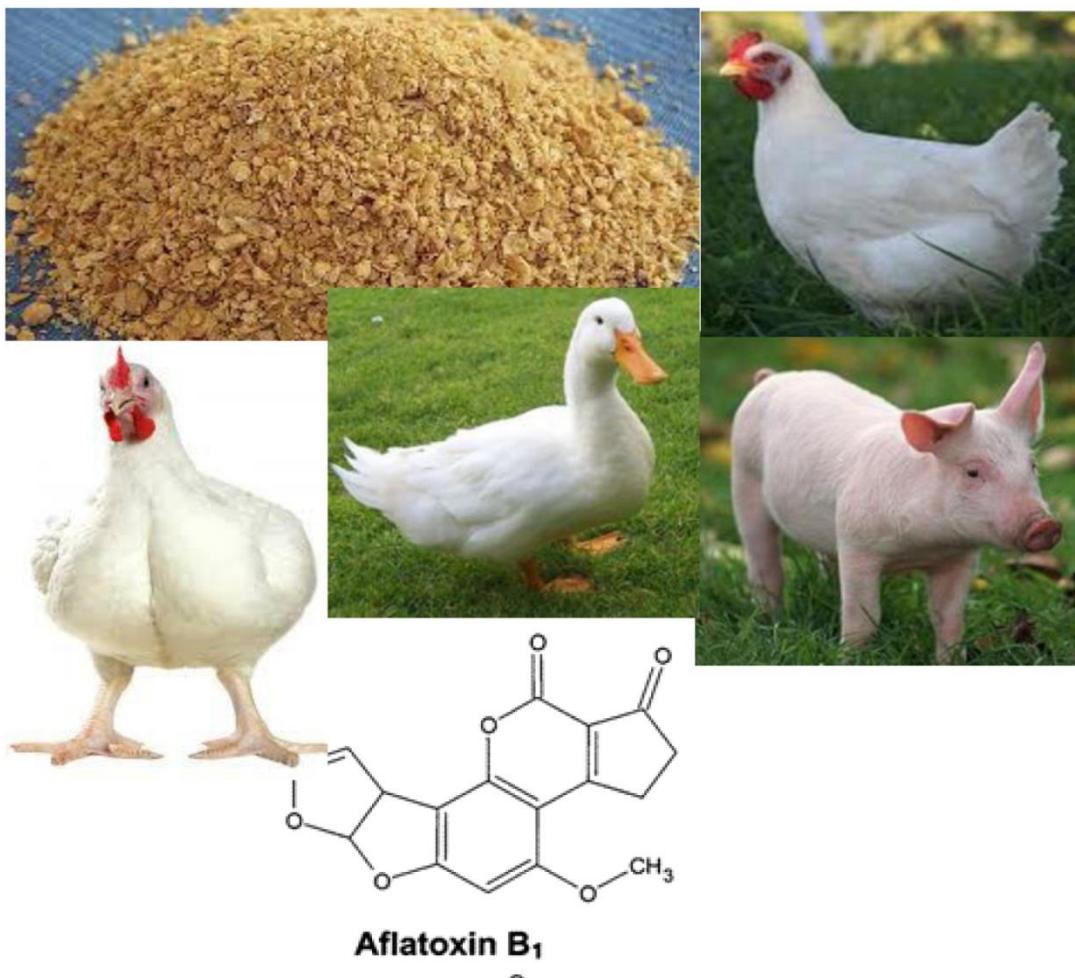


เอกสารคำสอน

โภชนศาสตร์สัตว์ประยุกต์ Applied Animal Nutrition



วินัย ใจχαν

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารคำสอน

โภชนศาสตร์สัตว์ประยุกต์

Applied Animal Nutrition

บทที่ 2

การแปรรูปอาหารสัตว์
(Feed Processing)

วินัย ใจхан

วทบ., วทม. (เกษตรศาสตร์), ปร.ด. (วิทยาศาสตร์ชีวภาพ)

ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2563

บทที่ 2

การแปรรูปอาหารสัตว์

(Feed Processing)

2.1 บทนำ (Introduction)

การแปรรูปอาหารสัตว์มีความสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตสัตว์ยุคปัจจุบัน เนื่องจากวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดสัตว์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่หากไม่มีการแปรรูปเสียก่อน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะคุณสมบัติทางกายภาพ (เช่น เปลือกเมล็ดแข็งเกินไป) หรือคุณสมบัติทางเคมี (เช่น มีสารยับยั้งการใช้โภชนะ) ของวัตถุดิบอาหารสัตว์นั้น ๆ ไม่เอื้ออำนวยให้สัตว์ใช้โภชนะในวัตถุดิบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าได้ทำการแปรรูปเสียก่อนแล้วสัตว์ก็สามารถใช้ประโยชน์ด้วยประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เมื่อคำนึงถึงต้นทุนการผลิตสัตว์ซึ่ง 70-80% เป็นต้นทุนค่าอาหาร การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้อาหารโดยการแปรรูปวัตถุดิบโดยปกติจะมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงเกินพอที่จะคุ้มค่าใช้จ่ายที่จำเป็นต้องใช้ในการแปรรูปอาหาร

โดยคำนิยามการแปรรูปอาหารสัตว์ หมายถึง กิจกรรมใด ๆ ก็ตามซึ่งอาจเป็นกิจกรรมทางกายภาพ เคมี ความร้อน การหมัก หรืออื่น ๆ ที่กระทำให้วัตถุดิบอาหารสัตว์เปลี่ยนแปลงก่อนที่จะนำไปเลี้ยงสัตว์ การแปรรูปอาหารสัตว์กระทำขึ้นมาเพื่อวัตถุประสงค์อันใดอันหนึ่งในจำนวน 7 วัตถุประสงค์ต่อไปนี้

- เปลี่ยนลักษณะทางกายภาพหรือขนาดของวัตถุดิบที่ประกอบเป็นอาหารสัตว์ เช่น การบด การอัดเม็ด การเอ็กซ์ทรูด ฯลฯ
- เพื่อรักษาคุณภาพอาหาร เช่น การอบให้แห้ง เป็นต้น
- เพื่อแยกส่วนประกอบที่สำคัญบางส่วนออกมา เช่น การสกัดน้ำมัน การสีข้าวแยกแกลบ รำ ปลายข้าว เป็นต้น
- เพื่อปรับปรุงให้รสชาติและความน่ากินของอาหารให้ดีขึ้น เช่น การเติมน้ำ การเติมไขมัน หรือกากน้ำตาล ช่วยลดฝุ่น
- เพื่อปรับปรุงการย่อยได้ของอาหารให้ดีขึ้น เช่น การคั่ว นึ่ง ช่วยเพิ่มการย่อยได้ของโปรตีนในถั่วเหลือง
- เพื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณโภชนะที่มีอยู่ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เช่น การเติมกรดอินทรีย์ การกะเทาะเปลือก ช่วยเพิ่มโปรตีนในถั่ว เมล็ดทานตะวัน เป็นต้น
- เพื่อกำจัดสารพิษหรือสารยับยั้งการใช้โภชนะหรือสารยับยั้งการเจริญเติบโตในอาหารให้น้อยลงหรือหมดไป เช่น การทำมันเส้น การให้ความร้อนถั่วเหลือง

ในจำนวน 7 วัตถุประสงค์นี้ วัตถุประสงค์ที่มีความสำคัญและกระทำกันอยู่เสมอเป็นปกติในการแปรรูปอาหารสัตว์ทั่วไป คือ วัตถุประสงค์ ก. ข. และ ค. Harris and Crampton (1972 อ้างตาม Pond and Maner, 1984) รายงานว่า กว่า 87% ของการแปรรูปอาหารสัตว์กระทำเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว ส่วนการแปรรูปเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ นั้นกระทำไม่บ่อยนัก

ในระหว่างการแปรรูป คุณสมบัติของวัตถุดิบในแง่ของส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการตลอดจนคุณสมบัติอื่น เช่น ความยากง่ายในการเก็บรักษา หรือในการผสมเข้ากับวัตถุดิบอื่นในอาหารสำเร็จรูปอาจเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีความรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อเลือกใช้วิธีการแปรรูปที่เหมาะสม โดยเฉพาะเมื่อใช้กับสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูงและกิจการขนาดใหญ่ ทั้งนี้เพราะเกี่ยวข้องกับการแปรรูปอาหารสัตว์ในปริมาณมาก และสัตว์ที่ให้ผลผลิตสูงต้องการโภชนะสูงตามปริมาณผลผลิต โดยทั่วไปการแปรรูปอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องมีความซับซ้อนน้อยกว่าอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง เพราะสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องใช้แต่อาหารชั้น ไม่จำเป็นต้องแปรรูปพืชอาหารสัตว์ และคำนึงถึงปริมาณโภชนะที่หลุดรอดจากการถูกสลายตัวในกระเพาะหมัก การแปรรูปอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการทำให้แห้ง ทำให้สุก การบด การอัดเม็ดแบบต่าง ๆ และการสกัดน้ำมัน เป็นต้น

2.2 ประเภทของกรรมวิธีการแปรรูปอาหารสัตว์

การแปรรูปอาหารสัตว์อาจจำแนกกรรมวิธีออกได้หลายทาง บ้างก็อาจแยกออกโดยการให้หรือไม่ให้ความร้อน (heat or cold processings) หรือบ้างอาจแยกออกโดยการแปรรูปแห้งหรือการแปรรูปเปียก (dry or wet processings) Ensminger *et al.* (1990 อ้างถึง Hale, 1973) รายงานว่า เฉพาะการแปรรูปธัญพืชเพื่อสัตว์เคี้ยวเอื้องเพียงอย่างเดียวอาจจำแนกวิธีการได้ถึง 18 วิธี และในบางครั้งการแปรรูปวัตถุดิบอาหารสัตว์ชนิดใดชนิดหนึ่งอาจใช้หลายกรรมวิธีได้ ตัวอย่างเช่น การอัดเม็ดอาหารสัตว์ เกี่ยวข้องกับวิธีการแปรรูปโดยเริ่มต้นที่การบด (grinding) ผสมให้เข้ากัน (mixing) เติมน้ำหรือความร้อนขึ้น (steaming) เพื่อให้แป้งบางส่วนในอาหารสุก เพื่อช่วยประสานเม็ดแล้วใช้ความดัน (pressure) อัดอาหารออกมาเป็นเม็ด ดังนั้นการแบ่งกรรมวิธีออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ บางครั้งก็ไม่สามารถแบ่งออกจากกันได้เด็ดขาด มีการเหลื่อม (overlapping) กันได้ อย่างไรก็ตามนักอาหารสัตว์ควรจะอย่างน้อยรู้จักชื่อของกรรมวิธีการแปรรูปอาหารสัตว์วิธีต่าง ๆ ไว้ และในตอนต่อไปจึงจะกล่าวถึงวิธีการแปรรูปอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องที่ใช้เป็นการจัดการอาหารสัตว์ปกติในประเทศไทยในรายละเอียดอีกครั้งหนึ่ง กรรมวิธีการแปรรูปอาหารสัตว์ที่ควรจะรู้จักมีดังนี้

2.2.1 การแปรรูปให้อาหารสัตว์เปลี่ยนคุณสมบัติโดยวิธีกล (mechanical alteration) มี

- ก) การสีเพื่อแยกเปลือกเมล็ดออก (dehulling)
- ข) การบด (grinding) ซึ่งกระทำโดยใช้เครื่องบดชนิดต่าง ๆ

- ค) การบุง (cracking หรือ rolling) ซึ่งอาจแบ่งย่อยเป็น
 - 1) บุงแห้ง (dry rolling; cracking หรือ crushing)
 - 2) บุงโดยใช้ไอน้ำช่วย (steam rolling หรือ steam crimping)
- ง) การเอกซ์ทรูด (extrusion) เป็นการอัดอาหารสุก (gelatinized) ด้วยแรงดันสูง ซึ่งอาจแบ่งออกเป็น
 - 1) การเอกซ์ทรูดแห้ง (dry extrusion)
 - 2) การเอกซ์ทรูดเปียก (wet extrusion)

2.2.2 การแปรรูปโดยใช้ความร้อน (heat treatments)

- ก) การแปรรูปโดยใช้ความร้อนแห้ง (dry heat processing) ซึ่งมีวิธีการต่าง ๆ คือ
 - 1) ปิ้งหรือย่าง (roasting) โดยอาหารที่แปรรูปสัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง
 - 2) อบแห้ง (thermal หรือ heat drying) อาหารไม่สัมผัสเปลวไฟ อาจใช้ลมร้อน
 - 3) คั่วหรืออบสุก (toasting) อาหารไม่สัมผัสเปลวไฟโดยตรง
 - 4) Popping หรือ jet-sploding คั่วหรืออบด้วยอุณหภูมิสูง (260°-280°C) อาหารจะร้อนและสูญเสียความร้อนจากภายในเมล็ดออกข้างนอกจนแตกบานออก
 - 5) อบด้วยรังสี (micronizing) คั่วหรืออบด้วยรังสีใต้แดง (infrared) จนสุก
- ข) การแปรรูปด้วยความร้อนชื้น (moist heat processing)
 - 1) ต้มหรือนึ่ง (cooking หรือ steaming)
 - 2) Exploding เป็นการนึ่งภายใต้ความดัน (steaming under pressure) จนเมล็ดของอาหารพองบานออก (swelling)
- ค) การอัดแผ่น (flaking) ซึ่งแบ่งวิธีการอัดเป็น
 - 1) อัดอาหารนึ่ง (steam flaking) อาหารถูกนึ่งนานกว่าการบุงแล้วจึงอัดเป็นแผ่น
 - 2) อัดอาหารนึ่งใต้ความดัน (pressure flaking) อาหารถูกนึ่งภายใต้ความดันแล้วจึงอัดแผ่น
- ง) การอัดเม็ด (pelleting)
 - 1) การอัดเม็ด (pelleting) อัดเม็ดแข็งอาหารที่สุกบางส่วน (partially gelatinized) โดยปรับสภาพด้วยไอน้ำ หรือไม่มีการปรับสภาพก่อน ในกรณีหลังอาหารจะสุกจากความร้อนที่เกิดจากแรงอัด
 - 2) การบุงเม็ดอาหารอัดเม็ด (crumbling) บุงอาหารที่อัดเม็ดแล้วเป็นชิ้นเล็ก ๆ ให้พอเหมาะกับขนาดของสัตว์ที่จะกิน เช่น ไก่เนื้อวัยอ่อน

จ) **Expanding** เป็นการอัดอาหารสุกผ่านวงแหวนที่ปรับขนาดช่องเปิดออกมาโดยแรงดันสูง เมื่ออาหารถูกอัดผ่านออกมาสู่บรรยากาศภายนอกก็จะเกิดการพองตัว (expand) เพิ่มขึ้นพร้อมกับดูดซับน้ำหรือไขมันกลับเข้าสู่อาหารในลักษณะเดียวกับการเอกซ์ทรูด แต่จะต่างกับการเอกซ์ทรูดตรงที่เกลียวหรือลูกกลิ้งในกระบอกอัดน้อยกว่า และไม่จำเป็นต้องผ่านจานอัด (die) รูปต่าง ๆ จึงทำให้มีอัตราการอัด (กก. หรือ ตัน/ชม.) สูงกว่าการเอกซ์ทรูด

2.2.3 การแยกน้ำมัน (oil separation)

เป็นกรรมวิธีการแปรรูปพืชน้ำมันในอุตสาหกรรม น้ำมันพืชมีใช้ขบวนการแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์โดยตรง แต่ที่นำมากล่าวในที่นี้เพราะว่าผลพลอยได้ คือ กากพืชน้ำมันจะมีคุณค่าทางโภชนาการผันแปรไปกับกรรมวิธีการแยกน้ำมันออก การแยกน้ำมันออกจากพืชน้ำมัน รวมทั้งรำข้าวกระทำได้โดยวิธีการหลักๆ 2 วิธี คือ วิธีการอัดโดยพลังงานกล และวิธีสกัดโดยสารเคมี ซึ่งอาจแบ่งออกเป็นกรรมวิธีย่อยๆ ดังนี้

ก) การอัดน้ำมัน (mechanical pressing)

1) อัดด้วยไฮดรอลิก (hydraulic pressing) ซึ่งอาหารที่เหลือจากการแยกน้ำมันออกแล้วอาจเป็นแผ่นบาง (plate pressing) หรือเป็นแผ่นหนากว่า หรือเป็นก้อน (cake pressing)

2) การอัดระบบต่อเนื่อง (continuous pressing) อาหารที่อัดถูกส่งเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง และถูกอัดแยกน้ำมันโดยลูกกลิ้ง (roller pressing) หรือโดยเครื่องอัดเกลียว (screw pressing หรือ expeller processing)

ข) การสกัดน้ำมันด้วยสารเคมี (chemical processing) ซึ่งยังอาจแบ่งออกตามชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัด อาทิ

1) สกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent extraction) ตัวทำละลายที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นตัวทำละลายเดี่ยว ๆ เช่น hexane, propanol และสารอินทรีย์อื่น

2) สกัดด้วยตัวทำละลายผสม (mixed-solvent extraction) เช่น tri-solvent (hexane 43% + acetone 52% + น้ำ 5%) สำหรับสกัดน้ำมันเมล็ดฝ้าย ซึ่งมีผลช่วยลด free gossypol ให้ต่ำลงด้วย

กากพืชที่ได้จากการแยกน้ำมันออก เมื่อนำมาป่นจะได้เป็นกากพืชป่น (meals) เช่น กากถั่วเหลือง ซึ่งเมื่อกกล่าวถึงมักจะมีการระบุวิธีการแยกน้ำมันออก ได้แก่ กากถั่วเหลืองอัดน้ำมัน [soybean meal (m-e)] หรือกากถั่วเหลืองสกัดน้ำมัน [soybean meal (s-e)] นอกจากนี้ยังมีการใช้กรรมวิธีแยกน้ำมันพืชบางชนิดผสมกันระหว่างการอัด (press) และสกัด (extraction) โดยแยกน้ำมันส่วนใหญ่ออกโดยการอัด

แล้วสกัดน้ำมันส่วนที่เหลือออกด้วยตัวทำละลายเคมี กากพืชที่ได้ เช่น กากคาโนล่า เรียกว่า canola meal (pre-press, s-e) เป็นต้น

2.2.4 กรรมวิธีการแปรรูปอาหารสัตว์อื่น ๆ (other processes)

การแปรรูปที่นำมารวมอยู่ในที่นี้เป็นวิธีการแปรรูปที่อาจเป็นกรรมวิธีการแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารของมนุษย์ แล้วนำผลพลอยได้มาเป็นอาหารสัตว์ หรือเป็นกรรมวิธีการแปรรูปอาหารสัตว์โดยตรง แต่กระทำกันน้อยมากในอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง อาทิ

ก. การแปรรูปในอุตสาหกรรมอาหารของมนุษย์ ตัวอย่างเช่น การสีธัญพืช (grain millings) การหมัก ซึ่งรวมถึงหมักเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (distillery) การหมักเบียร์ (brewery) การแปรรูปผลพลอยได้จากโรงฆ่าสัตว์ (rendering) การระเหยน้ำในผลิตภัณฑ์น้ำหรือเลือดสัตว์ และ อื่น ๆ (evaporating) การแปรรูปบางวิธีได้กล่าวถึงแล้วในตอนกล่าวถึงผลพลอยได้ที่เป็นอาหารสัตว์แต่ละชนิด

ข. การแปรรูปอาหารสัตว์อื่น อาทิ การทำหญ้าแห้ง (hay curing) การทำหญ้าหมัก (ensiling) การทำก้อนอาหาร (blocking) การเติมของเหลว (liquid supplementing) การปรับความชื้น (reconstituting) การเพาะเมล็ดพืชเลี้ยงสัตว์ (hydroponics หรือ grain sprouting) และอื่น ๆ

รายละเอียดของวิธีการแปรรูปอาหารที่กล่าวถึงนี้ ผู้สนใจอาจศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมได้ใน พันทิพา (2539); Pond *et al.* (1995); Ensminger *et al.* (1990); Pond and Maner (1984) และ National Academy of Sciences (1973)

2.3 กรรมวิธีการแปรรูปที่สำคัญ ๆ ในอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง

ดังได้กล่าวมาแล้ว กรรมวิธีการแปรรูปอาหารสัตว์ที่ซับซ้อน ๆ สำหรับอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องเป็นกรรมวิธีง่าย ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำให้แห้ง การใช้ความร้อนทำให้สุก การบด การอัดเม็ดแบบต่าง ๆ และการสกัดน้ำมัน เป็นต้น การแปรรูปอาหารสัตว์แต่ละวิธีมีรายละเอียดของวิธีการและผลที่เกิดขึ้นต่อคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่อาจสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.3.1 การทำให้แห้ง (drying)

วัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิด เช่น ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวนาปรัง ฯลฯ ในช่วงฤดูเก็บเกี่ยวจะมีราคาถูก แต่ขณะเดียวกันก็มีความชื้นสูง (18-25%) หากผู้เลี้ยงสัตว์ต้องการเก็บสต็อก รอไว้ใช้เลี้ยงสัตว์ในภายหลัง ก็จำเป็นต้องทำให้แห้ง มิฉะนั้นก็ไม่อาจเก็บไว้นาน ๆ เนื่องจากอาหารสัตว์ที่มีความชื้นสูง เมื่อเก็บไว้ในโกดังจะเกิดเชื้อราและมีความร้อนสูง ทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลง หรือเกิดสารพิษจากเชื้อรา และอาจเกิดการสันดาปเพลิงไหม้ได้ Ensminger *et al.* (1990) ระบุว่า ระดับความชื้นในอาหารสัตว์ต่าง ๆ ที่สามารถเก็บสต็อก ได้อย่างปลอดภัยต้องไม่เกิน 13-14% (ข้าวโพดและข้าวฟ่างไม่เกิน 14% และถั่วเหลืองไม่เกิน 13%)

การลดความชื้นในวัตถุดิบอาหารสัตว์ลงให้อยู่ในระดับที่จะเก็บได้อย่างปลอดภัย สามารถทำได้หลายวิธี อาทิ

ก) การผึ่งแดด (sun drying) เป็นวิธีการที่ง่ายและประหยัดที่สุด แต่ก็มีปัญหาที่สามารถทำได้เฉพาะในฤดูร้อนและฤดูหนาวซึ่งมีปริมาณฝนน้อย ส่วนในฤดูฝนจะมีช่วงการผึ่งแดดได้สั้น ๆ ต้องเปลืองแรงงานในการรวมกองเมื่อฝนตก และเกลี่ยตากใหม่เมื่อฝนหาย ทำให้อาหารแห้งช้าและมีราขึ้นได้ง่าย ปัญหาอีกประการหนึ่งก็คือ ระดับความชื้นในอาหารที่ผึ่งแดดแห้งผ่นแปรไปได้ง่ายกับอุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และความเร็วของลม อุณหภูมิพื้นผิวของลานตากในวันที่แดดจ้าอาจสูงถึง 60°C ในฤดูหนาว และ $65^{\circ}\text{--}80^{\circ}\text{C}$ ในฤดูร้อน การทาพื้นลานตากด้วยสีดำอาจเพิ่มอุณหภูมิพื้นผิวขึ้นได้ประมาณ 10% แต่การใช้ลานตากสีดำอาจมีประสิทธิภาพไม่เต็มที่ เพราะพื้นผิวส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยอาหารสัตว์ที่ตาก การหมั่นเกลี่ยกลับอาหารสัตว์ในลานตากบ่อย ๆ จะช่วยย่นระยะเวลาตากให้สั้นลง โดยเกลี่ยในฤดูที่มีแดดจ้าดี ๆ เมล็ดพืชที่ตาก 1-2 วัน และพืชหัวสดที่ตาก 3-5 วัน จะมีระดับความชื้นลดลงถึงระดับที่จะเก็บได้อย่างปลอดภัย

ข) การผึ่งลม (aeration) การระบายอากาศผ่านวัตถุดิบอาหารสัตว์อย่างทั่วถึง เป็นวิธีการช่วยลดความชื้นในวัตถุดิบอาหารสัตว์ได้อีกทางหนึ่ง วิธีการนี้มีข้อจำกัดในการใช้คือ วัสดุอาหารสัตว์ที่ใช้ในการทำแ่งระบบนี้ต้องมีความชื้นไม่สูง คือ ไม่ควรเกิน 18-20% และอากาศที่ระบายผ่านต้องผ่านวัตถุดิบอย่างทั่วถึง ดังนั้นวัสดุอาหารสัตว์สด เช่น มันเส้นที่ผ่านใหม่ ๆ ไม่อาจใช้วิธีการนี้ได้ และการกองวัสดุอาหารสัตว์เป็นกองใหญ่หรือมีความสูงมากก็ไม่สามารถทำแ่งโดยวิธีนี้ การกองอาหารสัตว์ให้หนาไม่มากนักบนตะแกรงยกพื้นในโกดังปิด ซึ่งมีระบบการดึงอากาศในโรงเรือนออกจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการทำแ่งโดยวิธีนี้นี้นัก

ค) การทำให้แ่งโดยการอบด้วยความร้อน (heated air drying) การอบแห้งอาศัยการเพิ่มอุณหภูมิของอาหารสัตว์ และการลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศรอบ ๆ กองวัสดุอาหารสัตว์ที่ต้องการอบให้แ่ง ดังนั้นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไปจึงกระทำโดยการให้ความร้อนเพื่อระเหยความชื้นในอาหารสัตว์ พร้อม ๆ กับการระบายอากาศขึ้นออกจากห้องอบในอัตราที่มีความสัมพันธ์พอเหมาะกัน อัตราการลดความชื้นในวัสดุอาหารสัตว์จึงมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้อบและความร้อนของการระบายอากาศ ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นและระบายอากาศเร็วขึ้นเท่าใด วัสดุอาหารสัตว์ก็จะแ่งเร็วขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้อบสูงเกินไปจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์สูญเสียไปได้ โดยโภชนะบางชนิดอาจถูกทำลายหรือเปลี่ยนรูปไปเป็นรูปที่สัตว์ย่อยและใช้ประโยชน์ไม่ได้ และเอนไซม์ที่เป็นประโยชน์บางชนิดอาจถูกทำลาย เป็นต้น อุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมโดยเฉลี่ยคือ ไม่เกิน 45°C สำหรับเมล็ดพันธุ์พืช, $50\text{--}60^{\circ}\text{C}$ สำหรับเมล็ดพืชที่ใช้เป็นอาหารหรือเพื่อการคั่ว และไม่เกิน 82°C (140°F) สำหรับเมล็ดพืชที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ การปรับอุณหภูมิในห้องอบผันแปรไปกับระดับความชื้นเริ่มต้น และระดับความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ ถ้าวัตถุดิบอาหารสัตว์มีความชื้นเริ่มต้นสูงและต้องการอบให้ระดับความชื้นสุดท้ายต่ำ (ความชื้นที่ต้องขจัดออกมีปริมาณสูง) อุณหภูมิที่ใช้ในห้องอบควร

ตั้งไว้ต่ำกว่า และใช้เวลาอบนานกว่าอาหารที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำ และอบให้ระดับความชื้นสุดท้ายต่ำลงไม่มาก (ขจัดความชื้นออกน้อย) ทั้งนี้เพราะอาหารที่ต้องอบแห้งโดยขจัดความชื้นออกปริมาณมากต้องใช้เวลาอบนาน และหากได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ๆ คุณค่าทางโภชนาการจะลดลงมาก จึงควรใช้อุณหภูมิอบแห้งต่ำ ๆ จะเกิดผลดีมากกว่า AFMA (1976) แนะนำระดับอุณหภูมิในห้องอบที่เหมาะสมสำหรับการอบเมล็ดพืชที่มีระดับความชื้นเริ่มต้นกับสุดท้ายต่าง ๆ กัน ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ระดับอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ที่แนะนำให้ใช้ในการอบแห้งเมล็ดพืชที่มีความชื้นก่อน และ หลังอบต่าง ๆ กัน

ความชื้นหลังอบ (%)	ความชื้นก่อนอบ (%)									
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
18						68	65	63	61	59
17					69	66	64	62	60	58
16				71	67	65	63	61	59	57
15			73	69	66	64	62	60	58	
14		74	71	68	65	63	61	59		
13	75	72	69	67	64	62	60			
12	72	70	68	66	63	61				

ที่มา: AFMA (1976)

เครื่องอบแห้งที่ใช้อยู่ทั่วไปมี 2 ระบบ คือ ระบบการอบแห้งแบบต่อเนื่อง (continuous dryer) และระบบการอบแห้งแบบเป็นชุด (batch dryer)

ก) เครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่อง ตัวเครื่องประกอบด้วยห้องอบแห้งที่มีท่อลมร้อนเป่าเข้าสู่ห้องอบเป็นระยะ ๆ ตามสายพานลำเลียง ซึ่งลำเลียงวัสดุอาหารสัตว์ให้เคลื่อนผ่านไปช้า ๆ ตลอดเส้นทาง ลำเลียงจะมีท่อระบายอากาศขึ้นสลับกันไปกับท่อลมร้อนเพื่อระบายความชื้นออก สายพานลำเลียงอาจออกแบบให้เป็นชั้น ๆ เมื่ออาหารเคลื่อนผ่านชั้นต่าง ๆ จนสิ้นสุดก็จะแห้งได้ถึงระดับความชื้นที่ต้องการพอดี ระดับความเร็วของการลำเลียงเมล็ดพืชอาหารสัตว์ผ่านห้องอบอาจปรับให้เร็วหรือช้าได้ตามความแตกต่างระหว่างความชื้นก่อนและหลังอบ เครื่องอบแห้งระบบนี้มีประสิทธิภาพสูง เพราะลมร้อนสามารถผ่านเข้าถึงวัสดุอาหารสัตว์ทั่วถึงและสม่ำเสมอ เหมาะสมที่จะใช้อบเมล็ดพืชอาหารสัตว์ต่าง ๆ เช่น ข้าวโพด ข้าว ถั่วเหลือง และอื่น ๆ ปริมาณมาก ๆ ได้

ข) เครื่องอบแห้งแบบเป็นชุด ตัวเครื่องประกอบด้วยเครื่องกำเนิดความร้อนซึ่งเป่าเข้าสู่ห้องอบซึ่งปิดมิดชิด และมีพื้นเป็นรูหรือเป็นซี่กึ่งสูงพอที่จะเดินท่อลมร้อนเข้าข้างล่าง และมีการระบายอากาศได้ดี ด้านบนของห้องอบมีระบบระบายอากาศขึ้นออกนอกห้อง อาหารที่จะอบแห้งจะถูกนำเข้าอบเป็นชุด ๆ โดยวางกองอยู่บนพื้นพูนที่มีลมร้อนเป่าเข้าทางใต้พื้นผ่านกองอาหาร ช่วยระเหยความชื้นแล้วระบายออกทางด้านบน การอบแห้งระบบนี้ต้องใช้อุณหภูมิต่ำ และใช้เวลาอบนานกว่าเครื่องอบแบบต่อเนื่อง เพราะหากใช้อุณหภูมิสูงเกินไปอาหารส่วนล่างของกองจะได้รับความร้อนสูงเกินไป ทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลงได้ ทั้งนี้เพราะจะไม่มีการกลับหรือหมุนเวียนอาหารที่อบอยู่ เครื่องอบแห้งระบบนี้สามารถออกแบบให้อาหารแต่ละชุดได้มากน้อยตามความต้องการ และอาจสร้างได้ง่าย ๆ ในลักษณะคล้ายถังข้าวของเกษตรกร หรือเป็นไซโลที่มีความจุมาก ๆ ได้ สิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือ ลมร้อนต้องสามารถผ่านอาหารที่จะอบได้อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ

อาหารที่อบแห้งมีความชื้นต่ำกว่า 14% สามารถเก็บไว้ใช้ได้นานโดยไม่มีปัญหาในเรื่องการเสื่อมคุณภาพหรือขึ้นรา อย่างไรก็ตามอาหารที่อบแห้งดีแล้วอาจดูดความชื้นกลับได้หากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงเกิน 75% ดังนั้นหากเป็นไปได้จึงควรเก็บอาหารไว้ในโรงเก็บที่สามารถควบคุมความชื้นของอากาศที่ถ่ายเทเข้าออกได้ หรือไม่ก็ควรเก็บไว้ในโรงเก็บที่สามารถถ่ายเทอากาศได้ดีและทั่วถึง ไม่ควรเก็บอาหารที่มีความชื้นเกินกว่า 16.5% ไว้นาน เพราะโอกาสที่จะขึ้นรามีสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงกว่า 85% การอบแห้งอาหารที่อุณหภูมิที่ระบุไว้ข้างต้นจะไม่มีผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการของอาหารมากนัก ยกเว้นกรณีที่อบด้วยอุณหภูมิสูงเกินไปจนไหม้ หรืออบไม่แห้งดีพอทำให้เกิดเชื้อราขึ้น และสะสมสารพิษอยู่ในอาหาร Pfof (1976) ระบุว่า สุกรอายุ 2 สัปดาห์มีแนวโน้มที่จะเติบโตดีกว่าเมื่ออาหารประกอบด้วยข้าวโพดที่อบแห้งที่อุณหภูมิ 82-104°C เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่กินข้าวโพดอบแห้งที่ 60°C แต่ประสิทธิภาพในการใช้อาหารไม่แตกต่างกัน ส่วนในสุกรที่น้ำหนัก 20 กก.ขึ้นไป อุณหภูมิการอบแห้งข้าวโพดทั้ง 3 ระดับนี้ไม่มีผลทำให้อัตราการเติบโตหรือประสิทธิภาพการใช้อาหารแตกต่างกัน

2.3.2 การบด (grinding)

2.3.2.1 วัตถุประสงค์ของการบด

การบดเป็นการแปรรูปวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ใช้บ่อยที่สุด และถือว่าเป็นวิธีการแปรรูปอาหารที่มีราคาถูกที่สุดวิธีหนึ่ง โดยวิธีการบดเป็นการลดขนาดของวัตถุดิบอาหารสัตว์ให้เล็กลงได้ขนาดตามต้องการ ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

ก) เพื่อเพิ่มการย่อยได้ วัตถุดิบประเภทข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวเปลือก มันเส้น และอื่น ๆ บ้างก็มีขนาดใหญ่ บ้างก็มีเปลือกแข็งห่อหุ้มเมล็ดสัตว์ย่อยได้ยาก หากทำการบดให้มีขนาดเล็กลง เปลือกเมล็ดแตกออก เมื่อสัตว์กินก็จะเคี้ยวได้ง่ายและละเอียดขึ้น เปิดโอกาสให้เอนไซม์ในน้ำย่อยเข้าทำ

ปฏิกิริยาย่อยได้หมดจดขึ้นกว่าที่ไม่บด โดยทั่วไปประสิทธิภาพของการใช้อาหารในสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องจะดีขึ้นในอาหารที่บดค่อนข้างละเอียด มากกว่าอาหารไม่บดหรือบดหยาบ

ข) เพื่อให้สมรรถุติบอาหารสัตว์เข้ากันได้ดียิ่งขึ้น อาหารที่บดจนมีขนาดละเอียดสม่ำเสมอผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดีกว่าอาหารที่มีขนาดแตกต่างกัน สัตว์บางชนิดจะเลือกกินอาหารชิ้นใหญ่ก่อน เมื่อหมดแล้วค่อยมากินอาหารที่บดละเอียดขึ้น จึงได้รับโภชนะผันแปรไปตามชิ้นส่วนของอาหารที่กิน หากอาหารผสมเข้ากันเป็นเนื้อเดียวไม่มีการแยกตัว สัตว์เลือกกินไม่ได้จึงกินอาหารที่มีโภชนะสม่ำเสมอ เป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพอาหารด้วยทางหนึ่ง

ค) เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการอาหาร ไม่ว่าจะเป็นการทำให้แห้ง การทำให้สุก และทำลายสารพิษ ตลอดจนการอัดเม็ด การเอกซ์ทруд และการให้อาหารแก่สัตว์ เพราะอาหารมีขนาดเท่า ๆ กัน เมื่อนำไปทำให้แห้งหรือทำให้สุกก็ต้องการอุณหภูมิและเวลาที่แปรปรูปเท่ากัน แห้งหรือสุกสม่ำเสมอ เมื่อผสมในสูตรอาหารเข้ากันได้ดี เวลาตกให้สัตว์กินก็ย่อมได้คุณภาพสม่ำเสมอ และหากนำไปอัดเม็ดจะได้เม็ดอาหารที่เกาะตัวกันได้ดี มีปริมาณโภชนะครบถ้วน

2.3.2.2 ขนาดของอาหารที่บดแล้ว

สัตว์แต่ละชนิดชอบอาหารที่บดละเอียดแตกต่างกัน สัตว์ปีกชอบอาหารชิ้นโตพอเหมาะที่จะจิกกินได้มากกว่าอาหารที่บดละเอียดมากเกินไป สุนัขรุ่น-ขุนเคี้ยวอาหารนานและละเอียดกว่าสุนัขเล็กและสุนัขที่มีอายุมาก ดังนั้นอาหารสุนัขรุ่น-ขุนไม่จำเป็นต้องบดละเอียดเท่าอาหารสุนัขเล็กหรือสุนัขอายุมาก อาหารบางชนิดเมื่อบดละเอียดจะเป็นฝุ่น และเมื่อถูกน้ำลายจะเหนียวเหนอะติดปากสัตว์ สัตว์ไม่ชอบกินสัตว์ที่กินอาหารบดละเอียดมากเกินไปอาจเป็นแผล (ulcer) ในกระเพาะและทางเดินอาหาร โดยปกติความหยาบ-ละเอียดของอาหารที่บดแล้วสามารถควบคุมได้โดยการเลือกขนาดของรูตะแกรงของเครื่องบด รูตะแกรงที่ใช้ในการบดอาหารสัตว์ทั่วไปมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของรูตั้งแต่ 9.5 มม. และค่อยลดขนาดลงมาคราวละ ½ จนได้ตะแกรง 7 ขนาดหรือเบอร์ โดยเบอร์ที่ละเอียดที่สุดจะมีรูขนาด 100 mesh (100 รูต่อตารางนิ้ว หรือ 645 ตร.มม.) ความละเอียดของอาหารที่บดแล้วอาจวัดได้หลายวิธี Hebblethwaite and Hephherd (1956 อ้างตาม Lawrence, 1985) วัดความละเอียดของอาหารที่บดในรูป Modulus of Finess (MOF) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ที่ละเอียดที่สุด 0.7 จนถึงขนาดที่หยาบที่สุด 7.0 วิธีการคำนวณหา MOF แสดงอยู่ในตารางที่ 2-2

โดยการคิดค่าความละเอียดระบบนี้ ได้มีการจำแนกความละเอียดของการบดอาหารสัตว์ไว้เป็น 3 ขนาด คือ

ก) ขนาดใหญ่ (coarse) คือ อาหารที่บดแล้วยังค้างอยู่บนตะแกรงขนาดรู 9.5 มม., 4.7 มม. และ 7 mesh

ข) ขนาดละเอียดปานกลาง (medium) คือ อาหารที่บดแล้วยังค้างอยู่บนตะแกรงขนาดรู 14 และ 25 mesh

ค) ขนาดละเอียด (fine) คือ อาหารที่บดแล้วยังค้างอยู่บนตะแกรงขนาดรู 52 และ 100 mesh และที่ละเอียดกว่า

ตารางที่ 2-2 วิธีการคำนวณหา Modulus of Finess ของการบดเมล็ดธัญพืช

ขนาดรูตะแกรง ^{1/}	น้ำหนักของส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรง	
	แต่ละชั้น	สะสม
9.5 มม. (3/8 นิ้ว)	W_1	W_1
4.7 มม. (3/16 นิ้ว)	W_2	$W_1 + W_2$
7 mesh	W_3	$W_1 + W_2 + W_3$
14 mesh	W_4	$W_1 + W_2 + W_3 + W_4$
25 mesh	W_5	$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5$
52 mesh	W_6	$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6$
100 mesh	W_7	$W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 + W_7$
<100 mesh	W_8	(ผ่านตะแกรงทุกขนาดตกอยู่ในภาตรอง)
รวมน้ำหนัก	100	$7W_1 + 6W_2 + 5W_3 + 4W_4 + 3W_5 + 2W_6 + W_7$
		$7W_1 + 6W_2 + 5W_3 + 4W_4 + 3W_5 + 2W_6 + W_7$
Finess modulus =		100

^{1/}ขนาดตะแกรงที่แนะนำโดย ASAE (1956 อ้างตาม Lawrence, 1985)

และค่า MOF จากบดละเอียดที่สุด 0.7 ไปจนบดหยาบที่สุด 7.0

ในการบดอาหารแต่ละชุดหากสุ่มออกมาร่อนเพื่อหาความละเอียดจะพบว่ามีส่วนของอาหารหลายขนาดทั้งในกลุ่มหยาบ ละเอียดปานกลาง และละเอียด ดังนั้นการที่จะระบุว่าอาหารที่บดนั้นหยาบหรือละเอียดบางครั้งกระทำไดยาก Hall (1978) จึงใช้สัดส่วนของอาหารขนาดใหญ่ : ปานกลาง : ละเอียด ซึ่งช่วยอธิบายความสม่ำเสมอของขนาดอาหาร (Modulus of Uniformity หรือ Uniformity index) เป็นดัชนีบอกความละเอียดของการบด ดังนี้

- อาหารที่บดหยาบมีค่า uniformity index (ขนาดใหญ่ : ปานกลาง : ละเอียด) 1:8:1
- อาหารละเอียดปานกลาง มีค่า uniformity index (ขนาดใหญ่ : ปานกลาง : ละเอียด) 0:8:2
- อาหารบดละเอียด มีค่า uniformity index (ขนาดใหญ่ : ปานกลาง : ละเอียด) 0:5:5

อาหารที่บดละเอียดทำให้สัตว์ เช่น สุกร กินอาหารได้มากกว่าอาหารที่บดหยาบตลอดจนช่วยเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารให้สูงขึ้น แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดพืชที่บดด้วย (Lawrence, 1985) ในข้าวบาร์เลย์ Lawrence (1970 อ้างตาม Lawrence, 1985) ชี้ให้เห็นว่า อาหารที่บดละเอียด (ผ่านตะแกรง 100 mesh หรือ $1/16$ นิ้ว, MOF 1.42) มีอัตราการย่อยสลายและพลังงานสูงกว่าจึงทำให้อัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพการใช้อาหารของสุกรดีกว่าอาหารที่มีบาร์เลย์บดละเอียดปานกลาง (ตะแกรง $3/10$ นิ้ว, MOF 2.16) หรือบดหยาบ (ตะแกรง $3/8$ นิ้ว, MOF 2.52) ส่วนข้าวโพดที่บดผ่านตะแกรงขนาด $1/2$ นิ้ว (MOF 3.2-3.7) หรือ $1/16$ นิ้ว (MOF 2.1-2.4) ไม่ทำให้อัตราการเจริญเติบโตของสุกรรุ่น-ขุนแตกต่างกันมากนัก (Pickett *et al.*, 1969 อ้างตาม Pond and Maner, 1984) แต่จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้อาหารดีขึ้นกว่าข้าวโพดที่บดหยาบ (Pond and Maner, 1984 อ้างอิง Pickett *et al.*, 1969 และ Perry, 1972) Pond and Maner (1984) แนะนำว่า ธัญพืชที่ใช้เป็นอาหารสุกรควรบดผ่านตะแกรงขนาด $1/4$ - $1/2$ นิ้ว และหากบดให้ได้ค่า MOF ต่ำกว่า 2.2 ก็จะทำให้อัตราการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารดีที่สุด (Lawrence, 1985) อย่างไรก็ตามผลของการบดต่ออัตราการใช้ประโยชน์ได้ของอาหารขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ด้วยอีกประการหนึ่งยังบดอาหารละเอียดมากขึ้นเท่าใดจะยังเพิ่มพลังงานและต้นทุนที่ใช้ในการบดขึ้นเท่านั้น

2.3.2.3 เครื่องบดอาหารสัตว์

เครื่องบดที่ใช้ในวงการอาหารสัตว์มีหลายประเภท ซึ่งใช้หลักการในการอัด (compression) กระแทกหรือตี (impact force) ตัด (shear) หรือสี (attrition) ทำให้เมล็ดพืชแตกและลดขนาดลงจนสามารถลอดผ่านรูตะแกรงขนาดต่าง ๆ ที่เลือกใช้ เครื่องบดอาหารสัตว์ได้รับการพัฒนาตามวัตถุประสงค์จำเพาะจนมีความหลากหลายในด้านประสิทธิภาพการบด และความสิ้นเปลืองพลังงาน ชนิดของเครื่องบดที่ใช้กันทั่วไปมี

ก. เครื่องบดชนิด Hammer mill เป็นเครื่องบดที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีการดัดแปลงให้สามารถใช้ประโยชน์ในแง่ของการลำเลียงอาหารที่บดแล้วออกไป หรือการลดฝุ่น ตลอดจนอัตราการบดต่อหน่วยเวลาจนมีความหลากหลายมากมายหลายแบบและขนาด ตัวเครื่องประกอบด้วย

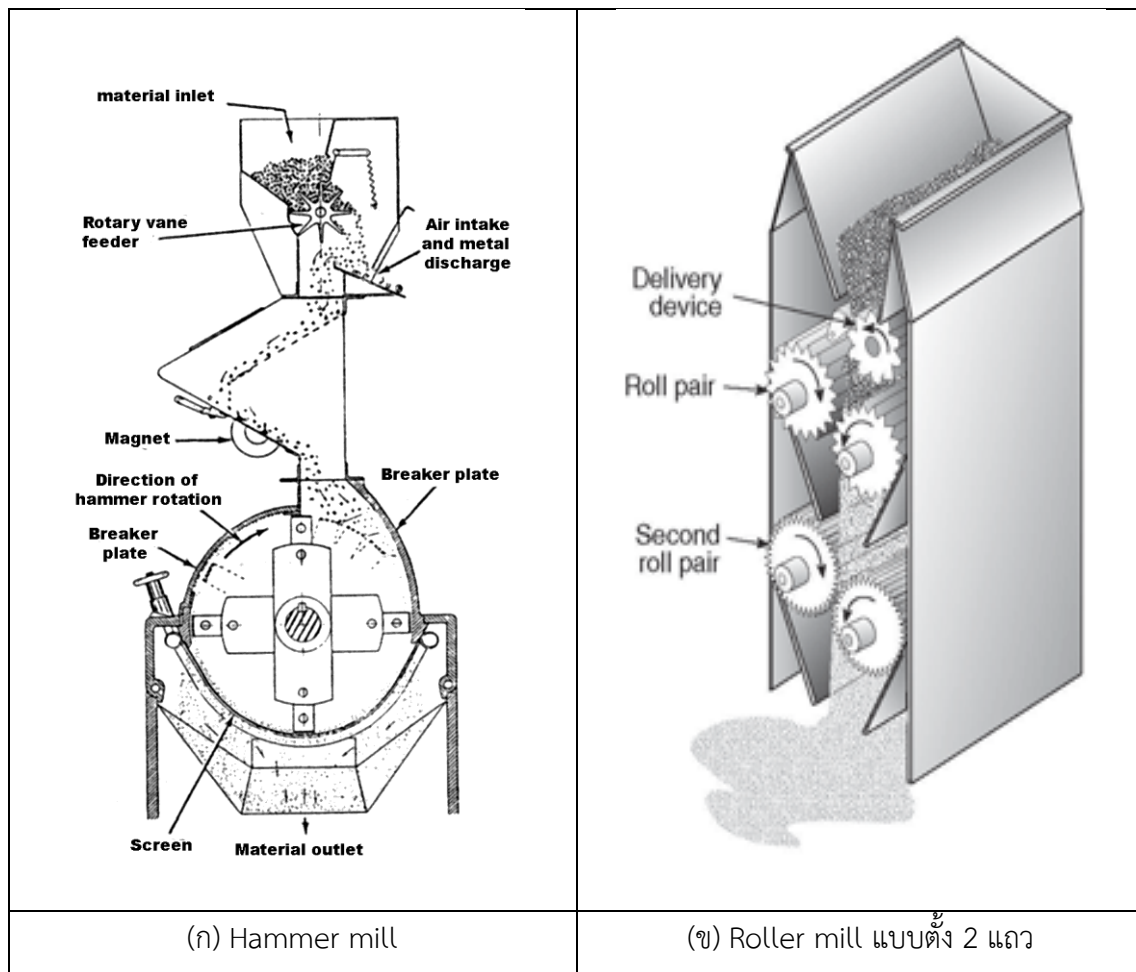
1) ชุดรับอาหารที่จะบดพร้อมระบบควบคุมการปล่อยอาหาร ซึ่งอาจมีแม่เหล็กติดตั้งไว้เพื่อดักจับเศษโลหะที่ปะปนเข้ามา

2) ห้องบด ซึ่งเป็นห้องปิดที่มีกลไกการบดอาหารเป็นเพลลาที่หมุนได้รอบตัว ติดตั้งไว้ด้วยค้อนบดหรือตีอาหาร (hammers) ซึ่งอาจติดตั้งแน่นหรือห้อยไว้เพื่อให้แกว่งตัวตั้งตรงเมื่อเพลลาหมุน ตัวค้อนบดอาหารอาจปรับความสูงต่ำให้มีช่องระหว่างหัวค้อนและผนังห้องบดให้ถี่ห่างได้ตามต้องการ เเพลลาของเครื่องบดเชื่อมต่อกับเครื่องต้นกำลัง ซึ่งอาจเป็นเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้าก็ได้ ปกติแล้วเพลลาจะหมุนด้วยความเร็วประมาณ 3,600 รอบ/นาที

3) ชุดตะแกรง ชุดตะแกรงเป็นแผ่นเหล็กหรือโลหะอื่นที่เจาะรูขนาดต่าง ๆ ไว้ แผ่นละ 1 ขนาด และสามารถติดตั้งสับเปลี่ยนได้ตามต้องการ ตะแกรงติดตั้งคลุมช่องเปิดตอนล่างสุดของห้องบดเพื่อให้อาหารที่บดและลอดผ่านรูตะแกรงได้ลอดออกจากห้องบดได้ และดักอาหารชิ้นใหญ่ ๆ ที่ลอดรูตะแกรงไม่ได้ให้ถูกบดต่อจนได้ขนาดเล็กลง ช่องอาหารที่บดแล้วไหลออกนี้อาจออกแบบต่อเนื่องเข้ากับระบบลำเลียงอาหาร ซึ่งอาจเป็น กระพ้อ ท่อลำเลียงแบบเกลียว ระบบพัดลมดูด หรือระบบอื่น ๆ ก็ได้

นอกจากส่วนประกอบหลักเหล่านี้แล้ว อุปกรณ์เสริม อาทิ ชุดลำเลียงอาหารทั้งก่อนและหลังบด ไซโคลนหรือถุงผ้าสำหรับจับฝุ่น พัดลมช่วยระบายความร้อน และ/หรือส่งอาหารที่บดแล้วตลอดจนอุปกรณ์การบรรจุ สามารถติดตั้งหรือดัดแปลงเข้ากับเครื่องบดชนิดนี้เพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานและประหยัดแรงงาน

ภาพที่ 2-1 แสดงส่วนประกอบหลัก ๆ ของเครื่องบดแบบ hammer mill และเครื่องบดแบบลูกกลิ้ง (roller mill) ชนิดตั้งลูกกลิ้ง 2 ชั้นไว้เพื่อเปรียบเทียบ



ภาพที่ 2-1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องบดแบบต่าง ๆ

ที่มา: http://www.feedmachinery.com/glossary/equipment/roller_mills/

ข. เครื่องบดแบบ roller mill (ภาพที่ 2-1) เป็นเครื่องบดที่ใช้หลักการทำงานของลูกกลิ้ง 2 ลูก หมุนในทิศทางตรงกันข้ามด้วยความเร็วเท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้ ผิวของลูกกลิ้งอาจเป็นร่องที่มีผิวหยาบและสาก ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองสามารถปรับให้ชิดหรือห่างได้ตามต้องการ วัตถุดิบอาหารสัตว์จะถูกป้อนจากทางด้านบนของลูกกลิ้ง ในกรณีที่ลูกกลิ้งมีขนาดเท่ากันและหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน เมื่อลูกกลิ้งหมุนวัตถุดิบจะถูกขบให้แตกมีขนาดเล็กพอที่จะลอดผ่านร่องของลูกกลิ้งลงไป หากลูกกลิ้งมีขนาดไม่เท่ากันหรือหมุนด้วยความเร็วต่างกัน อาหารจะถูกขัดสีให้มีขนาดเล็กลงจนสามารถลอดช่องของลูกกลิ้งลงไปได้ ความเร็วของลูกกลิ้งของเครื่องบดชนิดนี้อยู่ที่ประมาณ 50-300 รอบต่อนาที ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องบดแบบ roller mill จนมีความหลากหลายไปในหลายแง่ อาทิ จำนวนคู่ของลูกกลิ้ง (ซ้อนชั้นละคู่) ชนิดของร่องบนผิวลูกกลิ้ง ตลอดจนการประยุกต์ใช้ในการบุง (rolling) และอัดแผ่น (flaking) เมล็ดพืชที่ผ่านการทำให้ร้อน

แล้วนิยมใช้ในการแปรรูปอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง และธัญพืชอาหารสัตว์ที่มีเยื่อใยสูง เช่น ข้าวสาลี โธ่ และ บาร์เลย์ เป็นต้น

ค. เครื่องบดชนิดอื่น ๆ เป็นเครื่องบดที่ไม่ค่อยใช้มากนักในวงการอาหารสัตว์ แต่อาจใช้ในอุตสาหกรรมแป้ง อาหารมนุษย์ อุตสาหกรรมนม หรือโรงงานปลาป่น ตัวอย่างของเครื่องบดเหล่านี้มี toothed-disc mill (ใช้แรงขัดและสีระหว่างจานหมุนที่มีฟัน 2 จานหรือจานเดียว กับผนังห้องบด) wing-beater mill, disc-beater mill และ pinned-disc mill เป็นต้น

2.3.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบดอาหาร

ประสิทธิภาพของการบดในแง่ความยาก-ง่ายในการบด การสูญเสียระหว่างการบด ความละเอียดและความสม่ำเสมอของอาหารที่บดได้ และอื่น ๆ อาจผันแปรไปได้กับปัจจัยต่าง ๆ มากมาย ปัจจัยที่สำคัญ ๆ มีอาทิ

ก. ความชื้นของวัตถุดิบ วัตถุดิบที่มีความชื้นสูงเมื่อโดนกระแทกหรือตีจะแตกยาก ต้องใช้แรงมากขึ้น และแป้งที่ถูกบดออกจะเหนียวอุดรูตะแกรง ทำให้เครื่องบดติดขัดได้ง่าย ประสิทธิภาพการบดต่ำลง จึงควรบดอาหารที่มีความชื้นไม่เกิน 14%

ข. ระดับไขมันในวัตถุดิบ มีลักษณะคล้ายความชื้น วัตถุดิบที่บดแล้วเหนียวอุดรูตะแกรงได้ง่าย ตะแกรงตัน ประสิทธิภาพการบดลดลง หากมีไขมันต่ำจะบดง่าย แต่มีอัตราการสูญเสียโดยเป็นฝุ่นสูง

ค. ระดับของเยื่อใยในอาหาร อาหารที่มีเยื่อใยสูงต้องใช้แรงมากในการตัดให้ขาด เพราะเยื่อใยมักจะเหนียวและเคลื่อนตัวไปกับก้อนบดมากกว่าที่จะเกาะกับผนังห้องบด ทำให้บดได้ช้า เยื่อใยในข้าวเปลือกมี silica อยู่สูง ทำให้หัวค้อนบดสึกหรอเร็ว

ง. ชนิดของวัตถุดิบ เกี่ยวเนื่องกับชนิดของแป้ง เช่น มันสำปะหลังมีแป้งอ่อน บดง่าย แต่มีการสูญเสียเป็นฝุ่นสูง ข้าวโพดมีแป้งแข็งห่อหุ้มอยู่ภายนอก บดให้มีขนาดเล็กลงตามต้องการได้ยากกว่าแป้งอ่อนภายใน จึงต้องเสียกำลังงานสูงกว่าการบดมันสำปะหลัง เป็นต้น

จ. ขนาดและการออกแบบตะแกรง หากใช้ตะแกรงละเอียดการบดจะต้องใช้กำลังงานมากกว่าตะแกรงหยาบ ตะแกรงที่มีพื้นที่มากจะช่วยให้บดได้เร็วขึ้นกว่าตะแกรงที่มีพื้นที่น้อย นอกจากนี้ชนิดของค้อนที่ดีก็มีผลต่อประสิทธิภาพของการบด ค้อนที่ติดตั้งตายตัวมีประสิทธิภาพต่ำกว่าชนิดแขวนห้อยไว้

รวมความแล้ว การบดวัตถุดิบอาหารสัตว์ให้ได้ขนาดพอเหมาะมีความสำคัญต่อการกินอาหาร การเจริญเติบโต และประสิทธิภาพการใช้อาหารเป็นอย่างมาก Pond and Maner (1984) แนะนำว่า ควรบดธัญพืชให้ละเอียดปานกลาง เพื่อสัตว์จะได้ย่อยและใช้โภชนาได้สูงสุดพร้อม ๆ กับป้องกันการเกิด

แผลในกระเพาะและหลอดอาหาร (esophagogastric lesions) อย่างไรก็ตามการบดอาหารเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต ดังนั้นจะบดวัตถุดิบชนิดใดให้ละเอียดแค่ไหน จึงต้องคำนึงถึงชนิดสัตว์ที่จะใช้อาหารนั้น อีกประการหนึ่งอาหารที่บดแล้วเสื่อมคุณภาพโดยการดูดความชื้นกลับ ขึ้นรา และถูกแมลงศัตรูทำลายง่ายกว่าอาหารที่ยังเป็นเม็ด จึงควรใช้อาหารที่บดแล้วให้หมดเร็วที่สุด ไม่ควรสต็อก อาหารที่บดแล้วนานเกินไป

2.3.3 การแปรรูปโดยใช้ความร้อน (heat treatments)

การใช้ความร้อนช่วยในการแปรรูปอาหารอาจกระทำได้โดยการใช้ความร้อนแห้ง (dry heat) หรือใช้ความร้อนชื้น (moist heat) หลายวิธีการดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น การใช้ความร้อนแปรรูปอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องมักจะไม่เป็นการแปรรูปเบ็ดเสร็จในตัวเอง แต่จะเป็นขั้นตอนของขบวนการแปรรูปลักษณะอื่นควบมาด้วย อาทิ การแยกไขมัน การอัดเม็ด การเอกซ์ทรูด และการแปรรูปต่อเนื่องอื่น ๆ การให้ความร้อนอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องที่ใช้กันอยู่เสมอ ๆ ได้แก่

2.3.3.1 การใช้ความร้อนแห้ง (dry heat treatments) ซึ่งมีวิธีการจำเพาะดังนี้

ก. การปิ้งหรือย่าง (roasting) วัตถุดิบจะเคลื่อนตัวโดยสายพานลำเลียงผ่านห้องอบที่หมุนตัวตลอดเวลา (rotating chamber) วัตถุดิบจะสัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง และถูกทำให้ร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 140 °C (300 °F) เป็นระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 3-5 นาที อุณหภูมิของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ออกจากห้องอบอยู่ที่ประมาณ 125 °C และอาหารที่สุกแล้วมักจะถูกแปรรูปต่อไปด้วยการบด (rolling) หรืออัดแผ่น (flaking) ก่อนใช้

วัตถุดิบอาหารสัตว์อาจถูกทำให้ร้อนโดยการคั่วหรืออบ (toasting) ในระดับอุณหภูมิใกล้เคียงกัน (100-140 °C) เพียงแต่จะไม่สัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง และอาจใช้ระยะเวลาที่คั่วหรืออบนานกว่าเล็กน้อย

ข. Popping หรือ jet-sploding เมล็ดพืชถูกอบด้วยความร้อนสูงอย่างรวดเร็ว จนแตกบาน (popped) เมล็ดพืชที่จะแตกบานได้ดีควรมีความชื้น 15-20% เมื่อถูกทำให้ร้อนอย่างรวดเร็ว (15-120 วินาที) การเป่าลมร้อนอุณหภูมิสูง (260-280 °C) ผ่านโดยไม่สัมผัสกับเปลวไฟโดยตรง อุณหภูมิภายในเมล็ดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึงประมาณ 150 °C อนุของน้ำภายในเมล็ดถูกความร้อนสูงสั่นสะเทือนและระเหยอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดความดันทำให้เซลล์ของเม็ดแตก และ gelatinized เมล็ดพืชแตกบานออก และอาจถูกแปรรูปต่อไปเนื่องด้วยการบดหรืออัดแผ่นก็ได้

เมล็ดพืชที่ออกจากห้อง jet-sploding มีอุณหภูมิประมาณ 90-95 °C และมีสัดส่วนการแตกบานสูงเกือบ 100% ในขณะที่การคั่วด้วยการสัมผัสเปลวไฟโดยตรง (popping) ถูกทำให้ร้อนให้อุณหภูมิภายในเมล็ดสูงถึง 150-155°C จะมีสัดส่วนการแตกบานประมาณ 45%

ค. **Micronizing** หรือการทำให้ร้อนด้วยรังสีคลื่นสั้น (microwaves) รังสีคลื่นสั้นที่ใช้มีความยาวคลื่น 2-6 ไมครอน เป็นรังสีที่แผ่ออกมาจากเซรามิกที่ถูกเผาให้ร้อนจัดโดยเปลวก๊าซ/อากาศของเตาเผาอินฟราเรด (infrared burner) เซรามิกที่ร้อนแดงจนเรืองแสงที่เรียกว่า bright line spectrum จะแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าในกลุ่มของรังสีได้แดง (infrared) ไปยังเมล็ดพืชที่ถูกเคลื่อนผ่านบนสายพานลำเลียงชนิดที่เขย่าอยู่ตลอดเวลา เมล็ดพืชจะดูดรังสีทำให้อุณหภูมิภายในเมล็ดเพิ่มขึ้นสู่ระดับ 110-115 °C อย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของน้ำและโภชนะภายในเมล็ดสั่นสะเทือนอย่างแรง แรงเสียดสีระหว่างอุณหภูมิและความดันไที่เกิดจากการระเหยความชื้นทำให้เมล็ดแบ่งพองตัว แตก และ gelatinized เมล็ดพืชที่สุกแล้วจะถูกแปรรูปต่อเนื่องโดยการบุงและทิ้งให้เย็น

2.3.3 การใช้ความร้อนชื้น (moist heat treatments) ความร้อนชื้นที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ส่วนใหญ่ใช้น้ำ ซึ่งอาจใช้ตามปกติหรือภายในหม้อนึ่งความดัน อาหารที่นึ่งแล้วมักแปรรูปต่อเนื่องโดยกรรมวิธีอื่น ๆ เช่น อัดแผ่น อัดเม็ด extrusion และกรรมวิธีอื่น ๆ ดังตัวอย่าง

ก. **การต้ม (Cooking หรือ Boiling)** การแปรรูปโดยวิธีนี้ทำกันน้อยมากในต่างประเทศ แต่ในประเทศไทยการต้มอาหารเลี้ยงสุกรเป็นที่นิยมนักมากในกลุ่มเกษตรกรรายย่อยในชนบท ข้อมูลเกี่ยวกับการเปรียบเทียบคุณค่าทางโภชนาการของอาหารต้มและอาหารดิบยังมีน้อยมาก ควรที่จะได้ศึกษาโดยละเอียด ข้อดีที่น่าจะเกิดขึ้นจากการต้มก็คือ เพิ่มอัตราการย่อยได้ของโภชนะบางชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนจากพืช ช่วยทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่นำโรค ตลอดจนพยาธิที่ติดมากับเศษอาหาร ข้อเสียหายก็จะอยู่ที่การสูญเสียโภชนะ เช่น วิตามินบี และกรดอะมิโนบางตัว

ข. **การนึ่ง (steaming)** และการแปรรูปต่อจากการนึ่ง ในประเทศไทยยังนิยมน้อยมาก ในประเทศตะวันตกนิยมใช้กับธัญพืชสำหรับขุนสัตว์เคี้ยวเอื้อง ซึ่งผลที่ได้จะทำให้คุณค่าทางโภชนาการของอาหารสูงขึ้น และผลเสียที่เกิดกับโปรตีนและวิตามินมักจะไม่มีผลต่อสัตว์เคี้ยวเอื้องมากนัก

ค. **การบุงหรืออัดแผ่นอาหารนึ่ง (steam rolling หรือ steam flaking)** ไอน้ำจะถูกส่งเข้าอบวัตถุดิบอาหารสัตว์ในหม้อนึ่งประมาณ 15-20 นาที อุณหภูมิของเมล็ดพืชจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นถึง 95-99 °C แล้วเมล็ดจะถูกเคลื่อนย้ายไปแปรรูปต่อเนื่องในการบุง (rolled) หรืออัดให้เป็นแผ่นบาง (flakes) หรือเป็นแผ่นคลื่น (crimps) ตามต้องการ เม็ดแบ่งเมื่อได้รับความร้อนชื้นจะพองตัวและสุกเป็นลักษณะของ gelatinized starch สัตว์ย่อยได้ง่าย แป้งธัญพืชจะสุกเป็น gelatinized materials ที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 °C (Greenwood, 1970)

การนึ่งวัตถุดิบอาหารสัตว์อาจทำโดยใช้หม้อนึ่งความดัน (pressure cooker) ซึ่งไอน้ำจะถูกอัดเข้าสู่หม้อนึ่งที่มีวัตถุดิบอาหารสัตว์อยู่ที่ประมาณ 50 psi และนึ่งนาน 1-2 นาที แล้วเคลื่อนย้ายออกหรือเติมชุดใหม่โดยระบบ air lock valve ขณะที่อยู่ในหม้อนึ่งเมล็ดพืชได้รับความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ

149 °C และเมื่อออกมาอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 93 °C มีความชื้นประมาณ 20% เหมาะที่จะนำไปแปรรูปต่อเนื่องโดยการบุงหรืออัดแผ่นได้ผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า pressure-rolled หรือ pressure-flaked products ซึ่งมีแป้งที่ย่อยได้สูงและไม่เปราะแตกเมื่อนำมาผสมอาหาร

ง. Exploding หรือการระเบิดเมล็ดพืชด้วยไอน้ำภายใต้ความดันสูง เมล็ดพืชถูกนึ่งในหม้อความดันที่มีความหนาแน่นสูง ภายใต้ความดันไอน้ำประมาณ 250 psi เป็นเวลาประมาณ 20 วินาที ที่ความดันดังกล่าวไอน้ำจะแทรกซึมเข้าสู่ภายในเมล็ดอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อเมล็ดพืชถูกเคลื่อนย้ายออกสู่บรรยากาศอย่างรวดเร็ว ความดันไอน้ำจะทำให้แป้งซึ่งสุกพองแล้วขยายตัวอย่างรวดเร็ว เพิ่มขนาดเป็นหลายเท่าของขนาดเดิม เมล็ดแตกออก เปลือกเมล็ดหลุดล่อนออกในเวลาเดียวกัน แป้งมีการย่อยได้เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก และเมล็ดที่ explode แล้วอาจถูกนำไปแปรรูปต่อเนื่องได้

ในเชิงโภชนาการการให้ความร้อนแก่อาหารสัตว์เป็นเสมือนดาบสองคม คือ มีทั้งช่วยปรับปรุงการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะบางชนิด และทำลายหรือลดการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะชนิดอื่น Voragen *et al.* (1995) ได้สรุปปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับโภชนะหลัก 3 โภชนะ คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ในระหว่างการให้ความร้อน ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 การเปลี่ยนแปลงของโภชนะหลักในอาหารโดยความร้อน

คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน
Maillard reaction	Maillard reaction	Oxidation (auto)
Caramelization	LAL/LAN formation	Thermal degradation
Solubilization	Doamidation	Cis/trans isomerization
Resistant starch formation	D-amino acid formation	Polymerization
	Iso-peptide formation	Formation of Maillard reactants
	Denaturation	

ที่มา: Voragen *et al.* (1995)

จากตารางอาจสรุปได้ว่า การให้ความร้อนมีผลต่อโภชนะหลักดังนี้

1) คาร์โบไฮเดรต ความร้อนแห้งที่อุณหภูมิสูงมาก ๆ ทำให้น้ำตาล (reducing sugars) เข้าร่วมในปฏิกิริยาเกิดน้ำตาลไหม้ (caramelization) ทำให้กลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไป ในขณะเดียวกันก็เข้าทำปฏิกิริยายึดเกาะกับกลุ่มอามิโนอิสระของโปรตีนโดย Maillard reaction ทำให้เกิด glycosylamines ซึ่งหลังจากจัดเรียงตัวภายในอุณหภูมิเกิดเป็น Amadori (aminoketose) หรือ Heyns (aminose) products ซึ่งน้ำย่อยของสัตว์ย่อยไม่ได้ ทำให้กรดอะมิโน โดยเฉพาะไลซีนและน้ำตาลที่เกี่ยวข้องไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ความร้อนร่วมกับการแปรรูปทางกายภาพทำให้ polysaccharides ที่ไม่ใช่แป้ง (NSP) ในผนังเซลล์ถูกสลายตัวปลดปล่อยแป้งและโภชนะภายในเซลล์ออกมา แป้งเมื่อสัมผัสกับความชื้นจะเกิดการพองตัวและแปรสภาพเป็นแป้งเปียก (swell and gelatinized) เพิ่มการละลายในน้ำได้ ทำให้เอนไซม์ของน้ำย่อยเข้าย่อยสลายได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนในบางสภาพการณ์อาจเกิดแป้งที่ย่อยไม่ได้ (resistant starch) ขึ้นได้ เช่น อาจเกิดการจัดเรียงผลึกใหม่ของอามิโลส (recrystallization of solubilized amylose) ได้ผลึกในลักษณะคล้ายกับผลึกแป้งแบบ B-type ที่มีในธรรมชาติซึ่งย่อยไม่ได้ หรือแม้แต่เม็ดแป้งที่ฝังตัวในผนังเซลล์ก็ย่อยไม่ได้เช่นเดียวกัน

ดังนั้น โดยสรุปความร้อนช่วยทำให้แป้งสูกย่อยได้ดีขึ้น แต่ความร้อนแห้งที่อุณหภูมิสูงเกินไป อาจมีคาร์โบไฮเดรตบางส่วนถูกแปลงรูปโดยปฏิกิริยาทางเคมีให้ย่อยได้ลดลง ความร้อนขึ้นมีผลในการช่วยเพิ่มการย่อยแป้งได้ดีกว่า และทำให้เกิดคาร์โบไฮเดรตที่ย่อยไม่ได้น้อยกว่าความร้อนแห้ง

2) โปรตีน การให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงและมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ โปรตีนเพปไทด์ และกรดอะมิโนที่มีกลุ่มอามิโนเอ็บซิลอนอิสระ จะเข้าทำปฏิกิริยา Maillard reaction กับ reducing sugars ทำให้สัตว์นำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ นอกจากนั้นการให้ความร้อนในสภาพที่เป็นต่างทำให้กรดอะมิโนที่จำเป็นในสายโปรตีนจับตัว (cross-linking) กัน และเมื่อสายโปรตีนถูกย่อยจะได้สารประกอบแปลก ๆ เช่น lysinoalanine (LAL) หรือ lanthionine (LAN) ซึ่งย่อยไม่ได้ L-amino acid อาจถูกแปลงรูปโดยความร้อนให้เป็น D-amino acid ซึ่งไม่มีคุณค่าทางโภชนาการ การให้ความร้อนภายใต้ pH เป็นกลาง และความชื้นต่ำ อาจทำให้เกิดพันธะ iso-peptide โดยการ cross-link แทนที่พันธะเพปไทด์ปกติ ปฏิกิริยาทั้งหลายเหล่านี้เมื่อรวม ๆ กันแล้วทำให้การย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนในอาหารลดลง

อย่างไรก็ตาม ความร้อนมีผลทำให้โปรตีนสลายตัว หรือ denatured และตกตะกอน ภายใต้สภาพการณ์นี้อัตราการละลายได้ของโปรตีน (protein solubility) ลดลง และอัตราการย่อยได้เพิ่มขึ้น โปรตีนบางกลุ่มซึ่งมีฤทธิ์เป็นสารยับยั้งการใช้โภชนะในอาหาร อาทิ lectins, trypsin inhibitors และ thiaminase ก็จะถูก denature ยังผลให้การใช้โภชนะที่ถูกยับยั้งโดยโปรตีนเหล่านี้เพิ่มขึ้น ในกรณีของ

trypsin inhibitors ในพืชตระกูลถั่ว ซึ่งเมื่อออกฤทธิ์จะทำให้ความต้องการกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก ดังนั้นเมื่อสารยับยั้งนี้ถูกทำลายโดยความร้อน ก็จะทำให้กรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์ถูกนำไปใช้ในกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ได้สูงขึ้น อีกนัยหนึ่งการให้ความร้อนแก่ถั่วทำให้ช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์อยู่ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

3) ไขมัน ความร้อนช่วยให้เซลล์ไขมันแตกปลดปล่อยไขมันออกมาให้สัตว์สามารถย่อย และนำไปใช้ประโยชน์ได้เพิ่มขึ้น อีกประการหนึ่งความร้อนทำให้เอนไซม์ lipoygenase สูญเสียกัมมันตภาพ (inactivated) ลดการเกิด oxidation ที่เอนไซม์นี้กระตุ้นลง ทำให้ไขมันไม่ถูกสลายตัว สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ อย่างไรก็ตามความร้อนกระตุ้นขบวนการ chemical oxidation ได้สารประกอบที่เป็นตัวกระตุ้น Maillard reaction สารที่ทำให้กลิ่นรสของอาหารเปลี่ยนไป หรืออาจทำปฏิกิริยากับโปรตีนทำให้โปรตีนและไขมันที่สัตว์ใช้ประโยชน์ได้ลดลง นอกจากนี้ความร้อนสูงอาจทำให้ไขมันที่ไม่อิ่มตัว isomerise จาก cis ไปเป็น trans และ dimerize หรือ polymerize สาย acyl ของกรดไขมัน (cross-linking) เพิ่มความหนืดของอาหาร และกระทบต่อการย่อย การใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะในอาหาร

รวมความแล้วการให้ความร้อนแก่อาหาร หากกระทำโดยถูกต้องเหมาะสม ทั้งในแง่ของอุณหภูมิ ความชื้น และชนิดของอาหารที่จะทำให้อสุก ก็จะมีผลในการเพิ่มการย่อยได้ของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน โดยไม่ทำลายวิตามินที่ไวต่อความร้อนมากนัก แต่หากกระทำโดยไม่ถูกต้องผลที่ได้จะเป็นไปในทางตรงกันข้าม ความร้อนขึ้นให้ผลในการเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์ได้ดีกว่าความร้อนแห้ง Pond and Maner (1984) สรุปผลจากการสำรวจงานวิจัยการให้ความร้อนแก่อาหารสุกร ดังนี้

การให้ความร้อนขึ้นช่วยเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของอาหารสัตว์ได้ดีกว่าความร้อนแห้ง

ความร้อนช่วยให้แป้งสุกและพองตัว เอนไซม์ย่อยได้ง่ายยิ่งขึ้น จึงมีผลในการช่วยเพิ่มการย่อยได้ของแป้งในอาหารสัตว์บางชนิด เช่น มันเทศ และมันฝรั่ง แต่ไม่ได้ช่วยเพิ่มการย่อยได้ของแป้งในธัญพืช เช่น ข้าวโพด (ซึ่งปกติก็ย่อยได้สูงอยู่แล้ว) ขึ้นเลย

สำหรับพืชตระกูลถั่วเกือบทุกชนิด ความร้อนในระดับ 120 °C ในเวลา 30 นาที หรือ 140-150 °C ไม่เกิน 2.5 นาที ทำลายสารยับยั้งการใช้โภชนะและสารพิษบางชนิด ตลอดจนช่วยเพิ่มการย่อยได้และการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ทำให้คุณค่าทางโภชนาการโดยรวมดีขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าให้ความร้อน โดยเฉพาะความร้อนแห้งที่อุณหภูมิสูง และ/หรือเวลานานกว่านี้ จะทำให้อัตราการย่อยได้ของโปรตีนและคุณค่าทางโภชนาการลดลง โดยเฉพาะระดับของไลซีนที่ใช้ประโยชน์ได้จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด สำหรับเมล็ดฝ้ายการให้ความร้อนในการอัดน้ำมันด้วยเครื่องอัดเกลียว (<135.5 °C) ช่วยทำลาย กอสซิพอลอิสระลงได้เกือบหมด แต่ไลซีนที่ใช้ประโยชน์ได้ลดลงร่วม 20%

การให้ความร้อนแก่แหล่งโปรตีนจากสัตว์ ให้ประโยชน์ในแง่ช่วยฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมา ช่วยให้เซลล์ไขมันแตกตัว และขจัดความชื้น ตลอดจนช่วยทำลายเอนไซม์ thiaminase ในปลา นอกเหนือจากนี้การให้ความร้อนไม่ให้ประโยชน์อื่น ตรงกันข้ามจะมีผลทำให้อัตราการย่อยได้ของโปรตีนลดลง และทำลายวิตามินบีที่ไวต่อความร้อน ในกรณีของปลาป่นการให้ความร้อนสูง (เกิน 149 °C) นาน ๆ จะลดคุณค่าทางโภชนาการ โดยลดการใช้ประโยชน์ได้ของกรดอะมิโนที่จำเป็นลง และอาจเกิดสารพิษในกลุ่ม histamine และ gizzerosine ขึ้นได้

2.3.4 การอัดเม็ด (pelleting)

2.3.4.1 วัตถุประสงค์ของการอัดเม็ดอาหารสัตว์

การอัดเม็ดอาหาร คือ การทำอาหารให้เป็นก้อนหรือเม็ดแน่น โดยการอัดผ่านเข้าไปในรูของจานอัด (die holes) โดยใช้แรงอัดทางกายภาพ การอัดเม็ดอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องเป็นวิธีการแปรรูปอาหารสัตว์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพื่อวัตถุประสงค์ที่สำคัญ ๆ ดังนี้

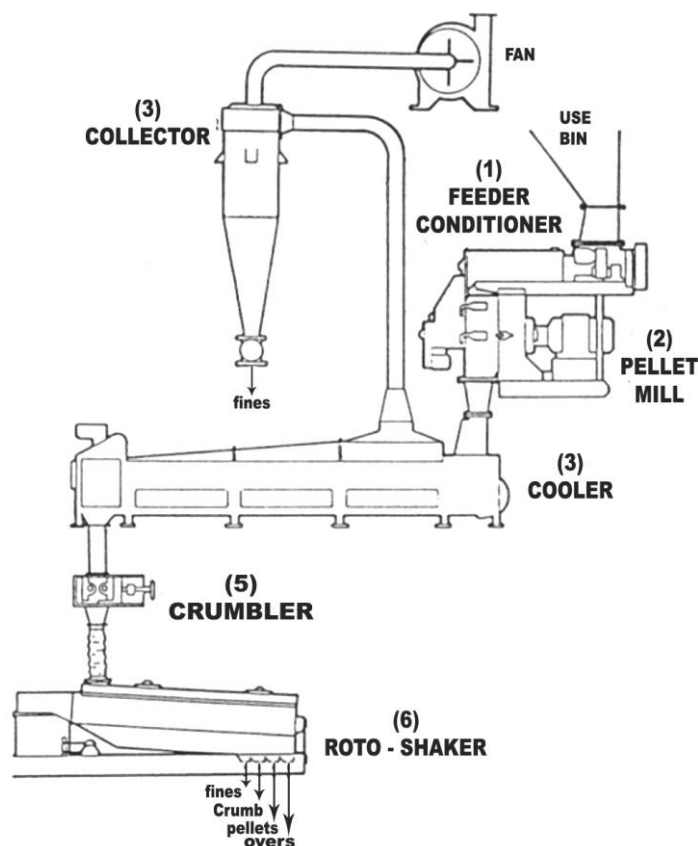
- ก) เพื่อเพิ่มรสชาติความน่ากินของอาหาร เนื่องจากมีผงและฝุ่นน้อย
- ข) เพื่อป้องกันการแยกตัวของส่วนประกอบของอาหาร ทำให้สัตว์เลือกกินไม่ได้ จึงได้รับโภชนาที่สมดุลในอาหารแต่ละเม็ดที่สัตว์กิน
- ค) สะดวกในการจัดการ เช่น ให้อาหารด้วยรางอัตโนมัติ ซึ่งอาหารไหลสะดวก ไม่ติดขัด หรือการโรยอาหารให้กินในที่ลุ่มจัด ๆ อาหารไม่ฟุ้งและปลิวสูญหายไป
- ง) เพิ่มความหนาแน่นของอาหาร ทำให้เป็ลื่องเนื้อที่เก็บน้อย ขนส่งเคลื่อนย้ายสะดวก ประหยัดแรงงาน
- จ) เพิ่มคุณค่าทางโภชนาการของวัตถุดิบบางชนิดโดยความร้อนและแรงดัน ซึ่งช่วยในการฆ่าเชื้อโรค ทำลายสารพิษและสารยับยั้งการใช้โภชนา เพิ่มการย่อยและใช้ประโยชน์ได้ของโภชนาในอาหาร

2.3.4.2 กรรมวิธีในการอัดเม็ดอาหาร (Moran, 1989)

ขั้นตอนในการอัดเม็ดอาหารสัตว์มีการปรับสภาพอาหารด้วยไอน้ำ (conditioning) การอัดผ่านรูของจานอัด (die extrusion) และการทิ้งให้เม็ดเย็นและแห้ง (cooling and drying) ดังแสดงในภาพที่ 2-2

ก. การปรับสภาพอาหารก่อนอัด อาหารที่จะอัดเม็ดจะปรับสภาพด้วย ไอน้ำก่อนหรือไม่ปรับก็ได้ แต่ส่วนใหญ่มักปรับสภาพก่อน การปรับสภาพอาหารกระทำโดยการพ่นไอน้ำเข้าไปในอาหาร พร้อมกับการผสมคลุกเคล้าอยู่ตลอดเวลา 10-30 วินาที แล้วจึงจะเคลื่อนเข้าสู่จานอัด ในขั้นตอนนี้

ความชื้นของอาหารเพิ่มขึ้นประมาณ 5% และอุณหภูมิของส่วนผสมเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 70-90 °C แรงดันไอน้ำจะเป็นปัจจัยสำคัญที่จะเพิ่มความชื้นและอุณหภูมิของอาหารก่อนอัด



ภาพที่ 2-2 ระบบเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์พร้อมเครื่องบดเม็ดอาหาร (1) ส่วนปรับสภาพอาหาร (2) ส่วนอัดเม็ด (3) เครื่องทำให้เม็ดเย็น (4) ระบบจับฝุ่นและอาหารผง (5) เครื่องบดเม็ด และ (6) ตะแกรงร่อน

ข. การอัดผ่านรูของจานอัด อาหารที่จะอัดเม็ดถูกอัดผ่านรูของจานอัดโดยแรงอัดของลูกกลิ้งที่มีผิวเป็นร่องจับอาหาร (rollers) จานอัดที่ใช้มีรูหลายขนาด และมีความหนา (ความยาวของรูที่เจาะ) ประมาณ 7-10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของรู แรงเสียดสีที่เกิดขึ้นขณะที่อาหารอัดผ่านรูจะทำให้เกิดความร้อนเพิ่มเติม ความร้อนที่เกิดขึ้นผันแปรไปกับขนาดและความยาว (ลึก) ของรู ตลอดจนกับการออกแบบรู จานอัดว่าจะให้แรงดันค่อย ๆ ลดลงเมื่ออาหารจะหลุดจากรูอัดหรือไม่ ความชื้นในอาหารช่วยให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ทำให้แป้งสุก (gelatinize) ซึ่งจะมีผลต่อเนื่องไปถึงการจับกันเป็นเม็ดของอาหาร ตลอดจนช่วยหล่อลื่นให้อาหารเคลื่อนผ่านรูอัดง่ายขึ้น ลดแรงเสียดสีลง โดยปกติเม็ดอาหารที่ผ่านออกมาจากรูอัดจะมีความชื้นเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 5°C หากอาหารได้รับการปรับสภาพด้วยไอน้ำก่อน ในกรณีที่อาหารไม่ได้รับการปรับสภาพด้วยไอน้ำก่อนอัด อุณหภูมิของอาหารที่ผ่านจานอัดเพิ่มขึ้นประมาณ 25 °C

ค. การปล่อยให้เม็ดอาหารเย็นและแห้ง อาหารเม็ดที่ผ่านงานอัดมาใหม่ ๆ จะยังร้อน จึงใช้ลมเป่าทำให้ค่อย ๆ เย็นลงจนมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง 6-8 °C ขณะเดียวกันความชื้นในเม็ดอาหารจะถูกระเหยออกไปจนลดลงเหลือเท่า ๆ กับความชื้นในอาหารผกก่อนการพ่นไอน้ำ หรือสูงกว่าเล็กน้อย หลังจากนั้นก็จะถูกลำเลียงเข้าสู่ drying cyclone เพื่อทิ้งให้เย็นเท่าอุณหภูมิของบรรยากาศ และบรรจุถุงอาหารเม็ดที่ลำเลียงไปเพื่อบรรจุ จะผ่านตะแกรงร้อนเพื่อแยกเอาผงหรือเม็ดที่แตกหักมีขนาดเล็ก (fines) ไปอัดเม็ดใหม่

2.3.4.3 ความเปลี่ยนแปลงของอาหารที่เกิดขึ้นระหว่างการอัดเม็ดและความเสถียรของเม็ดอาหาร (Moran, 1989)

ความร้อน ความชื้น และแรงอัด เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบของวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผ่านการอัดเม็ด ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอาจสรุปได้ดังนี้

ก. แป้ง ผลึกแป้งเกิดจากการที่เฮลิคซ์ของอัมัยโลสถูกรวบรวมและอัดเรียงกันอยู่โดยที่มีอัมัยโลเพคตินเป็นตัวต่อเชื่อมให้อยู่รวมกลุ่มกัน แนวการเรียงเฮลิคซ์จะเรียงตั้งฉากกับพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้น้ำสามารถแทรกซึมเข้าในเม็ดแป้งได้ ความร้อนขึ้นกระตุ้นอัตราการแทรกซึมของน้ำเข้าสู่เม็ดแป้ง ทำให้เม็ดแป้งพองตัวและสูญเสียสภาพการเรียงตัวแบบผลึกไป แป้งสุก (gelatinized starch) จะเกิดขึ้น เมื่อเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่แต่ยังมีการเรียงตัวแบบผลึกหลวม ๆ ความร้อนที่เพิ่มเติมจากจุดที่แป้งสุกจะทำให้ผนังของเม็ดแป้งหลวม (melting) ปลดปล่อยโพลิเมอร์ของแป้งออก เหลืออัมัยโลเพคตินอิสระ ซึ่งจะช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะของเม็ดอาหาร ทำให้เม็ดอาหารมีความเสถียรดีขึ้น แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างการอัดผ่านรูของงานอัดจะกระตุ้นการหลอมของเม็ดแป้ง ทำให้มีการปลดปล่อยโพลิเมอร์ของแป้งออกมามากขึ้น โพลิเมอร์ของแป้งที่ถูกปลดปล่อยมาถูกย่อยโดยเอนไซม์ได้ง่าย การย่อยของแป้งในอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดสูงกว่าแป้งที่ผ่านเพียงเฉพาะขั้นตอนของการปรับสภาพโดยไอน้ำเพียงอย่างเดียว

ข. โปรตีน โปรตีนใน endosperm ของธัญพืชส่วนใหญ่เป็น prolamine ซึ่งเป็นโปรตีนทรงกลม แทรกซึมอยู่กับเม็ดแป้ง แต่ในพืชบางชนิด เช่น ข้าวสาลี prolamine ไม่ได้อยู่ในรูปทรงกลม แต่แทรกซึมอยู่ในผนังเซลล์ (cell matrix) เมื่อโปรตีนได้รับความร้อนขึ้น โปรตีนโดยเฉพาะใน cell matrix จะเปลี่ยนรูปเป็นสายใยเหนียวเชื่อมเกาะเม็ดแป้งกับชิ้นส่วนอื่น ๆ ของอาหาร ทำให้อาหารเกาะกันด้วยแรงยึดเกาะนี้ (viscoelastic properties) แป้งของธัญพืชบางชนิด เช่น ข้าวสาลี บาร์เลย์ มีแรงยึดเกาะสูง แต่ธัญพืชประเภทข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง มีแรงยึดเกาะดังกล่าวต่ำ แรงยึดเกาะของสายใยโปรตีนนี้จะสูงสุดและคงตัวเมื่ออาหารถูกอัดผ่านรูงานอัดเม็ด อย่างไรก็ตามหากอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นถึง 90-100 °C แรงยึดเกาะของสายใยโปรตีนจะสลายไป และความเหนียวของแป้งจะลดลง

ค. เยื่อใย เยื่อใยใน endosperm ของเมล็ดธัญพืชมาจากเซลล์ซึ่งผนังเซลล์ไม่ค่อยมีความแข็งแรง และสามารถหลอม (melt) เมื่อถูกความร้อนขึ้นดังที่กล่าวในตอนต้นได้ จึงอาจเรียกผนังเซลล์แบบนี้ว่าเป็น solubilized fiber ซึ่งมี glucan และ pentosan hemicelluloses เป็นส่วนประกอบ ผนังเซลล์ของ endosperm ธัญพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในแง่การหลอมละลายได้ของเยื่อใยในผนังเซลล์ สัดส่วนของ glucans ต่อ pentosans และน้ำหนักอนุของแต่ละโพลิเมอร์ soluble fiber และขนาดอนุของโพลิเมอร์ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความเหนียว (viscosity) ของแป้ง แป้งที่มี soluble fiber ยิ่งสูงก็จะยิ่งมีความเหนียวมากขึ้น ข้าวสาลี บาร์เลย์ ไรย์ มี soluble fiber สูง และมีอนุของ glucans และ pentasans ขนาดใหญ่ (M.W. สูง) กว่าข้าวโพด แป้งจึงเหนียวกว่า เมื่อผสมในอาหารสัตว์เม็ดอาหารจึงเกาะตัวดี และมีความเสถียรดีกว่าอาหารที่มีข้าวโพดสูง

จึงอาจสรุปได้ว่าความร้อนและแรงอัดในขบวนการอัดเม็ดอาหารทำให้แป้งสุก โปรตีนถูกสลายตัว (denatured) เยื่อใยถูกหลอมละลาย ปลดปล่อยโกลิโกลิมาภายนอกเซลล์ ทำให้เอนไซม์ในน้ำย่อยทำงานได้ดีขึ้น องค์ประกอบอื่นของแป้ง (อัมัยโลเพคติน) โปรตีน (prolamine fibrils ใน cell matrix) และเยื่อใย (soluble fiber) ที่ถูกความร้อนและแรงอัด จะช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะของเม็ดอาหาร ทำให้เม็ดอาหารมีความเสถียรดีขึ้น ไม่ร่วนแตกตัวเป็นผงง่าย ธัญพืชบางชนิด เช่น ข้าวสาลี บาร์เลย์ ในอาหารทำให้เม็ดอาหารเกาะตัวดีกว่าธัญพืชชนิดที่มีเยื่อใย soluble fiber ต่ำกว่า เช่น ข้าวโพด ดังนั้นการเติมธัญพืชเหล่านั้นลงไปในการจะทำให้อาหารจะทำให้คุณภาพของเม็ดอาหารดีขึ้น อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการใช้สารเชื่อมหรือประสานเม็ดอาหาร (binders) ทางการค้า อาทิ lignosulphonates, bentonite, hemicellulose สกัด และอื่น ๆ มาช่วยปรับปรุงคุณภาพเม็ดอาหารที่ผลิตในอุตสาหกรรม กากน้ำตาลอาจช่วยประสานเม็ดได้ถึงระดับหนึ่ง แต่การอัดต้องใช้แรงดันและพลังงานสูงขึ้น ไขมันในอาหารทำให้เม็ดอาหารแตกตัวง่ายกว่าปกติ และเม็ดยิ่งนุ่ม ดังนั้นหากจำเป็นต้องเสริมไขมันลงในอาหารอัดเม็ด จึงมักใช้วิธีการพ่นไขมันไปเคลือบอาหารที่อัดเม็ดแล้ว และผ่านจานอัดเม็ดออกมาใหม่ ๆ และย้งร้อนอยู่ โดยวิธีการนี้เม็ดอาหารสามารถดูดซึมไขมันได้เพิ่มขึ้น โดยไม่ทำให้เม็ดร่วนแตกตัวง่าย

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว คุณภาพและความเสถียรของเม็ดอาหารจึงถูกอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ควบคุม ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ ส่วนประกอบของอาหาร ลักษณะและ texture ของวัตถุดิบ ความละเอียดและความสม่ำเสมอของอาหารที่จะอัด อุณหภูมิและความดันไอน้ำ แรงอัดอาหารผ่านรูของจานอัด รูปแบบและขนาด (เส้นผ่าศูนย์กลางและความยาว) ของรูจานอัด การเชื่อมเม็ดอาหาร และประสิทธิภาพของเครื่อง เช่น ลูกกลิ้งอัดอาหาร ระบบลดอุณหภูมิเม็ดอาหาร และอื่น ๆ ซึ่งล้วนมีผลต่อคุณภาพของเม็ดอาหารทั้งสิ้น

2.3.4.4 ผลของการอัดเม็ดต่อสมรรถนะการผลิตของสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้อง

อาหารเม็ดช่วยลดการสูญเสียอาหารในรูปของฝุ่น และสัตว์เล็กกินเฉพาะชิ้นส่วนไม่ได้ จึงได้รับโภชนะที่มีความสมดุลสม่ำเสมอ ความร้อนชื้นและแรงดันที่ใช้ในการอัดเม็ดอาหารช่วยเพิ่มการย่อยได้ของโภชนะหลักเกือบทุกโภชนะ อย่างไรก็ตามจุลโภชนะ โดยเฉพาะวิตามินที่ไวต่อการถูกทำลายด้วยความร้อนจะถูกทำลายไปบางส่วน จึงควรใช้วิตามิน เหล่านั้นในรูปที่ทนความร้อนได้ดี และเติมลงในระดับที่เผื่อไว้ (safety factor) เพื่อให้ระดับที่เหลือจากการถูกทำลายยังสูงพอเพียงกับความต้องการ

ก. ในสัตว์ปีกอาหารเม็ดอาจถูกบดให้แตก (crumbled) ให้มีขนาดพอดีที่สัตว์เล็กจะกินได้สะดวก และเมื่อสัตว์โตขึ้นก็อาจใช้อาหารสัตว์ทั้งเม็ดซึ่งมักอัดโดยงานที่มีขนาดรูอัดถูกออกแบบไว้สำหรับสัตว์ปีกโดยเฉพาะ โดยภาพรวมสัตว์ปีกที่กินอาหารเม็ดมีอัตราการเติบโตและสมรรถนะการผลิตดีกว่าการกินอาหารผง อัตราการเติบโตของไก่เนื้อที่กินอาหาร เม็ดเพิ่มขึ้น 6-9% เมื่อเทียบกับอาหารผง ผลดีจากอาหารอัดเม็ดเห็นชัดเจนในสัตว์ปีกอายุน้อยกว่าในสัตว์ที่โตแล้ว ทั้งนี้เป็นเพราะว่า

- 1) สัตว์ได้รับโภชนะที่มีสมดุลดีและครบถ้วนในอาหาร
- 2) ระดับการใช้ประโยชน์ได้ของโภชนะสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนและแรงอัดในการอัดเม็ด
- 3) สัตว์ประหยัดพลังงานในการเลือกกินอาหาร และการเคลื่อนไหวของอวัยวะในทางเดินอาหารลดลงในสัตว์ที่กินอาหารอัดเม็ด นอกจากนี้อวัยวะของระบบทางเดินอาหาร เช่น ก้น และหลอดอาหารตั้งแต่ proventriculus ถึง cloaca ทำงานมีประสิทธิภาพขึ้น และมีขนาดลดลง (Choi *et al.*, 1986) ผลดังกล่าวนี้เน้นชัดกว่าในสัตว์ที่มีอายุมากเมื่อเทียบกับสัตว์เล็ก
- 4) ลดปริมาณน้ำลายที่ต้องคลุกเคล้าอาหาร จึงช่วยลดโภชนะที่ใช้ในการดำรงชีพ และอีกประการหนึ่งสัตว์ลดความจำเป็นที่จะต้องดื่มน้ำเพิ่มขึ้นเพื่อชะล้างเศษอาหารที่ติดเปื้อนปาก ทำให้การปนเปื้อนของน้ำในอาหาร (ทำให้เกิดการขึ้นราภายหลัง) ลดลง

ข. สุก ร เช่นเดียวกับกรณีของสัตว์ปีก สุกที่ได้รับอาหารอัดเม็ดมีอัตราการเพิ่มน้ำหนักตัว 6-7% เพิ่มประสิทธิภาพของการใช้อาหาร 7-10% และกินอาหารลดลง 1-2% (Pond and Maner, 1984) อัตราการเพิ่มน้ำหนักตัวในสุกรเล็กอายุ 19-21 วัน อาจสูงขึ้นกว่าการกินอาหารผงถึง 14% อย่างไรก็ตามอัตราการกินอาหารของสุกรเล็กไม่ถูกรบกวนโดยการอัดเม็ด ทั้ง ๆ ที่ถ้าให้เลือกสุกรจะชอบอาหารเม็ดมากกว่าอาหารผง ผลดีของการอัดเม็ดต่อการใช้โภชนะในอาหารสุกรเกิดขึ้นเนื่องจากสาเหตุหลายประการ ซึ่งอาจสรุปที่สำคัญ ๆ ได้ดังนี้

- 1) เยื่อใยในอาหารเม็ดลดลง (อาจสลายตัวจากการอัดเม็ดบางส่วน) และเมื่อรวมกับการทำให้แป้งสุก มีผลทำให้การย่อยและการใช้ประโยชน์ได้ของพลังงานและโปรตีนในอาหารเพิ่มขึ้น

2) ความร้อนและแรงอัดช่วยเพิ่มอัตราการใช้ประโยชน์ได้ของฟอสฟอรัสในอาหาร แต่จะไม่มีผลกระทบต่อการใช้แคลเซียม

3) อาจเพิ่มการใช้ประโยชน์ได้ของวิตามินบางชนิด อาทิ วิตามิน E, B₁₂, nicotinic acid และ biotin อย่างไรก็ตามการอัดเม็ดอาหารที่ไม่ได้เติม antioxidants ให้พอเพียง วิตามิน E, A และ K ตลอดจน thiamin และวิตามิน B ที่ไวต่อความร้อนจะถูกทำลายไปมาก

4) เพิ่มระดับการใช้ประโยชน์ได้ของ tryptophan ในอาหารและข้าวโพดให้สูงขึ้น

5) ทำลายเชื้อจุลินทรีย์ เช่น *Salmonella* ที่ปนเปื้อนในอาหาร

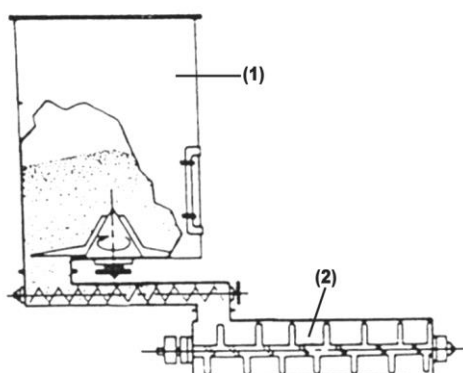
6) สุกกรินอาหารที่มีเยื่อใยสูงได้เพิ่มขึ้น

ผลดีของการอัดเม็ดที่มีต่อสมรรถนะการผลิตของสัตว์ที่กล่าวถึงในที่นี่เป็นเพียงการรวบรวมสิ่งที่รายงานจากงานวิจัยในวงจำกัด แต่ในความเป็นจริงผลดีอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อน ทำอาหารให้สุก ตลอดจนการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้อาหาร เนื่องจากสัตว์ได้รับโภชนาที่สมดุลดีขึ้น ล้วนแต่เป็นสภาพการณ์ที่เกิดขึ้นในสัตว์ที่กินอาหารอัดเม็ด จนส่งผลให้สัตว์ใช้อาหารด้วยประสิทธิภาพสูงขึ้น จากเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับต้นทุนการผลิตอาหารที่สูงขึ้นเพราะการอัดเม็ดแล้ว ถือว่าคุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจ การอัดเม็ดจึงเป็นที่นิยมใช้แปรรูปอาหารสัตว์ในเชิงการค้าและอุตสาหกรรมสำหรับสัตว์ทุกชนิด การอัดเม็ดนอกจากจะใช้เครื่องอัดเม็ด (pellet mill) มาตรฐานแล้ว ในกิจการขนาดเล็กอาจใช้เครื่องอัดเม็ดนึ่ง (mincer) สำหรับบดเนื้อช่วยก็ได้ แต่ในการอัดเม็ดด้วยเครื่องดังกล่าวนี้จะไม่มีการปรับสภาพอาหารด้วยไอน้ำและแรงอัดที่ใช้ก็ต่ำ ดังนั้นผลดีอันเกิดจากความร้อนและแรงอัดจะไม่บังเกิดขึ้น สิ่งที่ได้จากการใช้เครื่องอัดเม็ดนึ่งมีเพียงการลดการสูญเสียของอาหาร และป้องกันการเลือกกินเฉพาะบางชิ้นส่วนของอาหารเท่านั้น

2.3.5 การเอกซ์ทรูดอาหาร (extrusion)

2.3.5.1 เครื่องมือและระบบการเอกซ์ทรูด

การเอกซ์ทรูดเป็นวิธีการทำให้อาหารสุกโดยความร้อนที่เกิดจากการอัดโดยแรงอัดสูง และจากการเสียดสีระหว่างชิ้นส่วนของอาหารด้วยกัน หรืออาหารกับผนังกระบอกฉีด ในขณะที่อาหารถูกดันให้เคลื่อนตัวออกจากกระบอกอัดผ่านรูเปิดเล็ก ๆ เครื่องมือที่ใช้ในการเอกซ์ทรูดอาหารเรียกว่า Extruder ซึ่งมีลักษณะและส่วนประกอบดังแสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 แสดงส่วนประกอบของ extruder แบบใช้น้ำปรับสภาพอาหารก่อนเอกซ์ทรูด
(1) อาหารก่อนเข้าเครื่อง (2) ชุดปรับสภาพอาหารด้วยไอน้ำ (3) เกลียวอัด (4) กระบอกลัด
(5) มีดตัดซึ่งปรับความเร็ว (ความยาวของเม็ดอาหาร) ได้

กระบอกลัดของเครื่องซึ่งภายในมีเกลียวอัดที่ขับเคลื่อนอาหารให้เคลื่อนไปข้างหน้า มีความสำคัญมาก จะต้องมีความทนทานต่อแรงอัดสูงได้ ส่วนช่องเปิดให้อาหารผ่านออกก็มีความสำคัญต่อ ขบวนการเอกซ์ทรูดอย่างมาก รูเปิดจะถูกออกแบบให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ ได้ตามต้องการ ที่สำคัญคือ ขนาดของรู จะเล็กและแคบทางด้านที่อาหารถูกอัดเข้าแล้วจะค่อย ๆ ขยายขนาดรูให้โตขึ้นทางด้านอาหารออก โดยการ ออกแบบลักษณะดังกล่าวอาหารจะผ่านเข้าสู่รูด้วยแรงอัดสูงมาก และแรงอัดหรือความดันภายในอาหารจะลดลง อย่างรวดเร็วเมื่ออาหารถูกตัดออกจากเครื่องอัด ทำให้มีการขยายตัวพองฟู และอาจมีรูพรุนภายในชิ้นอาหารที่ เอกซ์ทรูดแล้วได้

ระบบการเอกซ์ทรูดอาหารมี 2 ระบบ คือ ระบบการเอกซ์ทรูดโดยไม่ต้องใช้น้ำ เข้าปรับสภาพอาหารก่อน หรือระบบเอกซ์ทรูดแห้ง (dry extrusion) กับระบบที่ต้องใช้น้ำปรับสภาพอาหาร หรือระบบเอกซ์ทรูดเปียก (wet extrusion) โดยระบบเอกซ์ทรูดแห้งความร้อนที่ทำให้อาหารสุกเกิดจากแรงอัด และแรงเสียดสี โดยเฉพาะอุณหภูมิของอาหารอาจสูงถึง 140-180 °C ในขณะที่ระบบเปียกไอน้ำจะทำให้ อาหารสุก และอุณหภูมิของอาหารเพิ่มขึ้นประมาณ 103-110 °C

2.3.5.2 กรรมวิธีการเอกซ์ทรูดและการเปลี่ยนแปลงของอาหาร

อาหารที่จะเอกซ์ทรูดควรบดละเอียดมีความสม่ำเสมอสูง ในระบบแห้งอาหารจะถูก ส่งเข้ากระบอกลัดโดยตรง ขณะที่ในระบบเปียกอาหารจะเคลื่อนเข้ากระบอกลัดจะได้รับการปรับสภาพด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 95-103 °C เป็นเวลา 30-40 นาที (low-temperature, long-time, LTLT) ซึ่งในช่วงนี้อาหารจะถูกคนคลุกเคล้าให้ไอน้ำแทรกซึมอย่างทั่วถึงตลอดเวลา จากนั้นจึงเคลื่อนเข้าสู่ชุดอัด

อาหารแห้งในกระบอกอัดจะถูกเกลียวอัดขับให้เคลื่อนไปข้างหน้าเพื่อออกผ่านช่องเปิดด้วยแรงอัดประมาณ 35-40 เท่าแรงดันบรรยากาศ ความร้อนจากแรงเสียดสีและแรงอัดทำให้อาหารมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 140-180 °C ซึ่งที่อุณหภูมิและแรงอัดขนาดนี้ทำให้เกิดแรงตัด (shear force) โครงสร้างของเซลล์ในวัตถุดิบถูกทำลาย แป้งจะสุก อาหารจะมีลักษณะคล้ายของกึ่งแข็งกึ่งเหลว เหนียวเป็นเนื้อเดียวกัน และถูกดันผ่านรูเปิดออกสู่ภายนอกชุดอัด ระยะเวลาที่ใช้ในการเอกซ์ทรูดตั้งแต่เริ่มป้อนอาหารเข้า จนอาหารออกมาจากชุดอัด กินเวลาประมาณ 30 วินาที การให้ความร้อนระบบนี้จึงเรียกว่า high-temperature, short-time (HTST) ส่วนในระบบเปียก อาหารซึ่งแป้งสุกแล้วจะถูกดันโดยเกลียวอัดออกจากชุดอัดภายในเวลาใกล้เคียงกัน แต่แรงอัดในกระบอกอัดไม่สูงเท่ากับระบบแห้ง อุณหภูมิของอาหารเมื่อถูกอัดผ่านรูเปิดอยู่ในระดับ 103 °C และโครงสร้างของเซลล์ในวัตถุดิบถูกทำลาย อาหารที่ถูกอัดออกมาจะมีลักษณะเหมือนกับระบบแห้ง

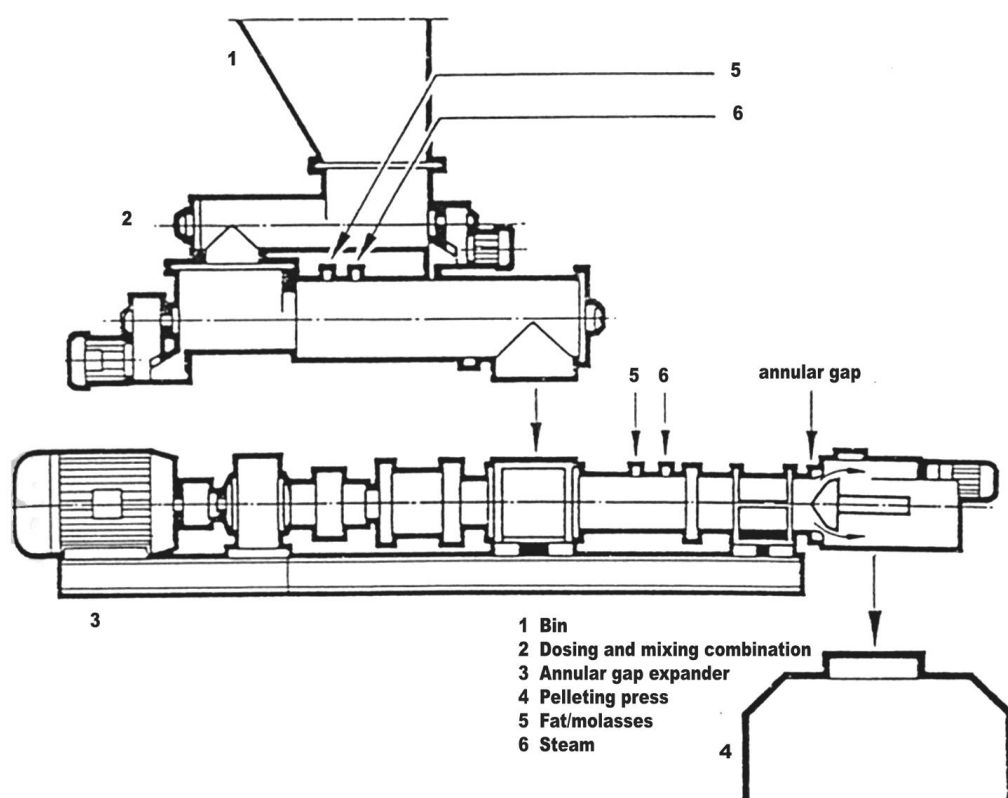
อาหารที่เคลื่อนเข้ารูงานอัดด้วยแรงดันสูงมาก เมื่อผ่านพ้นรูงานอัดออกมาความดันและอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้อาหารพองฟูขึ้น และอาจมีรูพรุนภายในขึ้นอาหาร เมื่อตัดออกและกระทบกับอุณหภูมิภายนอกซึ่งต่ำกว่า ไอน้ำก็จะระเหยออกอย่างรวดเร็ว เพิ่มการพองตัวและมีรูพรุน ขณะที่อาหารเย็นและแข็งตัวเป็นขึ้นมีรูปร่างตามที่ออกแบบรูอัดไว้ ในช่วงที่อาหารเย็นลงขึ้นอาหารสามารถดูดซึมความชื้นหรือไขมันที่เฝือออกในช่วงการอัดคืนเข้าสู่เม็ดอาหารได้

การเปลี่ยนแปลงของโภชนะในอาหารที่ผ่านการเอกซ์ทรูด เปลี่ยนแปลงในลักษณะคล้ายคลึงกับการอัดเม็ด ต่างกันตรงที่อาหารเอกซ์ทรูดจะสุกโดยทั่วถึงกัน แป้งถูกเปลี่ยนเป็นแป้งสุกทั้งหมด โปรตีนถูก denature โดยทั่วถึง เอนไซม์ไลเปสถูกทำลาย ป้องกันการย่อยของไขมัน เยื่อใยจะเพิ่มส่วนที่ละลายได้ (soluble fiber) และการทำให้สุกโดยระบบ HTST จะลดผลเสียหายจากอุณหภูมิสูงในแง่การเกิด Maillard reaction และการทำลายวิตามินและกรดอะมิโนน้อยลง จุดอ่อนเพียงประการเดียวของอาหารเอกซ์ทรูดคือไขมันถูกปลดปล่อยออกนอกเซลล์ ไขมันไม่อิ่มตัวจึงอาจเป็นหืนได้ง่าย ดังนั้นอาหารเอกซ์ทรูดที่มีไขมันสูงจึงจำเป็นต้องเติมสารกันหืนหรือ antioxidants สูงกว่าปกติ โดยภาพรวมอาหารที่เอกซ์ทรูดมีระดับโภชนะที่น้อยและใช้ประโยชน์ได้สูง สัตว์เลี้ยง เช่น ปลา กุ้ง และลูกสุกรวัยอ่อน สามารถใช้โภชนะในอาหารเอกซ์ทรูดได้ดีกว่าอาหารที่ไม่ได้เอกซ์ทรูด

นอกจากใช้ในการแปรรูปอาหารปลาหรือกุ้ง โดยเฉพาะอาหารลอยน้ำแล้ว การเอกซ์ทรูดอาหารยังใช้สำหรับการแปรรูปอาหารสุกรเล็ก อาหารสุนัข แมว ตลอดจนอาหารของมนุษย์ ถั่วเหลืองไขมันเต็มเป็นอาหารแปรรูปที่นิยมใช้การเอกซ์ทรูดอย่างแพร่หลาย เพราะโดยระบบการให้ความร้อน HTST จะช่วยทำลายสารยับยั้งการใช้โภชนะได้หมดเกือบทุกชนิด โดยไม่ทำให้อัตราการย่อยได้ของโปรตีนหรือระดับของกรดอะมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้ลดลง ข้อจำกัดของเครื่องเอกซ์ทรูดอยู่ที่ราคาแพง และอัตราการทำงานยังค่อนข้างต่ำ

2.3.6 การ expand อาหารสัตว์ (expansion)

Expansion เป็นกรรมวิธีการให้ความร้อนในแบ่งในอาหารสุกโดยใช้ความร้อนจากไอน้ำและแรงเสียดสีของอาหารที่ถูกอัดโดยแรงอัดสูงภายในกระบอกอัด คล้าย ๆ กับการเอกซ์ทรูดแบบเปียก เครื่องมือที่ใช้หรือ expander มีลักษณะคล้าย ๆ กับ extruder เกลียะวัตเดียว (single-screw extruder) คือ มีเกลียวอัดตัวหนอนซึ่งติดอุปกรณ์ผสมและนวดอาหารอยู่ด้วยเพียงตัวเดียว กระบอกอัดเป็นท่อโลหะหนาที่มีรูเจาะสำหรับพ่นไอน้ำและของเหลวเข้า ส่วนที่ต่างกับ extruder คือ ช่องอาหารที่อัดแล้วผ่านออกของ expander ไม่เป็นรูจานอัดขนาดเล็ก หรือ die เหมือนดัง extruder แต่จะมีลิ้นปิดเปิดรูปกรวย conical discharge valve หรือ pressure piston ที่คอยปิดเปิดวงแหวนที่สามารถปรับขนาดของช่องอาหารออกได้ (adjustable annular gap) ดังที่แสดงอยู่ในภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบของ annular gap expander ซึ่งอาจใช้เป็นอุปกรณ์ส่วนควบของเครื่องอัดเม็ดได้

ที่มา: Pipa and Frank (1989)

ความดันในกระบอกอัดสามารถปรับให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ โดยการทำงานร่วมกันของลิ้นปิดเปิดและวงแหวน อาหารที่ถูกปรับสภาพด้วยไอน้ำแล้วและถูกอัดด้วยความดันสูง (อาจถึง 100 bar และอุณหภูมิสูงถึง 170 °C) จะถูกปลดปล่อยให้เคลื่อนออกผ่านช่องเปิดในสภาพของแข็งกึ่งเหลวภายในเวลาไม่กี่วินาที เมื่อกระทบกับการลดความดันอย่างกะทันหันก็จะเกิดการพองตัวขยายขนาดใหญ่ขึ้น อุณหภูมิลดลงเป็นประมาณ 90 °C และความชื้นที่เดิมเข้าไปจะระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว (flash evaporation) ในลักษณะเดียวกันกับการเอกซ์ทรูด เพียงแต่อาหารออกมาจะไม่ใช่รูปร่างที่กำหนดโดยลักษณะของรูเปิดใน extruder อาหารที่ได้สามารถกำหนดขนาดได้โดยใช้เครื่องมือตัด ซึ่งอาจได้เป็นแผ่น (flake) ฟุคัลลายของขบเคี้ยว เช่น ข้าวโพดอบพuffed สำหรับมนุษย์ หรือรูปอื่นก็ได้ ด้วยการออกแบบช่องเปิดอาหารออกดังที่กล่าวแล้ว expander สามารถที่จะแปรรูปอาหารต่อหน่วยเวลาได้ปริมาณมากกว่า extruder หลายเท่า คือ อาจ expand อาหารได้ถึงชั่วโมงละ 3-30 ตัน จึงมีการประยุกต์ใช้ expander เพื่อหลายวัตถุประสงค์ อาทิ ใช้ expand อาหารมนุษย์ในรูปของสิ่งขบเคี้ยวอบพuffed ใช้ expand วัตถุดิบในโรงงานสกัดน้ำมันพืช หรืออาจใช้เป็นอุปกรณ์ปรับสภาพอาหาร HTST ซึ่งเป็นอุปกรณ์ส่วนควบเข้ากับเครื่องอัดเม็ดอาหารสัตว์ (ดังที่แสดงในภาพที่ 2-4)

เมื่อใช้เป็นอุปกรณ์ส่วนควบเข้ากับเครื่องอัดเม็ด (pellet mill) อาหารจะถูกอัดผ่านจานอัดของเครื่องอัดเม็ดในสภาพแข็งกึ่งเหลว และแป่งสุกคลุกเคล้าเป็นเนื้อเดียวกันดีแล้ว จึงสามารถอัดเม็ดด้วยแรงอัดไม่สูงมาก เพิ่มอัตราการผลิตของเครื่องอัดเม็ดขึ้นอย่างมาก เครื่องอัดเม็ดจึงทำงานได้ด้วยอัตราการใช้พลังงานต่ำ เครื่องสีหร่อนย่อยลง สามารถใช้จานอัดที่ไม่หนามากนัก กระทั่งอาจใช้จานอัดที่เป็นวัสดุอื่น เช่น ยางสังเคราะห์ได้ สามารถอัดเม็ดอาหารคุณภาพดี (เม็ดไม่แตก) ได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเชื่อมหรือสารประสานเม็ดอาหาร เป็นต้น อัตราการใช้พลังงานของเครื่องอัดเม็ดควบเครื่อง expander จะไม่เพิ่มขึ้นสูงกว่าระบบการอัดเม็ดปกติเลย (Pipa and Frank, 1989)

การเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีของอาหารที่ผ่านการ expand จะเกิดขึ้นเหมือนกับการเอกซ์ทรูดทุกประการ กล่าวคือ แป้งในอาหารจะสุกโดยทั่วถึง โครงสร้างของเซลล์ในวัตถุดิบถูกทำลาย โปรตีนถูก denatured ไขมันถูกปลดปล่อยออกนอกเซลล์ เยื่อใยถูกละลายไปบางส่วน และการทำลายวิตามินเกิดขึ้นน้อยมาก ทำให้อัตราการย่อยและการใช้โภชนะในวัตถุดิบอาหารสัตว์เพิ่มขึ้น วัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผ่านการ expand จะสามารถดูดซับของเหลว เช่น ไขมัน หรือกากน้ำตาล ได้สูง คือ สามารถรับการเสริมไขมันหรือกากน้ำตาลได้สูงถึง 15-25% โดยน้ำหนัก เครื่อง expander ใช้ได้ผลไม่ด้นักกับวัตถุดิบอาหารสัตว์ที่ผ่านการทำให้สุกด้วยความร้อนมาแล้ว กล่าวคือ ไม่สามารถเพิ่มการ gelatinize แป้ง ซึ่ง gelatinized มาแล้วให้สูงขึ้นได้มากนัก ดังนั้นวัตถุดิบอาหารสัตว์ เช่น มันเม็ด กากพืชสกัดน้ำมัน ปลาเยลลี่หรือรำข้าวหนึ่งจะ expand ได้ไม่ดีเท่ากับวัตถุดิบที่มีแป้งที่ยังไม่สุก

2.4 การแยกไขมัน (oil separation)

ดังที่กล่าวในตอนต้นแล้วว่า การแยกน้ำมันเป็นกรรมวิธีการแปรรูปเมล็ดพืชน้ำมันในอุตสาหกรรมน้ำมันพืชแล้วได้ผลพลอยได้ คือ กากพืชน้ำมันมาเป็นอาหารสัตว์ มิใช่เป็นการแปรรูปอาหารสัตว์โดยตรง อย่างไรก็ตามกากพืชน้ำมันที่ได้มีคุณค่าทางโภชนาการผันแปรไปกับกรรมวิธีการแยกน้ำมัน จึงควรกล่าวถึงวิธีการแยกน้ำมันและคุณค่าทางโภชนาการของกากพืชน้ำมันพอสังเขป กรรมวิธีการแยกน้ำมันพืชกระทำโดยวิธีการหลัก ๆ 2 วิธี คือ การอัดน้ำมันโดยวิธีกล และการสกัดน้ำมันโดยตัวทำละลายทางเคมี (Ensminger *et al.*, 1990)

2.4.1 การอัดน้ำมันโดยวิธีกล (mechanical pressing)

เป็นการอัดน้ำมันออกจากเมล็ดพืชด้วยแรงอัด โดยอาจอัดครั้งละชุด (batch) ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก หรืออัดแบบต่อเนื่อง (continuous pressing) ด้วยเครื่องอัดเกลียว (screw pressing หรือ expeller process) ก็ได้

ก) Hydraulic pressing เริ่มต้นด้วยการบุงเมล็ดพืชให้แตก หรือรีดให้เป็นแผ่น (flaked) แล้วนำไปนึ่งให้สุกด้วยไอน้ำหรือความร้อนแห้ง ที่อุณหภูมิ 103-110 °C (218-230 °F) นาน 90 นาที เมล็ดพืชที่สุกแล้ว (meal) จะถูกห่อด้วยผ้าหนา ๆ แล้วนำเข้าเครื่องอัดโดย hydraulic press ซึ่งจะอัดน้ำมันด้วยแรงอัด 2,000 psi อัดทิ้งไว้ 1 ชม. ขณะอัดอุณหภูมิของเมล็ดพืชสุกเหลืออยู่ประมาณ 65-75 °C (149-167 °F) กากพืชที่แยกน้ำมันออกแล้ว (cake) ซึ่งมีไขมันตกค้างอยู่ 5-8% จะถูกนำไปบดจำหน่ายเป็นอาหารสัตว์ในรูปของกากพืชอัดน้ำมันโดยวิธีกล (mechanical extracted หรือ m-e) ภาพที่ 2-5 แสดงไดอะแกรมกรรมวิธีการอัดน้ำมันโดยวิธีกลนี้

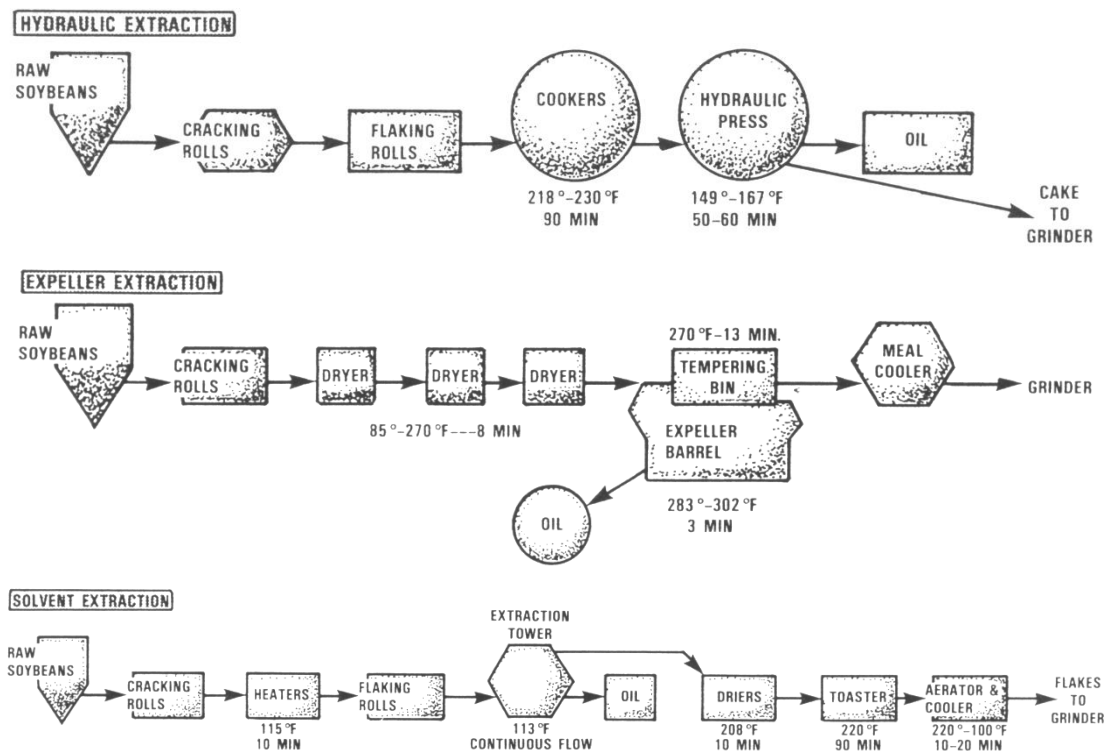
ข) Screw หรือ expeller pressing เมล็ดพืชน้ำมันถูกบุงให้แตกแล้วนำไปอบแห้ง และทำให้สุกในเตาอบที่เพิ่มอุณหภูมิขึ้นจาก 29 °C จนถึง 132 °C (85-270 °F) เป็นเวลา 8 นาที เมล็ดพืชสุกซึ่งมีความชื้นประมาณ 2% จะถูกลำเลียงเข้าสู่ห้องคั่วด้วยหม้ออบไอน้ำ 2 ชั้น (steam jacketed tempering device) ซึ่งมีอุณหภูมิ 132 °C และมีเครื่องคนตลอดเวลาให้เมล็ดพืชได้รับความร้อนโดยทั่วถึง เมล็ดพืชจะอยู่ในห้องคั่ว 10-15 นาที แล้วจึงถูกปล่อยลงสู่ถังอัด (expeller barrel) ซึ่งมีเกลียวอัดตัวหนอน (screw press) ติดตั้งอยู่ตรงกลาง เกลียวตัวหนอนจะดันเมล็ดพืชไปข้างหน้าด้วยแรงอัดประมาณ 6,000 psi และอัดเอาน้ำมันไหลแยกออกจากกาก เมล็ดพืชขณะถูกอัดมีอุณหภูมิประมาณ 139-150 °C (283-302 °F) และถูกอัดนานประมาณ 3 นาที กากพืชที่ได้จะออกมาเป็นแผ่นบาง (flake) มีความร้อนสูง จึงถูกลำเลียงเข้าสู่ส่วนที่ปล่อยให้เย็น แล้วจึงบดออกจำหน่ายต่อไป กากเมล็ดพืชน้ำมันที่ถูกอัดโดยระบบต่อเนื่องหรือ expeller process นี้จะมีไขมันตกค้างอยู่ 4-5% ไดอะแกรมของกรรมวิธีการอัดน้ำมันโดยวิธีนี้แสดงอยู่ในภาพที่ 2-5

2.4.2 การสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายเคมี (solvent extraction)

ตัวทำละลายเคมีที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืช ส่วนใหญ่จะเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เช่น hexane, trichloroethylene, acetone หรือในกรณีการสกัดเมล็ดฝ้ายก็ใช้ตัวทำละลายผสมเพื่อช่วยสกัดสารพิษกอสซิพอล (ดู 2.2.3 ข.) ในระยะหลังเนื่องจากเกรงการเกิดพิษของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ตกค้างอยู่ในกากพืช จึงได้มีความพยายามใช้ตัวทำละลายที่มีพิษน้อย คือ แอลกอฮอล์ เข้ามาแทน อาทิ propanol และ isopropanol เป็นต้น

การสกัดเริ่มต้นด้วยการบดให้เมล็ดแตกแล้วนำไปให้ความร้อนที่ 60 °C (140 °F) เป็นเวลา 10 นาที เพื่อกระตุ้นต่อมน้ำมันให้พร้อมที่จะปลดปล่อยไขมัน แล้วลำเลียงเข้าสู่เครื่องบดแบบลูกกลิ้ง เมล็ดพืชที่ถูกบดแล้วจะถูกอัดออกเป็นแผ่น แล้วทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 45 °C (113 °F) แล้วจึงลำเลียงเข้าสู่หอสกัดน้ำมัน (extraction tower) ตัวทำละลายจะถูกพ่นลงมาบนแผ่นเมล็ดพืชละลายและชะเอาน้ำมันพืชออกที่อุณหภูมิ 45 °C จากนั้นตัวทำละลายอินทรีย์จะถูกระเหยและกลั่นตัวกลับไปใช้สกัดน้ำมันอีกอย่างต่อเนื่อง หมุนเวียนสกัดหลายรอบ จนแน่ใจว่าน้ำมันถูกสกัดออกหมด น้ำมันที่ได้ก็จะถูกนำไประเหยตัวทำละลายออกให้หมดก่อนส่งไปแปรรูปต่อ ส่วนกากจะถูกลำเลียงเข้าระเหยตัวทำละลาย และอบให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 98 °C (208 °F) เป็นเวลา 10 นาที แล้วเคลื่อนเข้าสู่ห้องคั่วให้สุกที่อุณหภูมิ 104.4 °C (220 °F) เป็นเวลา 90 นาที และท้ายสุดเคลื่อนเข้าสู่ห้องเป่าให้เย็นเป็นเวลา 10-20 นาที เพื่อให้อุณหภูมิลดลงสู่อุณหภูมิห้อง คือ ประมาณ 37.8 °C (100 °F) แล้วจึงนำไปบรรจุและจำหน่ายเป็นกากพืชสกัดน้ำมัน (solvent extracted, s-e) โดยปกติกากพืชสกัดน้ำมันจะมีน้ำมันเหลือตกค้างอยู่ 0.5-1.0% ไตอะแกรมของขั้นตอนการสกัดน้ำมันโดยตัวทำละลายทางเคมีแสดงอยู่ในภาพที่ 2-5

พืชบางชนิดมีสารพิษหรือสารยับยั้งการใช้โภชนะอยู่ จำเป็นต้องทำลายหรือสกัดออกให้ลดลง จึงมีการดัดแปลงวิธีการสกัดน้ำมัน ดังเช่นการใช้ตัวทำละลายผสม 3 ชนิด (tri-solvent) สกัดน้ำมันเมล็ดฝ้าย และขณะเดียวกันก็สกัดกอสซิพอลออกด้วย หรืออาจดัดแปลงใช้การอัดน้ำมันก่อนแล้วจึงใช้การสกัดน้ำมันตามหลัง (pre-press solvent extraction) อย่างกรณีของเมล็ดผักกาดน้ำมัน ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในช่วงการอัดน้ำมันจะช่วยทำลายสารพิษบางชนิด และแยกเอาน้ำมันส่วนใหญ่ออก น้ำมันส่วนที่เหลือจะถูกสกัดออกโดยตัวทำละลายอินทรีย์ โดยวิธีการนี้การสิ้นเปลืองตัวทำละลายจะลดน้อยลง และสารพิษในกากพืชจะถูกทำลายโดยความร้อน ซึ่งไม่สูงเกินไปจนเกิดผลเสียหายนาคู่คุณค่าทางโภชนาการของกากพืชที่ได้



ภาพที่ 2-5 ไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการแยกน้ำมันถั่วเหลืองโดยกรรมวิธีต่าง ๆ

ที่มา: Ensminger *et al.* (1990)

2.4.3 ผลกระทบจากกรรมวิธีการแยกน้ำมันต่อคุณค่าทางโภชนาการของกากพืชน้ำมัน

กรรมวิธีการแยกน้ำมันออกจากเมล็ดพืชมีผลกระทบต่อคุณค่าทางโภชนาการของกากพืชน้ำมันหลัก ๆ ดังนี้

ก) **ระดับของโภชนะที่มีอยู่ในกากพืชน้ำมัน** ปริมาณน้ำมันที่เหลือเป็นปัจจัยที่มีผลต่อระดับโภชนะที่มีอยู่ในกาก การแยกน้ำมันโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายทางเคมีจะทำให้มีน้ำมันเหลือตกค้างอยู่ในกากพืชน้อยกว่าชนิดที่แยกโดยการอัดด้วยวิธีกล ดังนั้นปริมาณของโปรตีนและโภชนะต่าง ๆ ยกเว้นไขมันและพลังงานในกากพืชน้ำมันจะอยู่สูงกว่ากากพืชน้ำมันอัดน้ำมัน กากพืชน้ำมันมีไขมันอยู่สูงกว่าจึงควรมีระดับพลังงานสูงกว่ากากชนิดสกัดน้ำมัน อย่างไรก็ตามกากพืชน้ำมันเป็นหีนได้ง่ายกว่า และหากน้ำมันเป็นหีนระดับของพลังงานที่ใช้ประโยชน์ได้ลดลง จนอาจมีพลังงานเท่ากับหรือต่ำกว่าพลังงานในกากพืชน้ำมันได้

ข) **ความร้อนที่ใช้ในขบวนการแยกน้ำมันมีผลต่อการใช้ประโยชน์ได้ของโปรตีนและกรดอะมิโน** กากพืชน้ำมันถูกแปรรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่ากากพืชน้ำมัน (ดูภาพที่ 2-5) ความร้อนที่สูงเกิน 110 °C ทำให้เกิดปฏิกิริยา Maillard อันเป็นผลให้ไลซีนที่ใช้ประโยชน์ได้ลดลง ดังนั้นกากพืชน้ำมัน

สกัดน้ำมันจึงมีไลซีนที่ใช้ประโยชน์ได้สูงกว่ากากพืชอัดน้ำมัน นอกจากนั้นโปรตีนและกรดอะมิโนที่ย่อยได้ในอาหารที่ได้รับความร้อนสูงและยาวนานขนาดนี้มักจะลดต่ำลง กรดอะมิโนบางชนิดอาจถูกทำลาย ยกเว้นกรณีเดียวคือ ถั่วเหลือง ซึ่งการได้รับความร้อนระดับไม่เกิน 121 °C นาน 3 นาที ช่วยเพิ่มอัตราการย่อยได้ของโปรตีน นอกจากนั้นน้ำมันพืชที่ถูกปลดปล่อยออกนอกเซลล์เป็นหินได้ง่าย วิตามินที่ไวต่อการถูกทำลายด้วยความร้อนจะถูกทำลายในกรรมวิธีการอัดน้ำมันสูงกว่าการสกัดน้ำมัน

ค) สารพิษและสารยับยั้งการใช้โภชนะ สารพิษหรือสารยับยั้งการใช้โภชนะหลายชนิด เช่น protease inhibitors, hemagglutinins, gossypol, glucosinolates และอื่น ๆ ถูกทำลายด้วยความร้อน ดังนั้นการแยกน้ำมันมีส่วนช่วยในการลดสารพิษและสารยับยั้งการใช้โภชนะ ทำให้สัตว์ใช้โภชนะในกากพืชน้ำมันได้สูงขึ้น เช่น ความร้อนช่วยทำลายสารยับยั้งทริปซินในถั่วเหลือง ทำให้โปรตีนถูกย่อยได้เพิ่มขึ้น และเมทไธโอนีน ซิสไธน์ ถูกใช้ประโยชน์ได้สูงขึ้น หรือในกรณีของกากเมล็ดฝ้าย กอสซิพอลอิสระถูกทำลายโดยการอัดน้ำมันสูงกว่าการสกัดน้ำมัน เป็นต้น

ผลที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการส่วนใหญ่เกิดจากความร้อนที่ใช้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของกากพืชที่เกิดขึ้นจากการแยกน้ำมัน จึงเหมือนกับสิ่งที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนดังที่กล่าวไว้แล้วในข้อ 2.3.3

2.5 สรุป (Summary)

การแปรรูปอาหารสัตว์ไม่เคี้ยวเอื้องที่นิยมทำกันเป็นประจำ ส่วนใหญ่กระทำโดยวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เพื่อรักษาคุณภาพอาหาร และเพื่อแยกส่วนประกอบที่สำคัญออกมา ส่วนการแปรรูปเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ๆ มีกระทำกันบ้างไม่มากนัก การแปรรูปเพื่อเปลี่ยนลักษณะหรือคุณสมบัติทางกายภาพของอาหารได้กระทำกันมานาน และมีการพัฒนาจากการบรรทัดฐานมาเป็นวิธีการอื่น ๆ หลากหลาย ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ ตลอดจนความร้อนเข้าช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องไปถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารได้อย่างกว้างขวาง กรรมวิธีการแปรรูปต่าง ๆ เหล่านี้มีทั้งกระทำต่อวัตถุดิบอาหารสัตว์และอาหารผสมสำเร็จรูป ผลตอบสนองของ

สัตว์ต่อวิธีการแปรรูปอาหารได้ผลดีมากบ้างน้อยบ้าง ขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ นานับประการ อาทิ ชนิดของวัตถุดิบ ชนิดของการแปรรูป และชนิดของสัตว์ Hogberg *et al.* (1980) รวบรวมผลตอบสนองของสุกรต่อการแปรรูปวัตถุดิบอาหารสัตว์ และสรุปให้เห็นภาพรวมว่าส่วนใหญ่แล้วช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโตและประสิทธิภาพของการใช้อาหารโดยไม่กระทบต่อปริมาณอาหารที่กิน หรือบางกรณีลดอาหารที่กินลงได้ (ตารางที่ 2-4) จากตารางจะเห็นได้ว่ากรรมวิธีการแปรรูปบางกรรมวิธีไม่ได้กล่าวถึงไว้ในบทนี้ เนื่องจากถือเป็นการปฏิบัติตามปกติอยู่แล้ว เช่น การผสมอาหาร (feed mixing) การให้อาหารเปียกหรือให้อาหารเหลว

จากภาพรวมของการแปรรูปอาหารสัตว์ที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าอาศัยการแปรรูปด้วยกรรมวิธีง่าย ๆ ไม่ซับซ้อน หากเปรียบเทียบกับ การแปรรูปอาหารมนุษย์ แนวคิดในการแปรรูปอาหารสัตว์ยุคใหม่ที่อาศัยการใช้เทคโนโลยีชีวภาพเข้าช่วย อาทิ การใช้เอนไซม์ หรือเทคโนโลยีการหมักเข้าแปรรูปอาหารเพื่อให้ได้โภชนะที่สัตว์สามารถใช้ประโยชน์ได้ทันที และใช้ได้ด้วยประสิทธิภาพสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และเพิ่มภูมิคุ้มกันแก่สัตว์ เป็นแนวคิดที่น่าจะได้รับการทดสอบในรายละเอียดในอนาคต

ตารางที่ 2-4 ผลของการแปรรูปวัตถุดิบอาหารสัตว์บางชนิดต่อสมรรถนะการผลิตของสุกร

วิธีการแปรรูป	วัตถุดิบ	ผลที่กระทบต่อสมรรถนะการผลิต			หมายเหตุ
		อัตราการเติบโต	การกินอาหาร	Feed/gain	
การบด (Grinding)	ข้าวโพด	Improved 3-5%	No effect	Improved 3-5%	ขนาดรูตะแกรง 1/4-3/8 นิ้ว ดีที่สุด
อัดเม็ด (Pelleting)	ข้าวฟ่าง	Improved	No effect	Improved	บดละเอียดเกินไปโปรสชาติไม่ดี ไม่ชวนกิน
	ข้าวโพด	Improved 3-6%	Reduced 1-3%	Improved 5-8%	
	Barley, oats	Improved 3-6%	Reduced 1-3%	Improved 7-10%	เพิ่มคุณค่าของอาหารที่มีเยื่อใยสูงได้ดี
	ข้าวสาลี, รำ				
อาหารเปียก (Paste)	ข้าวโพด	Improved	Increased	No change	น้ำ:อาหาร 1.2-1.5:1 ดีสำหรับสุกรรุ่น-ขุน
		10-15%	10-15%		ไม่มีผลต่อสุกรหย่านม
อาหารเหลว (Liquid)	ข้าวโพด	Improved	Increased	Improved	น้ำ:อาหาร 2:1 ดีเฉพาะการให้อาหารอย่างจำกัด
					ไม่ได้ผลหากให้กินเต็มที่
คั่ว ย่าง อบ (Roasting)	ข้าวโพด	No change	No change	Slightly improved	ค่าการแปรรูปสูงกว่าผลตอบแทนที่ได้
	ถั่วเหลือง	No change	Decreased	Improved 4-6%	จำเป็นต้องทำเปรียบเทียบกับกากถั่วเหลือง
อัดแผ่น (Steam flaking)	ข้าวโพด ข้าวฟ่าง	No change	No change	No change	
Micronizing	ข้าวโพด ข้าวฟ่าง	No change	No change	Variable	กรดอะมิโนที่ใช้ประโยชน์ได้อาจลดลง

การเอ็กซ์ทรูด (Extruding)	ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง	No change	No change	No change	
	ถั่วเหลือง	No change	Decreased	Improved 4-6%	เทียบกับกากถั่วเหลือง
					การแปรรูปจำเป็นต้องทำ

ที่มา: Hogberg *et al.* (1980)

เอกสารอ้างอิง

- พันทิพา พงษ์เพียจันทร์. 2539. การผลิตอาหารสัตว์. พิมพ์ครั้งที่ 1. โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮาส์.
กรุงเทพฯ. 294 หน้า.
- AFMA. 1976. Feed Manufacturing Technology. American Feed Manufacturing Association,
Inc., Arlington, Virginia, U.S.A.
- Choi, J.H., B.S. So, K.S. Ryu and S.L. Kang. 1986. Poult. Sci. 65: 594.
- Ensminger, M.E., J.E. Oldfield and W.W. Heinemann. 1990. Feeds and Nutrition. 2nd ed. The
Ensminger Publ. Co., Clovis, CA, U.S.A. 1544 pp.
- Greenwood, C.T. 1970. In Pigman, W. and D. Horton. eds. The Carbohydrates. Vol. 2B,
2nd ed. Academic Press, London, U.K. p. 471.
- Hall, C.W., A.W. Farrall and A.L. Rippen. 1978. Encyclopedia of Food Engineering. AVI
Publ. Co. Inc., Westport, Connecticut, U.S.A. pp. 297-298.
- Hogberg, M., Mahan, D. and R. Seerley. 1980. Physical Forms of Feed – Feed processing for
swine. Natl. Pork. Handbook PIH-71. Coop. Ext. Serv., Purdue Univ., Indiana, U.S.A.
- Lawrence, T.L.J. 1985. Processing and preparation of cereals for pig diets. In Cole, D.J.A. and
W. Haresign. eds. Recent Developments in Pig Nutrition. Butterworths, London,
U.K. pp. 231-245.
- Moran, E.T., Jr. 1989. Effects of pellet quality on the performance of meal birds. In Haresign,
W. and D.J.A. Cole. eds. Recent Advances in Animal Nutrition. 1989. Butterworths,
London, U.K. pp. 87-108.
- National Academy of Sciences. 1973. Effect of Processing on the Nutritional Value of Feeds.
NAS., Washington, D.C., U.S.A. 494 pp.
- Pfost, H.B. 1976. Feed Manufacturing Technology. Feed Production Council, American Feed
Manufactures Association, Inc., U.S.A. 574 pp.
- Pipa, F. and G. Frank. 1989. High pressure conditioning with annular gap expander : A new
way of feed processing. Adv. Feed Technol. No.2, pp. 22-30. Muhle Publ., Detmold,
Germany.

Pond, W.G. and J.H. Maner. 1984. Swine Production and Nutrition. The AVI Publ. Co., Westport, Connecticut, U.S.A. 731 pp.

Pond, W.G., D.C. Church and K.R. Pond. 1995. Basic Animal Nutrition and Feeding. 4th ed. John Wiley & Sons, New York, U.S.A. 615 pp.

Voragen, A.G.J., H. Gruppen, G.J.P. Marsman and A.J. Mul. 1995. Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feeds. In Garnworthy, P.C. and D.J.A. Cole. eds. Recent Advances in Animal Nutrition 1995. Nottingham Univ. Press, Nottingham, U.K. pp. 92-126.