั่วๆ ไป ใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากลำต้นเล็กและมีการแตกกอดีคล้ายหญ้า จึงนิยมปลูกเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์หรือตัดทำหญ้าแห้งหรือทำเป็นหญ้าหมักก็ได้ ข้าวฟ่างพวกนี้ได้แก่ S. sudanense (หญ้าซูดาน) S. halepense (หญ้าจอห์นสัน) และ S. almum (หญ้าโคลัมบัส)

1.3.5 special purposes sorghum ข้าวฟ่างที่ใช้เมล็ดเพื่อประโยชน์อื่นๆ ได้แก่ ข้าวฟ่างที่ใช้เมล็ดมาคั่วรับประทาน หรือนำไปทำเป็นแป้งใช้ทำขนม ทำกาว โดยมากเป็นข้าวฟ่างที่มีขนาดลำต้นสูงใหญ่ เมล็ดน้อยมีขนาดเล็กและแข็ง สีขาวอมเหลือง ไม่นิยมปลูกเป็นการค้า นอกจากปลูกไว้ใช้กันตามบ้านเท่านั้น

ข้าวฟ่างเมล็ดนอกจากมีความผันแปรในลักษณะทางต้นแล้วก็ยังมีความผันแปรในลักษณะเมล็ดอย่างมาก เมล็ดพันธุ์ข้าวฟ่างที่ต่างกันอาจมีสีชมพู แดง น้ำตาล เหลืองหรือขาว ลักษณะแป้งในเมล็ดอาจยุ่ยคล้ายชอล์กหรือแข็ง รูปร่างของเมล็ดอาจกลม กลมรี หรือกลมแบน ลักษณะและขนาดของช่อก็แตกต่างกันอย่างมากเมล็ดข้าวฟ่างสีขาวและเหลือง ได้รับความนิยมในการใช้เป็นอาหาร ทั้งนี้เนื่องจากพวกที่มีสีแดง ชมพู น้ำตาล มักมีรสขม อันเนื่องมาจากสารแทนนิน ซึ่งอาจอยู่ในเปลือกนอกของเมล็ดและสามารถแยกออกได้โดยการขัดสี แต่ถ้าอยู่ในเปลือกใน (testa) การแยกออกจากเมล็ดด้วยเครื่องสีเท่าที่มีอยู่ในปัจจุบันทำได้ยาก สารแทนนินที่มีรสขมเหล่านี้จะเป็นตัวยับยั้งการย่อยของโปรตีน ทำให้คุณค่าทางอาหารของข้าวฟ่างลดลง (ชามูเอล, 2531) ข้าวฟ่างแต่ละสายพันธุ์จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ กันไป เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดพืชหรือพืชที่ทนแล้งชนิดอื่นข้าวฟ่างจะมีองค์ประกอบที่มีคุณค่าทางอาหารสมควรแก่การพิจารณาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆ นอกจากนี้องค์ประกอบต่างๆ ยังแปรผันไปตามสายพันธุ์ สภาพภูมิอากาศที่ใช้ในการเพาะปลูก และเวลาในการเก็บเกี่ยว ซึ่งมีความสำคัญต่อการคัดเลือก

วัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นอาหารมนุษย์ อาหารสัตว์ หรือใช้เป็นเส้นใยอาหาร (Joseph and Charles, 1970)

1.4 ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่าง

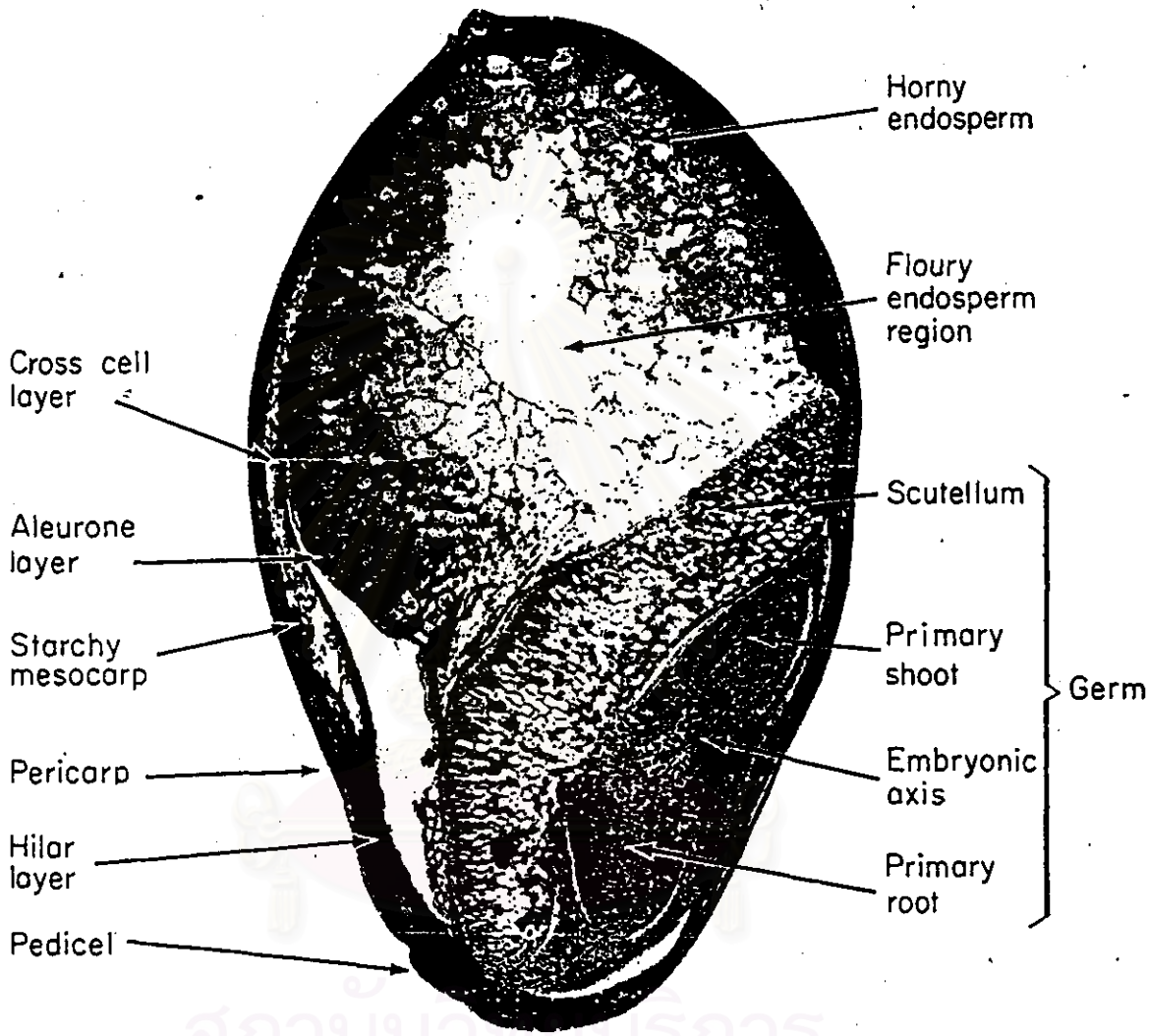
เมล็ดข้าวฟ่างที่เอากาบหุ้มเมล็ดออกแล้ว ส่วนใหญ่มีรูปร่างกลมหรือกลมรี โดยทั่วไปมีขนาดประมาณ 4.0 × 2.5 × 3.5 มิลลิเมตร (รูปที่ 1 - 2) น้ำหนักเมล็ดแปรผันจาก 8 ถึง 50 มิลลิกรัม โดยเฉลี่ยประมาณ 28 มิลลิกรัม มี 12,000 – 18,000 เมล็ดต่อปอนด์ อาจจะมีเปลือกสีขาว, แดง, เหลืองหรือชมพู รูปที่ 1 – 3 แสดงส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวฟ่าง เมล็ดที่มีเปลือกสีขาว มีชื่อเรียกทั่วไปว่า kafir ซึ่งจะมีขนาดเล็กโดยเฉลี่ยเล็กกว่าข้าวฟ่างพันธุ์อื่นๆ โครงสร้างของเนื้อเมล็ดข้าวฟ่างแปรผันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยทางด้านสภาพแวดล้อมและพันธุศาสตร์ รูปร่าง, ขนาด, สัดส่วนของส่วนหลักๆ ของเนื้อเมล็ดและโครงสร้างภายในแต่ละส่วนของเมล็ดสามารถผันแปรไปตามพันธุ์

1.4.1 โครงสร้างเนื้อเมล็ด

เนื้อเมล็ดข้าวฟ่างประกอบด้วย 3 ส่วน สำคัญคือ ส่วนห่อหุ้มด้านนอก (เพอริคาร์พ), เนื้อเยื่อสะสม (เอนโดสเปิร์ม) และเอมบริโอ (คัพภะ) (Rooney and Sullins, 1977)

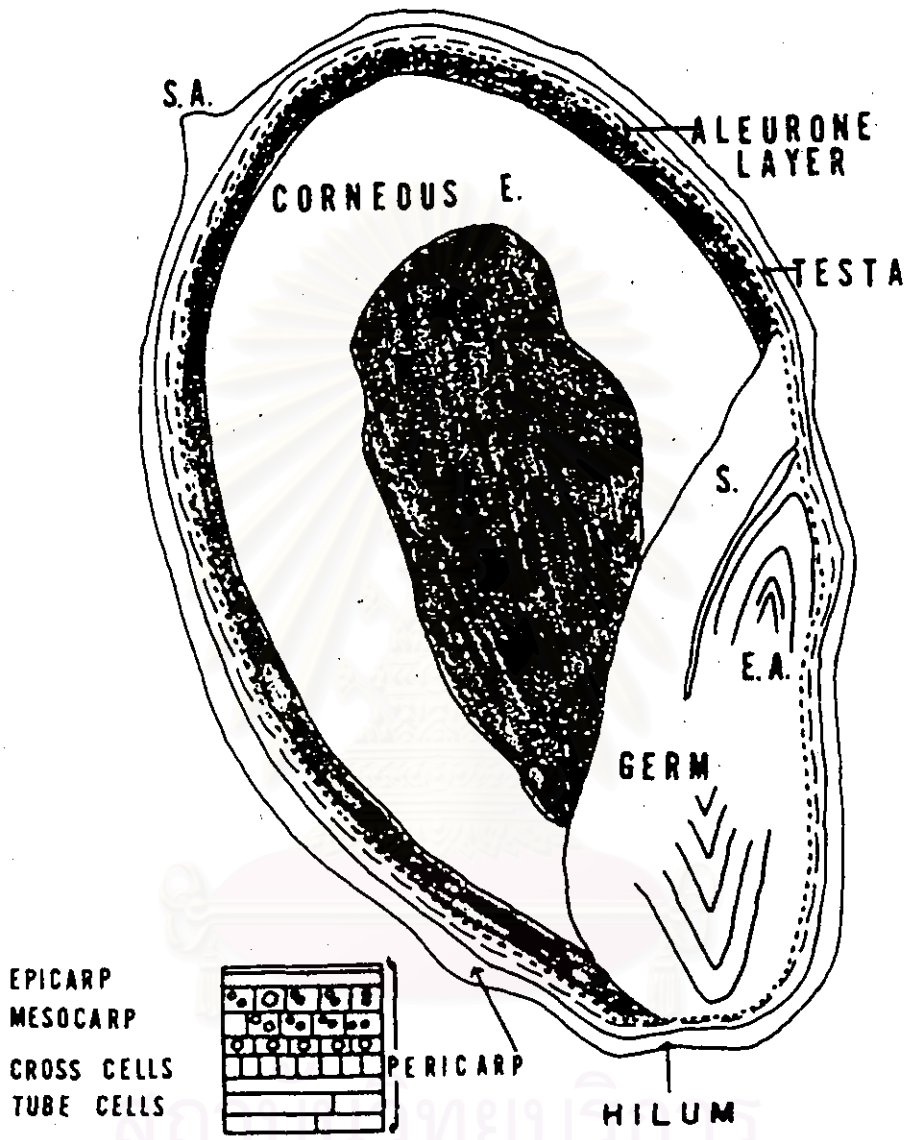
1.4.1.1 เพอริคาร์พ (pericarp)

เพอริคาร์พ สามารถแบ่งย่อยออกได้เป็นเอพิคาร์พ (epicarp) มีโซคาร์พ (mesocarp) และเอนโดคาร์พ (endocarp) ส่วนแรกหรือส่วนที่อยู่นอกสุดคือ เอพิคาร์พ ซึ่งมักจะประกอบด้วยชั้นเซลล์หนา 2 – 3 ชั้น เซลล์เหล่านี้ยาวและมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า และมีสารพวกขี้ผึ้ง บางครั้งมีรงควัตถุด้วย อย่างไรก็ดี ถ้าเนื้อเมล็ดถูกห่อหุ้มอยู่ภายใต้กาบหุ้มเมล็ดที่มีรงควัตถุ รงควัตถุจำนวนหนึ่งอาจจะซะผ่านเอพิคาร์พเข้าไปในเนื้อเยื่อเอนโดสเปิร์มระหว่างการโม่แห้งข้าวฟ่างให้เป็นแป้ง รงควัตถุเป็นสาเหตุที่ทำให้มีสีติดค้างใน grits หรือแป้ง



รูปที่ 1-2 ภาพตัดตามยาวของเมล็ดข้าวฟ่างขยาย 30 เท่า (Hubbard et al., 1950)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1-3 แสดงโครงสร้างเมล็ดข้าวฟ่าง S.A. คือ stylar area; E คือ เอนโดสเปิร์ม; S คือ scutellum; E.A. คือ embryonic axis (Hoseney, 1994)

ชั้นกลางคือ มีโซคาร์พ ซึ่งประกอบด้วยเม็ดแป้งขนาดเล็ก และชั้นในสุดของเพอริคาร์พคือ เอนโดสเปิร์ม ซึ่งประกอบด้วย เซลล์ขวางและเซลล์แท่ง (cross cells และ tube cells) เซลล์ขวางยาวและแคบความยาวตัดกันเป็นมุมฉากกับความยาวของเนื้อเมล็ด เซลล์แท่งกว้าง 5 ไมครอน และยาวถึง 200 ไมครอน ความยาวของแต่ละเซลล์ขนานกับความยาวของเนื้อเมล็ด หนึ่งในหน้าที่หลักของเซลล์ขวางและเซลล์แท่งคือ ถ่ายเทความชื้น เซลล์นี้เป็นจุดที่แตกหักเมื่อเพอริคาร์พ (หรือรำในเทคโนโลยีการโม่) ถูกแยกออกระหว่างการโม่เมล็ด

1.4.1.2 เปลือกใน (testa)

อยู่ใต้เพอริคาร์พ เนื้อเมล็ดข้าวฟ่างบางชนิดมีชั้นที่มีรงควัตถุอยู่สูง ซึ่งถูกเรียกว่าเปลือกในหรือเปลือกหุ้มชั้นรอง (subcoat) รงควัตถุเข้มข้นด้วยพอลิฟีนอลหรือแทนนิน ปริมาณแทนนินสูงของเมล็ดช่วยหน่วงการงอกของเม็ดก่อนเก็บเกี่ยวและลดการปนเปื้อนเชื้อรา

1.4.1.3 โครงสร้างเอนโดสเปิร์ม

เอนโดสเปิร์มของข้าวฟ่างประกอบด้วยชั้นอะลูโรน (aleurone), เพอริเฟอรอล (peripheral), คอร์เนียส (corneous) และส่วนที่เป็นแป้งชั้นอะลูโรนเซลล์ อยู่ภายใต้ชั้นเพอริคาร์พ เพอริเฟอรอลเอนโดสเปิร์มอยู่ใต้ชั้นเอนโดสเปิร์ม และได้รับผลกระทบจากปัจจัยทางด้านพันธุศาสตร์และสิ่งแวดล้อม (Maxson et al., 1971) อะลูโรนเซลล์มีระดับน้ำมันสูงและโปรตีนในอะลูโรนมีคุณค่าทางโภชนาการมาก

เมื่อตัดแยกเมล็ดแต่ละส่วนเพื่อศึกษาพบว่าส่วนเอนโดสเปิร์มของทั้งเมล็ดจะอยู่ในช่วง 80.0 – 84.6 เปอร์เซ็นต์, ส่วนคัพภะ 7.8 – 12.1 เปอร์เซ็นต์ และส่วนรำ (bran) 7.3 – 9.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนรำประกอบด้วย คิวติเคิล, เอพิเดอร์มิส, ไฮโปเดิร์ม, และส่วนใหญ่ของมีโซคาร์พ ส่วนในสุดของมีโซคาร์พ, ไมเซลลาร์ เลเยอร์ และอะลูโรนจะติดไปกับส่วนเอนโดสเปิร์ม (Matz, 1991) เมื่อส่องดูด้วยกล้อง (สแกนนิ่ง อิเล็กตรอน ไมโครกราฟ) ชั้นนอกของเมล็ดข้าวฟ่างจะเป็นชั้นหนาของเพอริคาร์พ ในสายพันธุ์ส่วนใหญ่จะประกอบด้วย 3 ชั้น คือ เอพิคาร์พ, มีโซคาร์พ และ เอนโดคาร์พ (รูปที่ 1 - 4) พันธุ์ข้าวฟ่างส่วนใหญ่จะมีสตาร์ชแกรนูล

(starch granules) อยู่ในชั้นเพอริคาร์พ ซึ่งแกรนูลที่มีขนาด 1 – 4 μm จะอยู่ในชั้น มีโซคาร์พ ส่วนชั้นเอนโดคาร์พ จะประกอบด้วยเซลล์ขวางและเซลล์แท่ง

รูปที่ 1-4 สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครกราฟของภาพตัดขวางเนื้อเมล็ดข้าวฟ่าง ขอบนอกของเมล็ดแสดงเอพิคาร์พ (EP), มีโซคาร์พ (M), เอนโดคาร์พ (EN), *inner integument* (I) และเซลล์อะลูโรน (AL) สังเกตเม็ดแป้งขนาดเล็กในชั้นมีโซคาร์พ (Hoseney, 1994)

เนื้อเมล็ดข้าวฟ่างอาจจะมีหรือไม่มี inner integument ที่มีรงควัตถุอยู่ก็ได้ (รูปที่ 1 - 5, 1 - 6) inner integument มักจะถูกเข้าใจผิดว่าคือ ชั้นเปลือกใน ซึ่งเปลือกใน คือ เปลือกนอกของเมล็ด ซึ่งเชื่อมติดกับด้านนอกของ inner integument เมล็ดข้าวฟ่างส่วนใหญ่จะมี testa (seed coat) ไม่มี inner integument ที่มีรงควัตถุ ซึ่งมักจะมีปริมาณแทนนินสูง

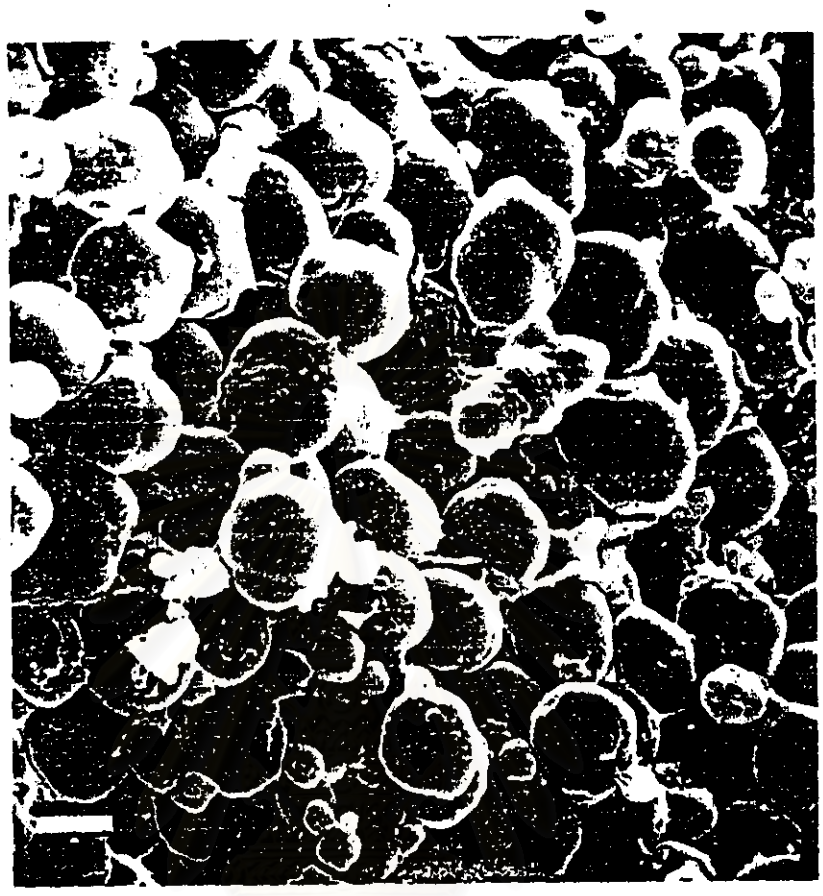
รูปที่ 1-5 สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครกราฟของภาพตัดขวางเนื้อเมล็ดข้าวฟ่าง ขอบนอกแสดงชั้นที่หนาของ inner integument ที่มีรงควัตถุ (I) แถบคือ 20 ไมครอน (Hoseney, 1994)

รูปที่ 1-6 สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครกราฟของภาพตัดขวางเนื้อเมล็ดข้าวฟ่าง เมล็ดข้าวฟ่างที่ไม่มี inner integument แสดงเปลือกหุ้มเมล็ด (SC) หรือ เปลือกใน (Hoseney, 1994)

เช่นเดียวกันกับธัญพืชอื่นๆ ชั้นอะลูโรน คือ ชั้นนอกสุดของเอนโดสเปิร์ม ในส่วนสตาร์ชเอนโดสเปิร์ม (starch endosperm) เซลล์ประกอบด้วยโปรตีนเข้มข้นสูงและพบเม็ดแป้งขนาดเล็กๆ อยู่ใต้ชั้นอะลูโรน โปรตีนส่วนใหญ่มีรูปร่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 – 3 μm (รูปที่ 1 – 7) เมล็ดข้าวฟ่างคล้ายกับเมล็ดข้าวโพดตรงที่มีทั้งเอนโดสเปิร์มใสและขุ่น (translucent and opaque endosperm) เอนโดสเปิร์มแบบขุ่นจะมีช่องว่างอากาศระหว่างเม็ดใหญ่ (รูปที่ 1 - 8) ทำให้มันมีลักษณะขุ่น

รูปที่ 1-7 สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครกราฟของภาพตัดขวางเนื้อเมล็ดข้าวฟ่าง ส่วนที่ใสของเนื้อเมล็ดแสดงปริมาณของเซลล์เอนโดสเปิร์ม สังเกตดูว่าไม่มีช่องว่างอากาศ เม็ดแป้งเป็นรูปหลายเหลี่ยมและรูปร่างของโปรตีน (P) (Hoseney, 1994)

คำว่า แข็ง และ อ่อน ถูกใช้ระบุบริเวณใสหรือขุ่นของเอนโดสเปิร์มของข้าวฟ่างตามลักษณะปรากฏของเนื้อเมล็ด (Hoseney,1994) เนื้อเมล็ดส่วนใหญ่เป็นฮอร์นีเอนโดสเปิร์ม แต่บางพันธุ์ก็มีส่วนฟลาวรีเอนโดสเปิร์มมากกว่า



รูปที่ 1-8 สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครกราฟของภาพตัดขวางของส่วนที่ขุ่นของเนื้อเมล็ดข้าวฟ่าง สังเกตช่องว่างอากาศและความมากน้อยของเม็ดแป้งรูปกลมแถบคือ 10 ไมครอน (Hoseney, 1994)

1.5 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่าง

องค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่างคล้ายกันกับข้าวโพดหลายประการ ความคล้ายคลึงกันนี้รวมไปถึงลักษณะของสตาร์ชและโปรตีน เช่นเดียวกับส่วนประกอบอื่นๆ โครงสร้างของคัพภะและเอนโดสเปิร์มใกล้เคียงกันกับข้าวโพด ต่างกันที่ข้าวฟ่างมีปริมาณไขมันต่ำกว่าแต่มีปริมาณโปรตีนและปริมาณแป้งสูงกว่า ค่าการวิเคราะห์องค์ประกอบของข้าวฟ่างแสดงในตารางที่ 1 – 1

ตารางที่ 1-1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่าง (Watson, 1967)

	Range (% dry basis)	Average (% dry basis)
Water (% wet basis)	8 - 20	15.5
Starch	60 - 77	74.1
Protein (N x 6.25)	6.6 - 16	11.2
Fat (CCl_4 extract)	1.4 - 6.1	3.7
Ash	1.2 - 7.1	1.5
Fibre (crude)	0.4 - 13.4	2.6
Pentoglycans	1.8 - 4.9	2.5
Sugar (as dextrose)	0.5 - 2.5	1.8
Tannin	0.003 - 0.17	0.1
Wax	0.2 - 0.5	0.3

องค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่างจากพันธุ์ที่ให้เมล็ด ข้าวฟ่างหวาน และข้าวฟ่างหญ้าได้มีการศึกษามานาน (Barham et al., 1946) พบว่ารำเมล็ดข้าวฟ่างมีปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.6 – 2.2 เปอร์เซ็นต์ ; น้ำมันแปรผันจาก 3.1 – 4.9 เปอร์เซ็นต์ โปรตีนมีค่าตั้งแต่ 11 – 15 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปเนื้อเมล็ดของข้าวฟ่างเมล็ดมีปริมาณแป้งสูงกว่าและปริมาณไขมันต่ำกว่าเมล็ดที่มีขนาดเล็กกว่าอย่างข้าวฟ่างหญ้าหรือข้าวฟ่างหวาน ในการศึกษาและวิเคราะห์ข้าวฟ่างชนิดธรรมดา และชนิดแวกซีจำนวนมากที่คัดเลือกโดย Horan และ Heider (1946) พบว่าไม่มีความแตกต่างเด่นๆ ในองค์ประกอบ โดยทั่วๆ ไปข้าวฟ่างเมล็ดถูกพัฒนาและปรับปรุงพันธุ์และได้พันธุ์ลูกผสมที่มีเมล็ดขนาดใหญ่ขึ้น มีเนื้อแป้งภายในเมล็ดมากขึ้นและมีปริมาณโปรตีนลดลง

ความแปรผันในองค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่าง อาจเนื่องจากความแตกต่างในองค์ประกอบของแต่ละส่วนที่ต่างกันของเมล็ดคือ รำ, คัพภะ หรือฮอร์นีเอนโดสเปิร์ม และฟลาวรีเอนโดสเปิร์ม Bidwell และคณะ (1922) ได้คัดแยกแต่ละส่วนของเมล็ดข้าวฟ่าง 3 พันธุ์ และวิเคราะห์ปริมาณและองค์ประกอบแต่ละพันธุ์ พบว่าปริมาณส่วนคัพภะแปรผันจาก 7 – 10 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อเมล็ด และรำตั้งแต่ 6 – 7 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฮอร์นีเอนโดสเปิร์มแตกต่างกัน

โดยอยู่ในช่วงตั้งแต่ 49 – 61 เปอร์เซ็นต์ พบว่าส่วนฮอร์นีเอนโดสเปิร์มมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด เอนโดสเปิร์มมีปริมาณสารสกัดด้วยอีเธอร์และเถ้าต่ำกว่าในส่วนอื่นๆ ส่วนเพอริคาร์พหรือรำเป็นส่วนที่มีเส้นใยมากที่สุดของเมล็ดและมีแป้งอยู่บ้างจำนวนหนึ่ง ผลที่ได้สอดคล้องกับที่รายงานโดย Hubbard และคณะ (1950) ที่ได้วิเคราะห์แต่ละส่วนของเมล็ดข้าวฟ่างจากข้าวฟ่างเมล็ดพันธุ์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 - 2

ตารางที่ 1-2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวฟ่างทั้งเมล็ดและแต่ละส่วน (Hubbard et al., 1950)

Component Part of Kernel	Proportion of Kernel	Ash, %	Ether Extract, %	Protein, %	Crude Fibre, %	Nitrogen-free Extract, %	Starch, %
Whole grain	100.0	1.89	3.47	13.99	1.93	78.72	68.52
Bran	5.5	3.07	4.33	7.08	15.36	70.16	1.60
Horny endosperm	54.7	0.56	0.15	15.11	0.69	83.49	72.24
Starch endosperm	28.7	0.71	0.28	8.91	0.81	89.29	82.5
Germ	11.1	9.46	19.92	20.84	9.11	40.67	1.53

ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของข้าวฟ่างเมล็ด ได้แก่ สภาพดินและอากาศ ในปีที่ฝนแล้งและอุณหภูมิสูงผลผลิตของข้าวฟ่างจะลดลงและปริมาณโปรตีนจะเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณแป้งและไขมันลดลง นอกจากนี้สถานที่เพาะปลูกก็มีผลต่อความผันแปรขององค์ประกอบของเมล็ดข้าวฟ่างเช่นกัน (Joseph and Jerrold,.1978)

1.5.1 สตาร์ชในเมล็ดข้าวฟ่าง

สตาร์ชของเมล็ดข้าวฟ่างเป็นองค์ประกอบ 68 – 73 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดจากการศึกษา 20 พันธุ์ของข้าวฟ่างเมล็ดและข้าวฟ่างหวาน สตาร์ชเป็นส่วนประกอบ 83 เปอร์เซ็นต์ของเอนโดสเปิร์ม 13.4 เปอร์เซ็นต์ของคัพภะและ 34.6 เปอร์เซ็นต์ของรำ โดยศึกษาจากเมล็ดข้าวฟ่างที่ถูกแยกแต่ละส่วนด้วยมือ (Hubbard et al. 1950) ความหนาแน่นของสตาร์ชข้าวฟ่างมี

ค่าอยู่ประมาณ 1.5 กรัมต่อมิลลิลิตร (Barham et al. 1946) คาร์โบไฮเดรตอื่นๆ นอกจากสตาร์ชพบอยู่เพียงจำนวนเล็กน้อย เม็ดสตาร์ชจากเมล็ดข้าวฟ่างคล้ายคลึงกับจากข้าวโพด แต่เส้นผ่าศูนย์กลางอาจถึง 35 ไมครอน ขณะที่สตาร์ชจากข้าวโพดมีขนาดประมาณ 30 ไมครอน สตาร์ชจากข้าวฟ่างมักพบว่ามีขนาดแกรนูลใหญ่ สตาร์ชจากข้าวฟ่างแบบแวกซีมีรูปร่างเหมือนกันกับสตาร์ชแบบธรรมดา แต่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าสตาร์ชแกรนูลจากข้าวฟ่างแบบธรรมดา

1.5.2 น้ำตาลในเมล็ดข้าวฟ่าง

ปริมาณน้ำตาลของเมล็ดข้าวฟ่างส่วนใหญ่อยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.9 – 2.0 เปอร์เซ็นต์ในพันธุ์ทั่วไป และทั้งเมล็ดมีปริมาณเพนโทแซนประมาณ 2 – 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในเพอริคาร์พหรือรำคล้ายกันกับข้าวโพด

1.5.3 โปรตีนในเมล็ดข้าวฟ่าง

Osborne (1924) ได้จำแนกชนิดของโปรตีนในเมล็ดธัญพืชรวมทั้งข้าวฟ่างออกได้ดังนี้

1.5.3.1 อัลบูมิน (albumins) ละลายในน้ำ

1.5.3.2 โกลบูลิน (globulins) ละลายในสารละลายเกลือ

1.5.3.3 โพรลามิน (prolamines) ละลายในสารละลายเอธานอล

1.5.3.4 กลูเตลิน (glutelins) ละลายในสารละลายด่างเจือจาง

โปรตีนของเอนโดสเปิร์มและโปรตีนของคัพภะของข้าวฟ่าง ได้รับความสนใจน้อย โปรตีนที่รู้จักกันในชื่อ kafirin (หรือ prolamines) สกัดได้จากเอนโดสเปิร์ม มีประมาณ 83 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนในเอนโดสเปิร์ม โปรตีนส่วนใหญ่ของข้าวฟ่างไม่สามารถถูกสกัดด้วยน้ำหรือสารละลายเกลือได้

จากตารางที่ 1 – 2 จะเห็นได้ว่าแต่ละส่วนของเมล็ด (คัพภะ, เอนโดสเปิร์ม และรำ) มีปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกัน และแต่ละส่วนก็มีชนิดของโปรตีนที่ต่างกันด้วย โพรลามินไม่มีในคัพภะและเปลือก แต่จะมีอยู่มากในเอนโดสเปิร์ม ดังนั้นโปรตีนในคัพภะจะมีคุณค่าทางโภชนาการสูงกว่าในเอนโดสเปิร์ม เพราะโพรลามินมีคุณค่าทางอาหารต่ำ เนื่องจากขาดกรด

อะมิโนที่สำคัญบางตัว และบางตัวก็มีในปริมาณที่ต่ำ (Virupaksha and Sastry, 1968) ส่วนชั้นอะลูโรนของเอนโดสเปิร์มมีปริมาณอัลบูมินและโกลบูลินสูง ซึ่งภายในอะลูโรนที่อยู่รอบนอกของฮอร์นีเอนโดสเปิร์มเป็นชั้นที่หนาแน่นของเซลล์ที่มีโพรลามินปริมาณสูง (Watson et al., 1955)

Virupaksha และ Sastry (1968) วิเคราะห์โปรตีนของเมล็ดข้าวฟ่าง 44 สายพันธุ์ที่คัดเลือกจากทั่วโลก และลูกผสม 5 พันธุ์ พบว่าปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงตั้งแต่ 8.5 – 18.2 เปอร์เซ็นต์

1.5.4 ไขมันของเมล็ดข้าวฟ่าง

ไขมันในข้าวฟ่างมีคุณค่าทางอาหารที่สำคัญต่อมนุษย์และสัตว์ แต่อาจต้องปรับปรุงเรื่องกลิ่นรสและการเหม็นหืน เมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์อาหาร ตัวทำละลาย 2 ชนิดถูกใช้สำหรับสกัดไขมันจากข้าวฟ่างคือ ตัวทำละลายไม่มีขั้วเช่น เฮกเซน จะสกัดไทรกลีเซอไรด์กับปริมาณเล็กน้อยของไฮโดรคาร์บอน, สเตอรอลเอสเทอร์, กรดไขมัน, มอนอกลีเซอไรด์, ไดกลีเซอไรด์และสเตอรอล ของผสมที่สกัดได้นี้จะถูกเรียกว่า ไขมันหรือน้ำมันทั้งหมด (crude fat or oil) ส่วนตัวทำละลายมีขั้ว เช่น นอร์มอล – บิวทิลแอลกอฮอล์ หรือ คลอโรฟอร์ม – เมทานอล จะสกัดกรดไขมันอื่นๆ, ฟอสฟอลิปิดต่างๆ , ไกลโคลิปิดต่างๆ และไลโปโปรตีน

การกระจายของไขมันไม่มีขั้วในเมล็ดข้าวฟ่าง 5 พันธุ์และแต่ละส่วนที่ถูกแยกด้วยมือเพื่อศึกษา พบว่าคล้ายคลึงกันกับข้าวโพด (Hubbard et al., 1950) ปริมาณน้ำมันเฉลี่ยของทั้งเมล็ดคือ 3.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณน้ำมันของเอนโดสเปิร์ม, คัพภะ และรำ คือ 0.6, 28.1, และ 4.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในเอนโดสเปิร์มคิดเป็น 13 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันในเนื้อเมล็ด ในคัพภะ 76 เปอร์เซ็นต์ และในรำ 11 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดด้วยปิโตรเลียมอีเธอร์จากรำข้าวฟ่างส่วนใหญ่ประกอบด้วยไขมากกว่าน้ำมัน ส่วนองค์ประกอบของไขมันเหมือนกันทั้ง 5 พันธุ์ ไขมันที่สกัดได้จากรำข้าวฟ่างมีคุณค่าสูงกว่ารำของธัญพืชชนิดอื่น เช่น ข้าวโพด และส่วนใหญ่ประกอบด้วยแวกซ์กึ่งแข็งที่อุณหภูมิห้อง เมล็ดข้าวฟ่างมีไขประมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมากกว่าข้าวโพด ข้าวฟ่างต่างจากข้าวโพดตรงที่ข้าวฟ่างมีปริมาณไขมันต่ำกว่า แต่มีปริมาณโปรตีนและปริมาณสตาร์ชสูงกว่า น้ำมันจากคัพภะของข้าวฟ่างเหมือนกันกับน้ำมันข้าวโพดในสมบัติทางเคมีและทางกายภาพแต่น้ำมันเมล็ดข้าวฟ่างอิ่มตัวน้อยกว่าน้ำมันข้าวโพดเล็กน้อย

1.5.5 ฟีนอลิก (phenolics)

สารประกอบฟีนอลิก ช่วยส่งเสริมกลิ่นรสและสีของอาหารคนและอาหารสัตว์ที่ประกอบด้วยข้าวฟ่างและอีกประการหนึ่ง อาจจะมีผลต่อการย่อยและเป็นพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในข้าวฟ่างหวาน สารประกอบฟีนอลิกในเมล็ดข้าวฟ่าง ได้แก่

1.5.5.1 รงควัตถุ ข้าวฟ่างที่ต่างพันธุ์กันจะมีสีเปลือกที่ต่างกันด้วย ขึ้นอยู่กับรงควัตถุพวกฟีนอลิก สีนี้อาจติดไปกับเนื้อเมล็ดที่แตกหัก (grits) ระหว่างการโม่แห้ง และติดไปกับสตาร์ชและกลูเทนระหว่างการโม่เปียก รงควัตถุพวกฟีนอลิกอาจเป็นสาเหตุให้เมล็ดและผลิตภัณฑ์มีรสขมและไม่อร่อย

1.5.5.2 แทนนิน เมล็ดข้าวฟ่างพันธุ์ที่มีเปลือกหุ้มเมล็ดสีน้ำตาล จะมีปริมาณแทนนินที่สูง มีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.3 - 2.0 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับพันธุ์ทั่วไปซึ่งจะมีปริมาณ 0.2 – 0.4 เปอร์เซ็นต์ เชื่อว่าระดับแทนนินที่สูงมีผลต่อรสชาติของอาหารสัตว์ และอาจจะมีผลในการป้องกันเชื้อรา

1.5.5.3 รงควัตถุที่ไม่ใช่พวกฟีนอลิก พันธุ์ข้าวฟ่างที่พบในไนจีเรียและอินเดีย มีเอนโดสเปิร์มสีเหลืองซึ่งมีแคโรทีนอยด์มากพอใช้ เมล็ดข้าวฟ่างพันธุ์ทั่วไปมีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดประมาณ 1.5 พีพีเอ็ม ส่วนพันธุ์ลูกผสมที่มีเอนโดสเปิร์มสีเหลืองมีปริมาณสูงถึง 10 พีพีเอ็ม (Blessin et al., 1962)

1.5.5.4 สารพิษและสารยับยั้งคุณค่าอาหาร Hulse และคณะ (1980) รายงานว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดความเป็นพิษและยับยั้งคุณค่าทางอาหารที่พบในข้าวฟ่างแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ สารที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติในพืชนั้นๆ และมีผลมาจากปฏิกิริยาทางสรีรวิทยาของมันเอง ได้แก่ พอลิฟีนอล (มักถูกเรียกว่า แทนนิน), ไฟเทต, ไซยาโนเจนิกไกลโคไซด์ เป็นต้น และสารที่ถูกผลิตโดยจุลินทรีย์หรือปรสิตอื่นๆ ที่อยู่บนเมล็ดภายใต้สภาวะหนึ่งๆ เช่น อะฟลาทอกซิน พบว่าข้าวฟ่างจะมีปริมาณสารที่ไม่เป็นที่ต้องการเหล่านี้สูงกว่าในข้าวโพด, ข้าวสาลี, ข้าวโอ๊ต หรือ ข้าวบาร์เลย์

1.5.6 วิตามินและแร่ธาตุจากเมล็ด

องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของวิตามินในเมล็ดข้าวฟ่าง เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพด มีบางตัวที่ใกล้เคียงกันแต่บางตัวในข้าวฟ่างก็มีมากกว่า เช่น แพนทีนอล, กรดนิโคทินิก, ไบโอทิน เป็นต้น ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวฟ่างและส่วนต่างๆ ของพืชขึ้นอยู่กับความผันแปร

ต่างๆ เช่น สายพันธุ์, สภาพดิน, อุณหภูมิ, ปริมาณฝนและปุ๋ย ปริมาณเถ้าของข้าวฟ่าง ถูกรายงานว่ามีค่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1.2 – 2.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง 69 เปอร์เซ็นต์อยู่ในคัพภะ, 21 เปอร์เซ็นต์อยู่ในเอนโดสเปิร์ม และ 11 เปอร์เซ็นต์อยู่ในรำ ข้าวฟ่างส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ที่ไม่มีวิตามินเอ (Matz, 1991)

1.5.7 เอนไซม์ของข้าวฟ่าง ได้แก่

อะไมเลส, ออกซิเดทีฟเอนไซม์, ไฮโดรเลสของไซยาโนเจนิกไกลโคไซด์ เป็นต้น (Joseph and Charles, 1970)

1.5.8 สารอินทรีย์อื่นๆ ในข้าวฟ่าง ได้แก่

กรดไฟทิก, สารควบคุมการเจริญเติบโต เช่น ออกซิน และกรดนิวคลิอิก เป็นต้น

1.6 การโม่ข้าวฟ่าง

หน่วยปฏิบัติการลดขนาดของของแข็งโดยการบดหรือการโม่เป็นปฏิบัติการที่สำคัญในอุตสาหกรรม ทำให้เกิดเกณฑ์หลายประการของเทคโนโลยีเกี่ยวกับการลดขนาดแป้ง วัตถุดิบต้องถูกลดขนาดจากที่เป็นก้อนจนเป็นผงละเอียดที่สามารถวัดขนาดได้ บางครั้งผงที่ได้มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน ซึ่งการลดขนาดให้ได้ดังนั้นไม่สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือเพียงชนิดเดียว แต่จะต้องใช้เครื่องมือชนิดต่างๆ กันเป็นลำดับ เครื่องมือสำหรับการทำให้ก้อนวัตถุขนาดใหญ่แตกหักเรียกว่า เครื่องบด (crushers) และเครื่องมือสำหรับวัตถุขนาดเล็ก เรียกว่า เครื่องโม่ ซึ่งช่วงที่คาบเกี่ยวกันจะใช้วิธีบดละเอียดหรือโม่หยาบก็ได้ หน่วยปฏิบัติการการบดโดยทั่วไปไม่มีปัญหาอะไร เพราะพลังงานที่ใช้และค่าใช้จ่ายต่อตันต่อชั่วโมงไม่สูง ข้อกำหนดสำคัญสำหรับเครื่องบดคือข้อกำหนดในทางกลไก นั่นคือต้องแข็งแรง เพราะต้องใช้ความเค้นสูงเพื่อบดวัตถุที่เป็นก้อนขนาดใหญ่ อีกประการหนึ่ง การบดละเอียดใช้พลังงานสูงและอาจจะนำไปสู่การสึกหรอเนื่องจากการขัดสีที่สูง ดังนั้นการวิจัยโดยทั่วๆ ไปส่วนใหญ่จะสนใจปัญหาหลักทางวิธีและเทคนิคเกี่ยวกับการบดละเอียด (Austin, 1984)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6.1 การร่อน (sieving)

การวัดขนาดอนุภาคโดยการร่อน เป็นวิธีที่เร็วที่สุดและง่ายที่สุดสำหรับการแบ่งขนาดอนุภาค ตะแกรงร่อนจะมีรูเปิดด้านล่างซึ่งมีขนาดแน่นอนและมีขนาดเท่ากันเป็นสี่เหลี่ยมหรือกลมก็ได้ สามารถแยกขนาดของผงตัวอย่างได้ตามขนาดรูเปิดของตะแกรง อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่ารูเปิดจะค้างอยู่บนตะแกรง ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูเปิดจะลอดผ่านรูตะแกรงออกไป

1.6.2 การโม่แห้งธัญพืช (dry milling of cereals)

การโม่เป็นวิธีการเก่าแก่ที่มนุษย์รู้จักมาตั้งแต่ก่อนการบันทึกประวัติศาสตร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์จากธัญพืชเป็นที่ยอมรับมากขึ้นในการนำไปใช้เป็นอาหาร การโม่โดยทั่วไปทำให้เกิดการแยกส่วนที่ช่างโม่แป้งเรียกว่า รำ ซึ่งประกอบด้วย เพอริคาร์พ, เปลือกหุ้มเมล็ด, เอพิเดอร์มิส และชั้น อะลูโรน รวมทั้งคัพภะซึ่งมักจะถูกแยกออกเนื่องจากมีน้ำมันสูงซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์เหม็นหืนเร็วซึ่งลดความน่ารับประทาน รำและคัพภะมีปริมาณโปรตีน, แร่ธาตุ, วิตามินบี, และไขมันสูง แต่ผลิตภัณฑ์จากการโม่จะมีปริมาณดังกล่าวน้อยกว่า ดังนั้นผลของการโม่ทำให้ความน่ารับประทานเพิ่มขึ้นแต่คุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ถูกลดลง ซึ่งเราใช้การโม่แห้งเพื่อพยายามแยกแต่ละส่วนของเมล็ดให้สะอาดที่สุดเท่าที่จะทำได้

นอกจากทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับมากขึ้นและเพิ่มความสามารถในการเก็บรักษาได้นานขึ้น ผลิตภัณฑ์บางชนิดการบดยังต้องสนใจในเรื่องขนาดอนุภาคที่ต้องการ เช่น เอนโดสเปิร์มของข้าวเจ้า หรือข้าวบาร์เลย์ที่ต้องยังคงเหลือให้เป็นเม็ดใหญ่, ข้าวสาลีและข้าวไรน์ต้องเป็นแป้งละเอียด เป็นต้น ดังนั้นช่างโม่แป้งต้องใช้ขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ตามต้องการ นอกจากนี้ธัญพืชยังสามารถถูกโม่เปียกได้เช่นกัน โดยทั่วไปจุดประสงค์ของการโม่เปียกเพื่อให้ได้การแยกที่สะอาดของรำ และ/หรือคัพภะจากเอนโดสเปิร์มและรวมทั้งเพื่อการแยกเอนโดสเปิร์มออกตามองค์ประกอบทางเคมีเป็นสตาร์ชและโปรตีน

1.6.3 การโม่แห้งข้าวฟ่าง (sorghum dry milling)

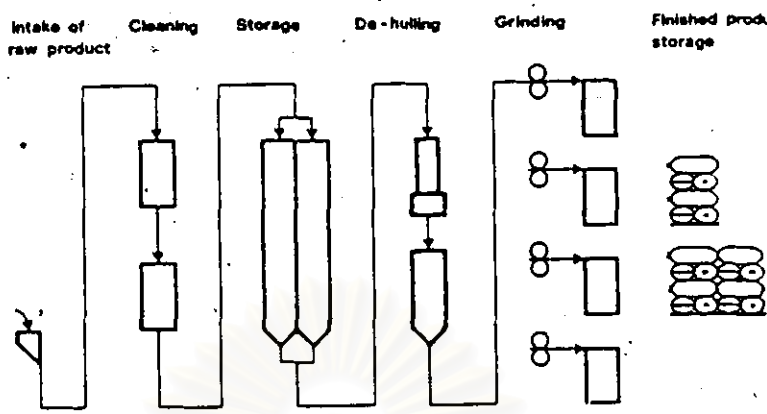
วัตถุประสงค์ในการโม่แห้งเมล็ดข้าวฟ่างคือ เพื่อแยกเอนโดสเปิร์ม, คัพภะ และรำออกจากกันและให้ได้ปริมาณเอนโดสเปิร์มมากๆ มีหลายๆ เป้าหมายที่เอนโดสเปิร์มที่แยกได้ต้องอยู่ในรูปเมล็ดที่ขัดเปลือกแล้วแต่ยังไม่ได้โม่ และให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแป้งต่ำ ผลพลอยได้ของการโม่คือ รำ, คัพภะ และส่วนผงละเอียด ซึ่งนำไปใช้ในอาหารสัตว์ ในปี 1969 มีโรงงานโม่แห้งข้าวฟ่าง 6 โรงงาน อยู่ในอเมริกา 3 แห่ง ผลิตภัณฑ์ที่แยกคัพภะออกแล้วมีเส้นใย (fibre), ไขมัน, และเถ้าต่ำ ซึ่งระดับของความบริสุทธิ์ของผลิตภัณฑ์ข้าวฟ่างจะต่ำกว่าเมื่อเทียบกับธัญพืชชนิดอื่น รายละเอียดของกระบวนการโม่ไม่เคยตีพิมพ์ไว้ (Kent, 1982)

ในระบบการโม่แห้งที่ทันสมัยมีจุดประสงค์เพื่อแยกเมล็ดออกเป็น 3 ส่วน คือ รำ, คัพภะและเอนโดสเปิร์ม ส่วนเอนโดสเปิร์มที่แยกได้มีค่าสูงในทางเศรษฐกิจ การแยกส่วนเพอริคาร์พออกจะช่วยลดปริมาณเส้นใยและเถ้าให้ต่ำลง และช่วยลดสีของอาหารหรือสีของแป้ง การกำจัดคัพภะและอะลูโรน จะลดปริมาณน้ำมัน ทำให้เก็บเอนโดสเปิร์มที่ถูกโม่ได้นานขึ้น

คำว่า รำ (bran) ใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งไม่ได้หมายถึงส่วนจำเพาะใดๆ ทางกายภาคของเมล็ด ช่างโม่แห้งข้าวฟ่างหมายรวมถึง เพอริคาร์พ, เปลือกหุ้มเมล็ดและชั้นอะลูโรนไว้ในคำว่ารำ การให้ความชื้นกับเพอริคาร์พเพิ่มความสามารถในการแยกรำให้ได้ชิ้นใหญ่ การปรับสภาพความชื้นของเอนโดสเปิร์ม ทำให้มันอ่อนตัวลงและทำให้ได้ขนาดและชนิดอนุภาคของผลิตภัณฑ์จากการโม่ตามต้องการ

การโม่ที่ทันสมัยประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ (รูปที่ 1 - 9)

- การป้อนวัตถุดิบ
- กระบวนการทำความสะอาด
- การเก็บรักษา
- กระบวนการกำจัดเปลือก
- กระบวนการโม่
- การเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สุดท้าย



Scheme for processing of millet and sorghum

รูปที่ 1-9 แผนผังสำหรับกระบวนการแปรรูปของมิลเลตและข้าวฟ่าง (Wyss, 1977)

ข้าวฟ่างบางพันธุ์ ผิวจะติดรวมกับเอนโดสเปิร์มมาก ซึ่งการแยกเปลือกเมล็ดแบบนี้จะยากมาก เมล็ดทุกชนิดมีความสามารถในการแยกเปลือกไม่เหมือนกัน ข้าวฟ่างชนิดที่มีสีขาวหรือสีเหลืองสามารถแยกเปลือกได้ง่ายกว่าชนิดสีแดง อัตราการสกัดจะลดลงเมื่อการแยกเปลือกยากขึ้น ในกระบวนการโม่คุณภาพแป้งถูกตรวจสอบด้วยผลของการแยกเปลือก (Wyss, 1977) การแยกส่วนเพอริคาร์พออกจะช่วยลดปริมาณเส้นใยและเถ้าให้ต่ำลงและช่วยลดสีของอาหารหรือสีของแป้งข้าวฟ่าง (Hahn, 1970) Perten (1977) ได้รายงานว่า F.A.O ได้แนะนำว่าการโม่ข้าวฟ่าง ควรกระทำเป็น 2 ขั้นตอนคือ การขัดเปลือกเพื่อแยกรำ และการบดเมล็ดที่ขัดเปลือกแล้ว

1.6.3.1 การทำความสะอาดเมล็ด (Cleaning)

กระบวนการโม่แห้ง เริ่มต้นด้วยการทำความสะอาดเมล็ดเพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ต้องการ เช่น เศษหิน, เศษไม้, หิน, เมล็ดพืชอื่นที่ปะปนอยู่และเมล็ดที่แตกหักเพื่อให้ได้เมล็ดที่เหมาะสมสำหรับการโม่ (Lockwood, 1960) โดยการใช้เครื่องร่อนแบบสั่น (vibratory sieves), เครื่องแยกด้วยลม (aspirator) และเครื่องแยกหิน (dry stoners:แยกตามความถ่วงจำเพาะ) เมล็ดที่ทำความสะอาดแล้วอาจถูกปรับสภาพโดยการเติมน้ำเพื่อทำให้เอนโดสเปิร์มอ่อนนุ่ม

1.6.3.2 pearling or decortication สามารถทำได้ด้วย barley pearler, rice huller หรือ เครื่องมือในแนวตั้งที่มีจานขัด วัตถุประสงค์คือขัดผิวนอกของเมล็ดโดยให้เมล็ดที่ได้มีการแตกหักน้อย อัตราการขัดประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ถูกแนะนำให้ใช้เพื่อให้ได้การยอมรับที่ดีจากผู้บริโภค ความแข็งของเมล็ดที่ป้อนเข้าไปลดลงมีผลให้มีการแตกหักของเนื้อเมล็ดสูงขึ้น และปริมาณไขมันและเถ้าสูงขึ้น F.A.O. แนะนำว่าควรจะขัดเปลือกที่มีปริมาณความชื้นตามธรรมชาติของเมล็ด อย่างไรก็ดี ในอินเดียเมล็ดจะถูกปรับสภาพด้วยน้ำประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ ก่อนการขัดเปลือก (Desikachar, 1977) รำและคัพภะ ที่ถูกขัดออกมาจะถูกแยกออกด้วยการร่อนด้วยตะแกรงและการแยกด้วยลม อนุภาคละเอียดที่ถูกแยกออกจากเมล็ดจะถูกเป่าด้วยลมผ่านตะแกรงที่ด้านล่างของเครื่องไปยังถาดรอง และถูกปล่อยออกไปเป็นผลพลอยได้ (by – product)

องค์ประกอบของเมล็ดที่ถูกขัดเปลือกแสดงการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของเนื้อเมล็ดที่ถูกขัดออกไป ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ความเข้มข้นของเส้นใยในชั้นด้านนอก โปรตีนและเส้นใยในชั้นอะลูโรนและเพอริเฟอรอลเอนโดสเปิร์ม ปริมาณโปรตีนและน้ำมันของเมล็ดที่ถูกขัดเปลือกมีค่าสูงสุดเมื่อประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดถูกขัดออกไป เมล็ดควรจะทำความสะอาดก่อนและแยกขนาดเมล็ดก่อนการขัดเปลือก ระดับของเปลือกที่ถูกแยกออกมาและระดับของผลผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับการปรับสภาพความชื้นและอัตราการป้อน (Kent, 1982)

1.6.3.3 การบด (pulverizing) การบดเมล็ดที่ขัดเปลือกแล้วเพื่อลดขนาดให้ได้ขนาดอนุภาคตามต้องการ และสามารถทำได้โดยใช้การบดแบบลูกกลิ้งเหมือนกับการโม่แป้งข้าวสาลี หรือใช้ impact mill แป้งละเอียดสามารถได้จากการใช้ attrition mill (การขัดสี) หรือ hammer mill ที่มีตะแกรงละเอียด การโม่ด้วยลูกกลิ้ง (roller milling) เป็นการโม่ด้วยเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง โดยใช้ลูกกลิ้งแบบมีร่องและแบบเรียบ Shoup และคณะ (1969) รายงานว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดที่สกัดได้ด้วยการโม่ประกอบด้วยแป้งที่แตก 12 เปอร์เซ็นต์, แป้งที่ลดขนาดได้ละเอียด 29 เปอร์เซ็นต์, ส่วนที่ยังไม่ถูกโม่ขนาดกลาง 34 เปอร์เซ็นต์, ขนาดหยาบ 5 เปอร์เซ็นต์ รำและคัพภะ 19 เปอร์เซ็นต์ แป้งที่แตกส่วนใหญ่ได้จากฟลาวรีเอนโดสเปิร์มซึ่งมีปริมาณโปรตีนต่ำ ส่วนอื่นๆ ได้จากฮอร์นีเอนโดสเปิร์ม

1.6.3.4 การแยกคัพภะ (de – germing)

ในการโม่ข้าวฟ่างถ้าแยกคัพภะออกให้สมบูรณ์เท่าที่จะเป็นไปได้จะเป็นประโยชน์มาก การแยกคัพภะอาจใช้วิธีเดียวกับข้าวโพด หรือใช้เครื่องมือพิเศษที่ประกอบด้วยแกนหมุนแปรงลวดรอบๆ กระบอกที่มีรู คัพภะที่ถูกแยกออกจะแยกออกจากเมล็ดข้าวฟ่างที่ขัดเปลือกแล้วแต่ยังไม่ได้โม่ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน หรือแยกจากการโม่หรือบดเนื้อเมล็ดที่แยกคัพภะแล้ว โดยอาศัยความแตกต่างของการลอยน้ำ หรือบนโต๊ะแยกขนาดตามความถ่วงด้วยลม (air – gravity table) (การแยกด้วยความถ่วงจำเพาะ) การปรับสภาพความชื้นมีความจำเป็นถ้าจะให้ได้คัพภะที่ยังคงรูปร่างอยู่ การแยกแต่ละส่วนมักกระทำโดยการร่อน

1.6.3.5 การบดละเอียดและการแยกด้วยลม (fine grinding และ air classification)

เทคนิคใหม่สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบเดียวกันมากขึ้นและให้ได้ผลิตภัณฑ์โม่แห้งที่มีองค์ประกอบโปรตีนและสตาร์ชเข้มข้น ทำได้โดยการรวมการบดละเอียดกับการแยกด้วยลม เอนโดสเปิร์มของข้าวฟ่างสามารถถูกบดละเอียดและถูกแยกด้วยลมเพื่อให้ได้แต่ละส่วนของผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโปรตีนแปรผันในช่วงกว้าง แป้งที่ได้จากฟลาวรีเอนโดสเปิร์มมีปริมาณโปรตีน 5.7 – 7.0 เปอร์เซ็นต์ ตอบรับได้ดีต่อการแยกด้วยลม และแยกออกเป็นแต่ละส่วนที่มีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วง 3.5 – 16.6 เปอร์เซ็นต์ เมล็ดข้าวฟ่างที่ขัดเปลือกแล้วแต่ยังไม่ได้โม่จากฮอร์นีเอนโดสเปิร์ม มีปริมาณโปรตีน 9.2 – 11.9 เปอร์เซ็นต์ ถูกบดละเอียดและถูกแยกด้วยลม ได้แต่ละส่วนของผลผลิตมีปริมาณโปรตีน 6.8 – 18.9 เปอร์เซ็นต์ (Stringfellow and Peplinski, 1966)

1.6.3.6 การทำให้สุกหรือทำให้เกิดเจล (cooking หรือ pregelatinization)

สำหรับการใช้ประโยชน์บางประการ จำเป็นต้องทำให้แป้งหรือเมล็ดที่ขัดเปลือกแล้วแต่ยังไม่ได้โม่สุกเสียก่อน การทำให้เม็ดสตาร์ชสุกอาจทำให้สุกบางส่วนหรือทำให้เกิดเจลโดยสมบูรณ์ ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสามารถในการดูดซับน้ำเพิ่มขึ้น กระจายตัวในของเหลวดีขึ้น และย่อยได้ดีกว่าเมื่อใช้เป็นอาหารเทียบกับผลิตภัณฑ์จากเมล็ดดิบ นอกจากนี้การทำให้สุกก่อนจะเป็นการสเตอไรล์อาหารและยับยั้งเอนไซม์ ทำให้อายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์สูงขึ้น การทำให้แป้งเกิดเจลทำได้โดยการทำแห้งแบบลูกกลิ้งแป้งข้าวฟ่างกึ่งเหลว 50 เปอร์เซ็นต์ หรือโดยการทำให้แป้งสุกด้วยการพ่นไอน้ำหรือโดยการโม่เมล็ดข้าวฟ่างที่ขัดเปลือกแล้วแต่ยังไม่ได้โม่ด้วยลูกกลิ้งร้อน ซึ่งสามารถทำให้เป็นเจลและทำให้แห้งได้ในเวลาเดียวกัน

1.6.3.7 ผลิตภัณฑ์ของการโม่แห้งข้าวฟ่าง ผลผลิตที่ได้รับในการโม่แห้งข้าวฟ่างประมาณ 60 – 90 เปอร์เซ็นต์ องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากการโม่แห้งข้าวฟ่างในทางการค้าแสดงในตารางที่ 1 - 3

ตารางที่ 1-3 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ข้าวฟ่างที่ถูกโม่แห้ง (% โดยน้ำหนักแห้ง) (Hahn, 1969)

Product	Protein (%)	OIL (%)	Fibre (%)	Ash (%)
Whole sorghum	9.6	3.4	2.2	1.5
Pearled sorghum	9.5	3.0	1.2	1.2
Flour, crude	9.5	2.5	1.2	1.0
Flour, refined	9.5	1.0	1.0	0.8
Brewers' grits	9.5	0.7	0.8	0.4
Bran	8.9	5.5	8.6	2.4
Germ	15.1	20.0	2.6	8.2
Hominy feed	11.2	6.5	3.8	2.7

1.6.4 tempering หรือ conditioning

การปรับสภาพความชื้นประกอบด้วย การเติมน้ำในเมล็ดแห้งและพักเมล็ดไว้ระยะเวลาหนึ่งก่อนจะถูกโม่ จุดประสงค์ของการปรับสภาพความชื้นคือ เพื่อทำให้รำเหนียว ซึ่งจะป้องกันไม่ให้แตกเป็นชิ้นเล็กๆ ระหว่างการโม่ และเพื่อทำให้เอนโดสเปิร์มอ่อนลง ทำให้บดง่ายขึ้น ในข้าวสาลีปริมาณน้ำที่ถูกเติมลงไปแปรผันไปตามปริมาณความชื้นของมันและความแข็งของเมล็ด เวลาที่ใช้สำหรับให้น้ำซึมเข้าไปในเมล็ดก็แปรผันตามความแข็งของเมล็ด และอัตราการนำน้ำเข้าไปก็แปรผันไปตามสายพันธุ์ที่แตกต่างกันแต่มีวิธีการเหมือนกัน ในการปรับสภาพความชื้นเมล็ดไม่มีอุปสรรคทางด้านกายภาพต่อการดูดซึมน้ำเกิดขึ้นในชั้นรำ ชั้นนอกของเอนโดสเปิร์มโดยเฉพาะเซลล์ที่อยู่ใต้อะลูโรนปรากฏว่าเป็นบริเวณที่ควบคุมอัตราการนำน้ำเข้า เอนโดสเปิร์มที่อัดตัวกันแน่น (ไม่มีช่องว่างอากาศ) พบว่านำน้ำเข้าไปได้ช้า ปริมาณโปรตีนและความแข็งของเมล็ด

มีผลรองลงมาต่อการนำน้ำเข้า ปริมาณความชื้นเริ่มต้นที่ต่ำมีผลให้การนำน้ำเข้าได้ช้ากว่ารำที่มีปริมาณความชื้นสูงจะเหนียวและยังคงอยู่เป็นชิ้นใหญ่ๆ ระหว่างการโม่ ซึ่งช่วยทำให้แยกมันออกได้ง่าย ผลของน้ำต่อเอนโดสเปิร์มคือทำให้อ่อนลงและโม่ได้ง่ายขึ้น สันนิษฐานได้ว่าน้ำทำให้เกิดการแตกหรืออ่อนลงของพันธะระหว่างโปรตีนกับสตาร์ช ซึ่งมีผลต่อความแข็งของเมล็ด

คำว่า conditioning หมายความว่า การใช้ความร้อนร่วมกับน้ำเพื่อทำให้เอนโดสเปิร์มอ่อนลง เนื่องจากการดูดซึมน้ำเข้าไปในเนื้อเมล็ดเกิดขึ้นโดยการแพร่และสามารถเพิ่มอัตราได้ด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น อย่างไรก็ดี กลูเตนอาจถูกทำลายได้ด้วยความร้อน โดยทั่วไปจะไม่ใช้อุณหภูมิสูงเกิน 50 องศาเซลเซียส

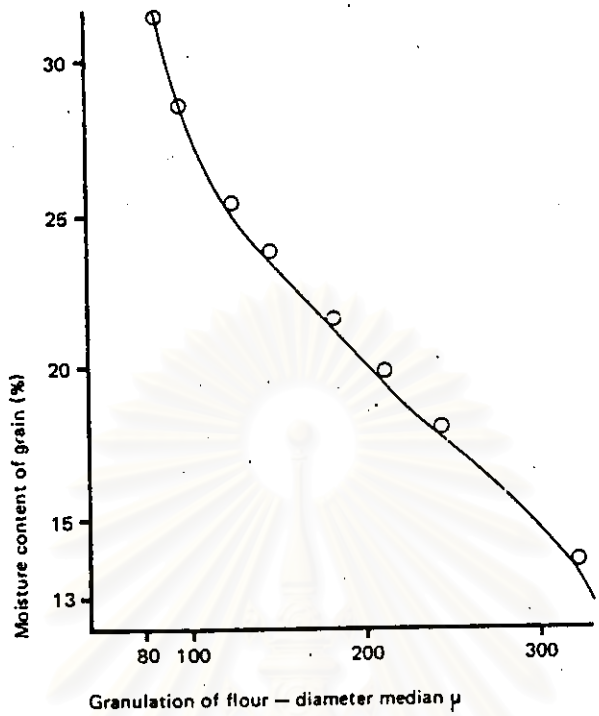
ในการโม่นั้นเมล็ดพืชจะถูกปรับสภาพความชื้นให้เหมาะสมต่อการโม่และเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามความต้องการ เช่น การเพิ่มความชื้น การบ่ม หรือการให้ความร้อน ตัวอย่างเช่น การปรับสภาพความชื้นเมล็ดข้าวสาลีก่อนโม่ (Bradbury et al., 1960) ซึ่งจะทำให้ส่วนเพอริคาร์พ หลุดออกจากส่วนเอนโดสเปิร์มได้ง่าย สำหรับการปรับสภาพความชื้นของเมล็ดข้าวฟ่างก่อนโม่นั้นยังไม่มีการศึกษากันแพร่หลายนัก แต่ก็คาดว่าจะให้ผลเช่นเดียวกันกับข้าวสาลี (Larson, 1959) ได้มีการศึกษาความแข็งของ pearl millet และเมล็ดข้าวฟ่าง พบว่าการปรับสภาพความชื้นก่อนการโม่ จะทำให้แต่ละส่วนที่แยกจากกันมีขนาดใหญ่ และแยกออกจากกันได้ง่ายกว่าเมล็ดที่ไม่ได้ปรับสภาพความชื้น (De Francisco, Varriano-Marston and Hoseney, 1982b) การปรับสภาพความชื้นมีความมุ่งหมายโดยทั่วไปเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการโม่, จุดประสงค์หลักคือลดการแตกหักของเมล็ดระหว่างการขัดเปลือก หรือปรับปริมาณผลผลิตและลดปริมาณเส้นใยในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (Rasper, 1977)

Perten (1977) ได้รายงานว่าชาวอัฟริกันไม่ได้ใช้การโม่มิลเลตและข้าวฟ่างเพื่อการบริโภคในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งมิลเลตและข้าวฟ่างเป็นอาหารสำคัญ แต่เป็นงานที่ทำสืบเนื่องกันมาสำหรับผู้หญิง โดยทำการบดมิลเลตและข้าวฟ่างให้ได้แป้งในครกไม้ ความสามารถประมาณ 1 – 1.5 กิโลกรัม ของแป้งต่อชั่วโมงต่อผู้หญิง 1 คน ที่อัตราการสกัดประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ด แป้งที่ได้จะมีความชื้นสูง ปริมาณความชื้นประมาณ 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ และถ้าอากาศร้อน (สูงกว่า 40 องศาเซลเซียส) คุณภาพการเก็บรักษาแป้งจะถูกจำกัด

ส่วนอุตสาหกรรมการโม่ในเซเนกัล(Senegal), ชาด (Chad) และซูดาน (Sudan) ได้พยายามผลิตแป้งมิลเลตและแป้งข้าวฟ่าง โดยใช้เครื่องมือและเทคโนโลยีการโม่ข้าวสาลี แต่แป้งที่ได้พบว่าไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และค่าใช้จ่ายในการผลิตก็สูง (ผลผลิตต่ำ) ดังนั้น UNDP/FAO จึงได้ศึกษาความเป็นไปได้ของกระบวนการในระดับอุตสาหกรรมของมิลเลตและข้าวฟ่างของโครงการที่ไนเจอร์ เซเนกัลและซูดาน พบว่า เทคโนโลยีการโม่ข้าวสาลีไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการโม่มิลเลตและข้าวฟ่าง ด้วยเหตุที่รำข้าวสาลีถูกทำให้อ่อนลงเพื่อต้านทานการบด และยอมให้ตัวมันเองถูกแยกออกโดยการแบ่งเป็นอนุภาคหยาบ ส่วนเปลือก, รำและส่วนคัพภะของมิลเลตและข้าวฟ่างถูกบดกลายเป็นผงละเอียดได้ง่าย ซึ่งยากที่จะแยกออกจากแป้งละเอียด ดังนั้นควรทำจัดชั้นนอกสุด (เพอริคาร์พ) ของมิลเลตและข้าวฟ่างโดยกระบวนการบดแยกเปลือกก่อนการบดเอนโดสเปิร์มให้เป็นแป้งจะเป็นวิธีที่ดีกว่า โดยปริมาณเถ้าและไขมันที่ได้เป็นเครื่องวัดคุณภาพของแป้ง (แป้งสาลีที่ผ่านการสกัดต่ำโดยทั่วไปมีเถ้าและไขมันต่ำ) ผลที่ได้รับจากแป้งมิลเลตและแป้งข้าวฟ่างแสดงให้เห็นว่าส่วนที่ละเอียดมีปริมาณเถ้าและปริมาณไขมันสูงกว่าส่วนที่หยาบ ซึ่งตรงกันข้ามกับข้าวสาลี คุณภาพที่ดีของแป้งมิลเลตหยาบถูกยืนยันโดยการทดสอบด้วยการทำขนม

การบด (grinding) มิลเลตและข้าวฟ่างที่ถูกแยกเปลือกมีเพียงปัญหาทางเทคนิคที่จะบดเมล็ดให้มีขนาดตามต้องการ เครื่องมือโม่ข้าวสาลีสามารถใช้ผลิตแป้งหยาบได้ แต่แป้งละเอียดที่จำเป็นต่อการทำขนมปังหรือบิสกิตจะได้ดีกว่าจากการใช้เครื่องบดแบบขัดสีหรือแฮมเมอร์มิลกับตะแกรงละเอียด ปริมาณความชื้นของเมล็ดมีอิทธิพลต่อขนาดแป้ง เมล็ดที่มีปริมาณความชื้นสูงถูกบดด้วยแฮมเมอร์มิลให้อนุภาคละเอียดมากกว่าบดเมล็ดแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 1 - 10

การโม่แห้งของข้าวฟ่างแตกต่างจากข้าวโพดเนื่องจากขนาดที่เล็กของเมล็ดและคัพภะ การโม่ทำได้โดยการใช้โม่แบบลูกกลิ้งหรือกระบวนการที่ต้องใช้ร่วมกันของการขัดเปลือกเพื่อแยกรำ และเครื่องบดแบบ impact ตามด้วยการแยกคัพภะด้วยลมและความถ่วงใน



รูปที่ 1-10 ผลของปริมาณความชื้นต่อขนาดแกรนูลของแป้งที่บดด้วย hammer mill (ตะแกรงขนาด 1.0 มิลลิเมตร) (Perten, 1977)

แต่ละกระบวนการ (Hahn, 1970) นอกจากนี้การลดขนาดเมล็ดที่ขัดเปลือกแล้วแต่ยังไม่ได้โม่มีผลทำให้แป้งแต่ละส่วนมีปริมาณโปรตีนแตกต่างกัน ส่วนที่ได้จากฮอร์นีเอนโดสเปิร์มมีโปรตีนสูงที่สุด แป้งข้าวฟ่างที่บดละเอียดแล้วตอบรับต่อการแยกด้วยลมได้ดี แยกส่วนที่มีโปรตีนสูงได้

ในปี 1969 Rooney และ Sullins ได้ทดลองใช้ abrasive milling เพื่อผลิตข้าวฟ่างที่ขัดเปลือกออกแล้วสำหรับใช้เป็นอาหารทั้งเมล็ดเหมือนกับข้าวเจ้าซึ่งเมล็ดที่ขัดเปลือกแล้ว จะต้องไม่แตกหักเสียหายด้วย และในปี 1977 Reichert และ Youngs ได้ศึกษาเปรียบเทียบการขัดเปลือกข้าวฟ่างโดยใช้เครื่องมือกับวิธีดั้งเดิมพบว่า การขัดเปลือกโดยใช้เครื่องมือสามารถกระทำได้ที่ความชื้นของเมล็ดต่ำๆ ในขณะที่การใช้วิธีดั้งเดิมนั้นต้องใช้น้ำปริมาณมากและต้องมีการทำให้แห้งหลายขั้นตอนด้วย การขัดเปลือกข้าวฟ่างออกก่อนมีความสำคัญต่อการนำไปใช้เป็นอาหาร เพราะจะช่วยแยกส่วนรำและรงควัตถุที่ไม่เป็นที่ต้องการออก (Price, Hagerman and Butler, 1980) มีการศึกษาเพียงเล็กน้อยที่รายงานไว้ (Shepherd, 1979 ;

De Francisco et al., 1982a) เกี่ยวกับค่า yield ที่ได้รับของเมล็ดที่ไม่แตกหักเสียหายภายหลังการโม่ และก็มีการศึกษาเพียง 2 – 3 สายพันธุ์เท่านั้น นอกจากนี้ขนาดของเมล็ดข้าวฟ่างก็มีผลต่อการโม่เช่นกัน โดย Wills และ Ali (1983) ได้ศึกษาผลของขนาดเมล็ดต่อการขัดเปลือกของข้าวฟ่าง 28 สายพันธุ์ที่เป็นทั้งพันธุ์แท้และลูกผสมที่แตกต่างกันทั้งชนิด ลักษณะ และสี พบว่าในการขัดเปลือกข้าวฟ่างแต่ละสายพันธุ์ที่มีเมล็ดหลายขนาด ควรจะทำการคัดแยกขนาดเมล็ดก่อนการขัดเปลือก นอกจากนั้นแต่ละขนาดก็จะใช้เวลาในการขัดเปลือกแตกต่างกันด้วย

1.6.5 การโม่เปียกของข้าวฟ่าง (wet milling of sorghum)

มีวิธีการคล้ายกันมากกับข้าวโพด แต่กระบวนการของข้าวฟ่างยากกว่า ปัญหาเนื่องจากขนาดที่เล็กและรูปร่างทรงกลมของเมล็ดข้าวฟ่าง, สัดส่วนฮอร์นีเอนโดสเปิร์มที่มาก และความหนาแน่นของชั้นเพอริเฟอรอลเอนโดสเปิร์มที่มีโปรตีนสูง พันธุ์ที่มีเปลือกสีเข้มไม่เหมาะสำหรับการโม่เปียกเพราะสีบางส่วนจะถูกชะและติดแป้ง (Kent, 1982) ขั้นตอนการโม่เปียกข้าวฟ่าง มีดังนี้

1.6.5.1 การแช่ (steeping) ข้าวฟ่างที่ทำความสะอาดแล้วถูกแช่เป็นอันดับแรกในน้ำ (1.61 – 1.96 ลิตร/กิโลกรัม) นาน 40 – 50 ชั่วโมง ส่วนของน้ำถูกเติมด้วย 0.1 – 0.16 เปอร์เซ็นต์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งถูกดูดซับด้วยเมล็ดและทำให้โปรตีนเมทริกซ์ที่เม็ดแป้งถูกตรึงอยู่อ่อนตัว

1.6.5.2 การแยกคัพภะ (de – germing) เมล็ดที่ถูกแช่น้ำแล้ว ในรูปกึ่งเปียก (slurry) ถูกบดด้วย attrition mill เครื่องบดมีเพลทที่เต็มไปด้วยปุ่ม ซึ่งเพลทอันหนึ่งอยู่นิ่งอีกอันหนึ่งหมุนด้วยความเร็ว 1700 รอบต่อนาที การโม่จะสามารถแยกคัพภะและสตาร์ชได้ประมาณครึ่งหนึ่งจากเอนโดสเปิร์ม คัพภะที่มี 40 – 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันจะลอยอยู่บนผิวหน้าของ slurry และถูกแยกออกจากเอนโดสเปิร์มที่หนักกว่าและเพอริคาร์พโดยการใช้ลิควิดไซโคลนอย่างต่อเนื่อง (continuous liquid cyclone) เอนโดสเปิร์มที่แยกคัพภะออกแล้วและเพอริคาร์พจะถูกร่อนแบบเปียกบนผ้าไนลอนที่มีรูขนาด 70 – 75 ไมครอน ซึ่งแป้งอิสระและโปรตีนจะผ่านออกไป ส่วนที่เหลือส่วนใหญ่คือฮอร์นีเอนโดสเปิร์มจะถูกบดซ้ำใน impact mill หรือเครื่องโม่อื่นที่เหมาะสม เพื่อให้ได้สตาร์ชมากขึ้น แล้วกรองซ้ำอีก

1.6.5.3 การแยกน้ำ (de – watering) ส่วนที่ถูกล้างที่เหลือบนตะแกรงมีความชื้นลดลงประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยการบิดหมุนอย่างต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้คือ "เส้นใย" เส้นใยจะถูกปั่นรวมกับน้ำจากการแช่และส่วนคัพภะที่ถูกแยกออก ทำให้แห้งจะได้ "milo gluten feed"

1.6.5.4 การแยกสตาร์ชและโปรตีน (starch/protein separation) เม็ดแป้งที่ถูกแยกเส้นใยแล้วและอนุภาคโปรตีนจะถูกแยกออกจากกันโดยเครื่องปั่นเหวี่ยงอาศัยคุณสมบัติการตกตะกอนที่ต่างกัน เม็ดแป้งที่มีความหนาแน่น 1.5 ตกตะกอนเร็วกว่าโปรตีนซึ่งมีความหนาแน่น 1.1 ส่วนสตาร์ชถูกทำให้แห้ง

1.6.5.5 กลูเทนของข้าวฟ่าง กลูเทน (gluten) หรือโปรตีน ถูกทำให้เข้มข้น, กรองและทำให้แห้ง ปริมาณโปรตีนของกลูเทนคือ 65 – 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ถ้าปั่นรวมกับ milo gluten feed ปริมาณโปรตีนจะลดลงเหลือ 45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งรู้จักกันในชื่อ "milo gluten meal"

1.6.5.6 ผลิตภัณฑ์ของการโม่เปียกข้าวฟ่าง ผลผลิตและองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากการโม่เปียกข้าวฟ่างแสดงในตาราง 1 – 4

ตารางที่ 1-4 องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์จากการโม่เปียกข้าวฟ่าง (% โดยน้ำหนักแห้ง)
(Freeman and Bocan, 1973)

Product	Yield (%)	Protein (%)	Fat (%)	Starch (%)
Germ	6.2	11.8	38.8	18.6
Fibre	7.4	17.6	2.4	30.6
Tailings	0.8	39.2	-	25.3
Gluten	10.6	46.7	5.1	42.8
Squeegee	1.2	14.0	0.6	81.6
Starch	63.2	0.4	-	67.3
Solubles	6.6	43.7	-	-

1.6.6 ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ข้าวฟ่างที่ถูกโม่แห้ง

ลักษณะเฉพาะที่แน่นอนที่จะนิยามผลิตภัณฑ์ข้าวฟ่างเมล็ดที่ถูกโม่แห้งได้ใกล้เคียงที่สุดนั้นไม่เคยมีเป็นหลักฐานไว้ เกณฑ์ที่ประยุกต์ใช้ได้ทั่วไปมากที่สุดคือ ปริมาณไขมัน, ความชื้นและขนาดอนุภาค อาศัยการจำแนกโดยขนาดอนุภาค ผลิตภัณฑ์ของการโม่แห้งข้าวฟ่างสามารถแบ่งแยกออกเป็นประเภทต่างๆ ได้ดังนี้ :

ชื่อผลิตภัณฑ์	ช่วงขนาดตะแกรง (Mesh)
Pearled sorghum	6 – 10
Grits	10 – 24
Meal – medium	24 – 40
Meal – cones	40 – 70
Flour – sharp	70 – 100
Flour – soft	สูงสุด 70

Association of American Feed Control Officials (1967, อ้างถึงใน Hahn, 1970) ได้ตั้งนิยามสำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวฟ่างเมล็ดที่ถูกโม่แห้ง ดังต่อไปนี้

1.6.6.1 Ground grain sorghum ผลิตภัณฑ์เมล็ดข้าวฟ่างที่ไม่แตกหักที่ได้จากการโม่ข้าวฟ่างเมล็ด

หมายเหตุ : คำว่า "cracked" จะใช้แทนที่คำว่า "ground" เมื่อผลิตภัณฑ์ถูกทำให้แตกร้าว

1.6.6.2 Grain sorghum mill feed ประกอบด้วยของผสมของรำข้าวฟ่างเมล็ด, ศัพภะข้าวฟ่างเมล็ด และส่วนที่เป็นผงซึ่งถูกผลิตขึ้นในการผลิต grits จากข้าวฟ่างเมล็ด และต้องมีปริมาณเส้นใยไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

1.6.6.3 Grain sorghum grits ประกอบด้วย ส่วนที่แข็งของข้าวฟ่างเมล็ดที่มีรำหรือศัพภะติดอยู่น้อยหรือไม่มี

1.6.6.4 Pregelatinized sorghum grain flour คือ ส่วนที่ได้รับจากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดข้าวฟ่างที่ถูกทำให้เกิดเจล และถูกลดขนาดเป็นผงละเอียด และต้องมีปริมาณเส้นใยไม่เกิน 1.0 เปอร์เซ็นต์

1.6.6.5 Partially aspirated pregelatinized sorghum grain flour คือส่วนที่ได้จากเมล็ดข้าวฟ่างทั้งเมล็ดที่ถูกพ่นอากาศและทำให้เกิดเจลเป็นบางส่วน และถูกลดขนาดเป็นผงละเอียดและต้องมีปริมาณเส้นใยไม่เกิน 2.5 เปอร์เซ็นต์

1.6.6.6 Grain sorghum hominy feed คือของผสมของรำข้าวฟ่างเมล็ด, ค้พภะข้าวฟ่างเมล็ด ส่วนที่เป็นแป้งของเนื้อเมล็ดข้าวฟ่าง หรือของผสมดังกล่าวที่ถูกผลิตขึ้นในการผลิต grits ข้าวฟ่างเมล็ดและแป้งที่ถูกบดซ้ำให้ละเอียด และต้องมีปริมาณไขมันไม่ต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเส้นใยไม่เกิน 6 เปอร์เซ็นต์

1.7 ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ข้าวฟ่างโม่แห้ง (Hahn, 1970)

1.7.1 การใช้ข้าวฟ่างเมล็ดเป็นอาหาร ได้แก่

1.7.1.1 ผลิตภัณฑ์คล้ายข้าวเจ้า โดยขัดเปลือกเมล็ดข้าวฟ่างหรือใช้กรดหรือด่างเพื่อให้ได้เมล็ดที่มีเส้นใยต่ำ แต่ไม่ต้องนุ่มเท่าข้าวเจ้าหลังจากทำให้สุก

1.7.1.2 ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าและอาหารสำเร็จรูป เช่น พวกอาหารว่าง (snacks) หรืออาหารสำหรับเด็ก

1.7.1.3 แป้งจากข้าวฟ่างแบบแวกซี ใช้เป็นสารทำให้ข้น (thickening agent) เช่นใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารบรรจุกระป๋อง ซึ่งแป้งเปียกจากข้าวฟ่างชนิดนี้มีความคงตัวในอาหารกระป๋องมากกว่าแป้งธรรมดาทั่วไป

1.7.1.4 ใช้กับขนมอบต่างๆ เช่น ขนมปัง, เค้ก, มัฟฟิน เป็นต้น

1.7.1.5 สารยึดในไส้กรอก (sausage binder) โดยจะทำตัวเป็นตัวเชื่อมส่วนประกอบต่างๆ ของไส้กรอกเข้าด้วยกัน, ดูดความชื้นจากน้ำแข็งที่ใช้ในการสับเนื้อสัตว์ และเป็น emulsifying agent ระหว่างไขมัน, โปรตีนและความชื้น

1.7.1.6 ใช้ในอาหารสัตว์

1.7.1.7 ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตน้ำเชื่อมและผลึกน้ำตาลเดกโทรส

1.7.1.8 ใช้ในการทำเบียร์และการหมัก

1.7.1.9 ทำมอลต์ข้าวฟ่างเพื่อใช้ในการผลิตเบียร์

1.7.2 **การใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแอลกอฮอล์** โดยใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแอลกอฮอล์

1.7.3 **ผลิตภัณฑ์จากการหมักอื่นๆ** เช่น กรดซิทริก กรดแลกติก เป็นต้น

1.7.4 **การใช้ในทางอุตสาหกรรมอื่นๆ ของข้าวฟ่าง** เช่น อุตสาหกร่รมก่อสร้าง ได้แก่ ใช้ผลิตภัณฑ์ข้าวฟ่างที่ถูกโม่แห้งผสมในการผลิตแผ่นยิปซัม หรือ เป็นตัวประสานแบบหล่อโครงสร้าง (foundry binders) เป็นต้น

1.8 มูลเหตุจูงใจในการทำวิจัย

เมล็ดพืชต่างๆ มักจะมีโครงสร้างองค์ประกอบส่วนต่างๆ ของเมล็ดพืชเป็นชั้นๆ เช่น ชั้นที่เป็นเปลือกเยื่อหุ้มเมล็ด เอนโดสเปิร์มและเอมบริโอ เป็นต้น ในองค์ประกอบส่วนต่างๆ เหล่านี้จะมีสมบัติทางกายภาพ เคมีและชีวภาพต่างๆ กันในการสกัดแยกองค์ประกอบส่วนต่างๆ ของเมล็ดพืชอาจดำเนินการได้ทั้งแบบเปียกหรือแบบแห้งสุดแท้แต่ธรรมชาติของเมล็ด ภาวะของกระบวนการที่ใช้สกัดแยกและสมบัติของผลิตภัณฑ์ส่วนต่างๆ ที่พึงแยกได้ จากการศึกษาทดลองที่ผ่านมาพบว่าข้าวฟ่างเป็นพืชที่ทนแล้งได้ดีและมีคุณค่าทางอาหารใกล้เคียงกับข้าวโพด ฉะนั้นแทนที่จะเพียงแต่นำข้าวฟ่างมาใช้ในอาหารสัตว์ ถ้านำข้าวฟ่างมาพัฒนาเป็นอาหารมนุษย์ด้วยจะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากข้าวฟ่างได้กว้างขวางมากขึ้น นอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่า

ทางอาหารสูงและมีราคาถูกแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้น และถ้ามีการใช้ข้าวฟ่างมากขึ้นก็จะสามารถส่งวัตถุดิบอื่นๆ เช่น ข้าวเจ้าซึ่งมีราคาแพงกว่าเป็นสินค้าออกได้มากขึ้น ลักษณะเด่นที่สำคัญของข้าวฟ่างก็คือ องค์ประกอบหลักและคุณสมบัติของข้าวฟ่าง ในอนาคตข้าวฟ่างจะถูกพัฒนาและปรับปรุงยิ่งๆ ขึ้นไป การผลิตข้าวฟ่างจะเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเทียบกับธัญพืชอื่นๆ ข้าวฟ่างจัดเป็นวัตถุดิบที่ราคาถูกที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตพื้นที่ที่มีการเพาะปลูก ดังนั้นจากปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ เป็นพื้นฐานที่ดีสำหรับพัฒนาการโม่แห้งข้าวฟ่างพันธุ์ต่างๆ ในอนาคต (Hahn, 1970) ในต่างประเทศการโม่แห้งข้าวฟ่างได้รับความสนใจและพัฒนามาโดยตลอดแต่ไม่มีการตีพิมพ์รายละเอียดเป็นที่แพร่หลายนัก ข้อมูลส่วนใหญ่เป็นรายงานการวิจัย ซึ่งจากรายงานเหล่านั้นจะได้นำไปใช้เป็นแนวทางที่จะศึกษาหากระบวนการที่เหมาะสมในการโม่แห้งข้าวฟ่างพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทยต่อไป

1.9 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการสกัดแห้ง เพื่อให้ได้พอลิแซคคาไรด์จากส่วนต่างๆ ของเมล็ดข้าวฟ่าง

1.10 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.10.1 ศึกษาการปรับปริมาณความชื้นของเมล็ดข้าวฟ่าง

1.10.2 ทดสอบหาระดับความชื้นที่เหมาะสมในการสกัดแห้งพอลิแซคคาไรด์ และแยกส่วนประกอบต่างๆ ของเมล็ดข้าวฟ่าง

1.10.3 ศึกษาผลกระทบของปริมาณความชื้นของเมล็ดต่อกรรมวิธีในการผลิต

1.10.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ที่สกัดแยกได้