บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

อาหารเช้าธัญชาติ (breakfast cereals) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำธัญชาติและเมล็ดพืชชนิดอื่น เช่นถั่วบางชนิด มาอบแห้งหรือผ่านความร้อนด้วยวิธีการต่าง ๆ จำแนกเป็น 5 ประเภท (Tribelhorn, 1991) คือประเภทดั้งเดิม (old fashion) มีลักษณะเป็นเมล็ดธัญชาติ ได้แก่ เมล็ดข้าวสาลี หรือข้าวโอ๊ต ผ่านการแปรรูปโดยผ่านลูกกลิ้งให้มีขนาดเหมาะสม ใช้เวลาต้มก่อนบริโภคนาน 5-15 นาที ประเภทที่สอง เป็นแบบสุกทันที (instant traditional cereal) ได้จากเมล็ดธัญชาติที่ผ่านกระบวนการทำให้สุกเรียบร้อยแล้ว เพียงเติมลงในน้ำเดือดก็บริโภคได้ทันที ประเภทที่สาม เป็นชนิดพร้อมบริโภค (ready to eat cereal) ผลิตจากเมล็ดธัญชาติที่แปรรูปจนมีเนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏต่างๆ เป็นเกล็ด ชิ้น หรือแบบพอง ประเภทที่สี่ เหมือนประเภทที่สาม แต่ผสมเมล็ดพืชอื่นๆ เช่น ถั่ว ลูกนัท หรือผลไม้แห้ง และประเภทสุดท้ายไม่สามารถจัดอยู่ในกลุ่มที่กล่าวมาได้(miscellaneous) ได้แก่ cereal nugget และ baby food

ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าทั้ง 5 ประเภทที่กล่าวมาข้างต้น ผลิตภัณฑ์พร้อมบริโภคทั้งชนิดที่ผสมและไม่ผสมเมล็ดพืชอื่น (ประเภทที่ 4) มีปริมาณการผลิตและบริโภคค่อนข้างสูง ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ดังกล่าวนี้ผลิตจากธัญชาติทั้งเมล็ดหรือผลิตจากแป้งธัญชาติที่นำมาขึ้นรูปใหม่ให้มีลักษณะเป็นแผ่น (flake) เป็นชิ้นเล็ก (shredded) หรือชิ้นพอง (puffed) โดยใช้เครื่องมือและวิธีการผลิตที่แตกต่างกันไป กล่าวคือผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นแผ่น ใช้ข้าวโพด ข้าวเจ้า หรือข้าวสาลี เป็นวัตถุดิบโดยนำเมล็ดธัญชาติมาทำความสะอาดแยกส่วนที่เป็นเปลือกหุ้มเมล็ดหรือคัพภะออก ลดขนาดเมล็ดลงเหลือครึ่งหรือหนึ่งในสาม แล้วผ่านเข้าเครื่องผสมและทำให้สุกโดยนึ่งด้วยไอน้ำนาน 2 ชั่วโมง หรือมากกว่าภายใต้ความดัน หรือใช้เครื่อง cooker extruder ทำให้สุก จากนั้นอบแห้งและเก็บภายใต้ภาวะเหมาะสมนาน 24 ชั่วโมง หรือมากกว่า เพื่อให้มีความชื้นประมาณ 15-20 % นำมาผ่านเครื่องรีดชิ้นแบบลูกกลิ้งคู่ที่ผิวเรียบ แล้วอบแห้งจนความชื้นสุดท้ายประมาณ 2-3 % (Tribelhorn, 1991) ส่วนผลิตภัณฑ์ประเภทชิ้นเล็ก มีขั้นตอนการเตรียมเหมือนการผลิตแบบเป็นแผ่น แต่จะนึ่งเมล็ดธัญชาติ เช่นข้าวสาลีด้วยไอน้ำก่อน จนมีลักษณะนิ่มทั้งเมล็ด แล้วนำไปพักเพื่อปรับความชื้น ผ่านเข้าลูกกลิ้งคู่ซึ่งมีลูกกลิ้งผิวเรียบอยู่ด้านบน และลูกด้านล่างมีผิวเป็นรอยย่นแบบเว้าเข้าเป็นวง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นยาวขนานกันออกมา ตัดเป็นท่อน แล้วอบจนความชื้นสุดท้ายประมาณ 1 % (Kent and Amos, 1967) ผลิตภัณฑ์ประเภทสุดท้ายในกลุ่มนี้ คือผลิตภัณฑ์ชิ้นพองทำจากธัญชาติทั้งเมล็ด หรือแป้ง เช่นแป้งข้าวโพดบดหยาบ การทำให้พองใช้เครื่อง puffing gun ที่ภายในมีลักษณะเป็นช่องว่างที่ได้รับความร้อนจากตัวกลาง เช่น แก๊ส หรือไอน้ำ เมื่อใส่เมล็ดธัญชาติหรือชิ้นผลิตภัณฑ์ที่ปรับให้มี

ความชื้นประมาณ 14-16 % เข้าไปในช่องว่าง และปิดเครื่อง จะให้ความร้อนภายใต้ความดันที่ระดับอุณหภูมิและความดันเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ความชื้นบางส่วนในผลิตภัณฑ์จะระเหยออกมา ขณะเดียวกันเนื่องจากอุณหภูมิภายในสูงจะทำให้ความดันภายในสูงมากพอที่จะดันฝาปิดให้เปิดออก เมื่อผลิตภัณฑ์สัมผัสความดันบรรยากาศ ผลต่างของความดันจะทำให้ไอน้ำภายใต้ความดันที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ขยายตัวอย่างรวดเร็ว และดันให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะพองออกทันทีทันใด จากนั้นนำมาอบแห้ง จนมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 2-3 % หรือถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเคลือบ หลังอบแห้งจะนำไปเคลือบน้ำตาล หรือสารแต่งกลิ่นรสก่อนบรรจุต่อไป (Valentas, Levine and Clark, 1991)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติ

จากการสำรวจผลิตภัณฑ์ที่วางจำหน่ายในท้องตลาดภายในประเทศ พบว่าส่วนใหญ่ประกอบด้วยเมล็ดธัญชาติ ได้แก่ ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวโอ๊ต และข้าวเจ้า หรือแป้งจากธัญชาติเหล่านี้ในปริมาณ 65-90 % โดยใช้ข้าวสาลี รวมทั้งรำและฟารินามากที่สุด (37 %) รองลงมาคือ ข้าวโอ๊ตบดทั้งเมล็ด หรือแป้งข้าวโอ๊ต 30 % ข้าวโพดบด 22 % และข้าวเจ้า 11 % สำหรับข้าวสาลีที่นิยมใช้ เป็นข้าวสาลีชนิดอ่อน อาจใช้เฉพาะเมล็ดข้าวสาลี หรือผสมกับรำ หรือผสมธัญชาติอื่นๆ สารแต่งกลิ่นรสที่ใช้มาก ได้แก่ น้ำตาลทราย 1-30 % กลูโคสไซรับ (glucose syrup) 3 % น้ำผึ้ง 1-2 % มอลต์สกัด (malt extract) 1-15 % โกโก้ 6 % เนย 5 % นมพร่องมันเนย 15 % เกลือป่น 0.7-3 % นอกจากนั้นอาจเติมถั่วเมล็ดแข็ง เช่นอัลมอนด์ (almond) มะม่วงหิมพานต์ หรือผลไม้แห้ง ได้แก่ ลูกเกด หรือแอปเปิ้ลแห้ง

แป้งจากธัญชาติ

แป้งจากธัญชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติมีรายละเอียด ด้านสมบัติและลักษณะการใช้งานดังต่อไปนี้

แป้งสาลี ได้จากเมล็ดข้าวสาลี (Triticum vulgare) ซึ่งเป็นธัญชาติที่มีผลผลิตมากที่สุดในโลก และข้าวสาลีที่เพาะปลูกมีจำนวนหลายร้อยพันธุ์ ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้จำแนกข้าวสาลีตามฤดูกาลเพาะปลูก ความแข็ง และสีของเมล็ดข้าวเป็น 6 ชนิด (Hui, 1992) คือ hard red winter, hard red spring, soft red winter, durum, hard white winter และ soft white wheat

hard red winter เป็นข้าวสาลีที่มีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ต่ำถึงสูง โม่ได้ง่าย แป้งที่ได้จัดเป็นแป้งอเนกประสงค์ นำมาใช้ทำขนมปัง และขนมอบต่างๆ hard red spring มีปริมาณโปรตีนสูงสุด นำไปโม่เป็นแป้งสำหรับทำขนมปังที่มีคุณภาพดี soft red winter แป้งที่ได้มีปริมาณโปรตีนต่ำ ใช้ทำเค้ก

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพสตรี แดรกเกอร์ เป็นต้น durum เป็นเมล็ดข้าวที่มีความแข็งมากที่สุด เมื่อโม่จะได้แป้งเนื้อหยาบ (Semolina) ที่ใช้ผลิตเส้นพาสต้า hard white wheat มีสมบัติใกล้เคียงกับ red wheat แต่มีรสหวานกว่า และกลิ่นหอมน้อยกว่า ใช้ทำขนมปังที่ใช้ยีสต์ และเส้นบะหมี่จีน soft white wheat ใช้งานในลักษณะเดียวกับ soft red winter เนื่องจากมีโปรตีนต่ำจึงใช้ทำ คุกกี้ แดรกเกอร์ เพสตรี มัฟฟิน ขนมชบเคี้ยว และเป็นวัตถุดิบในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติชนิดเป็นชิ้นพองด้วยเครื่องเอกทรูเดอร์ เพราะมีความแข็งแรงของกลูเตนน้อย ทำให้ผลิตภัณฑ์พองฟูดี (Macrae, Robinson and Sadler, 1993)

ข้าวโอ๊ต (Avena sativa L.) เป็นธัญชาติชนิดเดียวที่นิยมใช้ในรูปเมล็ดหรือชิ้นส่วนของเมล็ด มากกว่าเป็นแป้งในการผลิตอาหารเช้าธัญชาติ อาจเป็นเพราะเมล็ดข้าวโอ๊ตมีกลิ่นหอมชวนบริโภคมาก จึงใช้โดยไม่แปรรูปเป็นแป้ง ข้าวโอ๊ตมีไขมันประมาณ 3-12 % จัดว่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับธัญชาติชนิดอื่น และจะเกิดกลิ่นหืนได้ระหว่างเก็บ การลดขนาดเมล็ดข้าวโอ๊ตทำโดย แยกเปลือกหุ้มเมล็ด ลดขนาดเมล็ด นึ่งด้วยไอน้ำเพื่อยับยั้งเอนไซม์ แล้วผ่านลูกกลิ้งรีดให้เป็นแผ่น ส่วนผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า rolled oats ถ้าผลิตโดยใช้ข้าวทั้งเมล็ด มีลักษณะเป็นแผ่นค่อนข้างหนา ใช้เป็นอาหารเช้าธัญชาติแบบดั้งเดิม ซึ่งใช้เวลาต้มสุกนาน ขณะที่ข้าวโอ๊ตที่ลดขนาดแล้วใช้เวลาทำสุกเพียง 3-5 นาที สำหรับแป้งข้าวโอ๊ต จะนิยมใช้ผสมกับแป้งอื่น ๆ เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดต่าง ๆ เช่นขนมปัง คุ้กกี้ (Macrae, Robinson and Sadler, 1993)

แป้งข้าวเจ้า ได้จากข้าวเจ้า (Oryza sativa L.) ผลิตจากข้าวเจ้าเมล็ดยาวหรือสั้น ซึ่งมีโปรตีนและ อะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน แตกต่างกัน แป้งที่ผลิตจากข้าวเมล็ดยาวจะมีอะไมโลส 23-26% เมล็ดปานกลางจะมีอะไมโลส 15-20% และเมล็ดสั้นจะมีอะไมโลส 18-20 % (Houston, 1972) แป้งข้าวเจ้าใช้มากในผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมชบเคี้ยว คุ้กกี้ และอาหารเช้าธัญชาติ

เมื่อพิจารณาแบบแผนความหนืดและอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้งข้าวเจ้าพบว่า แป้งข้าวเจ้าที่มีอะไมโลสสูงจะมีอุณหภูมิการเกิดเจลสูง (71-74 °C) และมีความหนืดมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิไปตามลำดับจนถึง 92.5 °C ถ้ารักษาระดับอุณหภูมิ 92.5 °C ให้คงที่ไว้ 20 นาที ความหนืดจะค่อย ๆ ลดลง และสูงขึ้นอีกครั้งหลังจากลดอุณหภูมิลง แป้งข้าวเจ้าที่มีอะไมโลสต่ำจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลประมาณ 65-67 °C และความหนืดต่ำ แป้งข้าวเจ้าที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นก๋วยเตี๋ยว มีอะไมโลสสูงคือ 27-33% เพื่อให้การขยายตัวของเม็ดแป้งเป็นไปอย่างช้า ๆ เม็ดแป้งมีความแข็งแรง ต้านการแตกตัวที่อุณหภูมิสูงได้มากกว่า จึงทำเป็นแผ่นได้ดี แป้งที่ผลิตจากข้าวเมล็ดยาวเหมาะสำหรับใช้โรยถาดรองผลิตภัณฑ์บิสกิตแช่แข็ง เพราะดูดกลืนความชื้นช้ามาก (Sharp, 1991) ขณะที่แป้งข้าวเจ้าที่มีอะไมโลเพคตินสูง เหมาะสำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งหลายชนิด เช่น น้ำเกรวี่ ขนม พุดดิ้ง เพราะยังคงความใส และความหนืดได้ แม้นำไปแช่แข็งแล้วกลับมาอุ่นใหม่ แป้งข้าวเจ้าชนิดดัดแปรที่ใช้ในทางการค้า ได้แก่ แป้ง pregelatinized ผลิตจากข้าวเจ้าที่ผ่านการนึ่งก่อน หรือหุงสุกเร็ว เหมาะสำหรับใช้เป็นสารเชื่อมในอุตสาหกรรมเนื้อสัตว์ เพราะไม่มีกลิ่นรส มีสมบัติในการดูดกลืนน้ำสูง (Sharp, 1991)

แป้งข้าวโพด ผลิตจากการโม่เมล็ดข้าวโพด (Zea mays L.) องค์ประกอบโดยประมาณเป็นโปรตีน 8-12% ไขมัน 1-2% เถ้า 1-2% และคาร์โบไฮเดรต 70-76% (Becker and Hanneis, 1991) โปรตีนที่สะสมในข้าวโพดส่วนใหญ่เป็นโปรลามีนที่มีชื่อว่า เซอีน (zein) คิดเป็น 35% ของโปรตีนทั้งหมด ขณะที่มีอะไมโลสในเม็ดแป้ง 24% ข้าวโพดบางพันธุ์จะมีอะไมโลเพคตินเกือบ 100%

เมื่อศึกษาแบบแผนการเกิดเจลของเม็ดแป้ง พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลอยู่ระหว่าง 65-72°C และลักษณะแบบแผนการเกิดเจลคล้ายกันกับแป้งข้าวสาลี ขณะที่เจลแป้งข้าวโพดชนิด waxy ซึ่งมีปริมาณอะไมโลเพคตินสูงมากนั้น จะมีความใสมากกว่า การคืนตัวน้อยกว่า และรักษาความข้นหนืดได้ดีกว่าแม้ผ่านการแช่เย็งมาแล้ว Feldberg (1969) อธิบายว่า อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพคติน ในแป้งมีอิทธิพลต่อเนื้อสัมผัสและการพองตัวของผลิตภัณฑ์ คือแป้งที่มีอะไมโลเพคตินสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่พองตัวเปราะ และเบา ซึ่งดูดซับน้ำมันได้ดี

แป้งถั่วเหลือง ได้จากถั่วเหลือง (Glycine max L.) นำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้หลายรูปแบบ ได้แก่ แป้งถั่วเหลือง ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากเมล็ดถั่วเหลือง โปรตีนถั่วเหลือง และผลิตภัณฑ์จากแป้งถั่วเหลืองชนิดต่าง ๆ Smith and Circle (1980) จำแนกแป้งถั่วเหลืองเป็น แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม (full fat soy flour) แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน (defatted soy flour) แป้งถั่วเหลืองไขมันสูง (high fat soy flour) แป้งถั่วเหลืองเสริมเลซิติน (lecithinated soy flour) และ enzyme action soy flour

แป้งถั่วเหลืองไขมันเต็ม ทำจากถั่วเหลืองกระเทาะเปลือก นำมาผ่านลูกกลิ้งรีดให้เป็นแผ่นบาง ผ่านความร้อนเพื่อทำลายเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาของไขมัน แล้วบดละเอียด มีองค์ประกอบโดยประมาณคือ โปรตีน 36% ไขมัน 20% และคาร์โบไฮเดรต 30% แป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน ใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร เพราะกรรมวิธีผลิตไม่ยุ่งยาก เก็บรักษาง่ายไม่เกิดกลิ่นหืน เนื่องจากมีไขมันต่ำ (ไม่เกินร้อยละ 1) วิธีผลิตใช้ถั่วเหลืองที่คัดและทำความสะอาดแล้ว ให้ความร้อนจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10 อัดเป็นแผ่นบางแล้วสกัดไขมันออกด้วยสารสกัด เมื่อไล่สารสกัดออกแล้ว บดและร่อนผ่านตะแกรงตามขนาด เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ ผลิตภัณฑ์มีโปรตีน 47% ไขมัน 0.9% และคาร์โบไฮเดรต 38% จึงใช้เสริมคุณค่าทางโภชนาการในอาหารที่มีโปรตีนต่ำ และเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งในการผลิตโปรตีนถั่วเหลืองแปลงเนื้อสัมผัส หรือเนื้อเทียม นอกจากนี้ยังใช้เสริมโปรตีนในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่นขนมอบ เส้นก๋วยเตี๋ยว เป็นต้น แป้งถั่วเหลืองไขมันสูง เป็นแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน แล้วเติมไขมันให้มีปริมาณ 12% ส่วนโปรตีนมี 42% และคาร์โบไฮเดรต 33% ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ แป้งถั่วเหลืองไขมันต่ำ เป็นแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน แล้วเติมไขมันให้มีปริมาณ 7% ส่วนโปรตีนมี 45% และคาร์โบไฮเดรต 37% ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ แป้งถั่วเหลืองเสริมเลซิติน เป็นถั่วเหลืองสกัดไขมันที่เติมเลซิตินลงไปในระดับต่างๆ อาจสูงถึง 15% ใช้ทำโดนัท ช่วยให้มีเนื้อเนียนนุ่ม เนื่องจากเลซิตินมีสมบัติเป็นอีมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) นอกจากนี้ใช้ทำผลิตภัณฑ์พิเศษ เช่นอาหารเสริมสำหรับเด็ก enzyme action soy flour เป็นแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนเล็กน้อย (อุณหภูมิประมาณ 65-70°C) เอนไซม์ยังไม่ถูกทำลาย มีทั้งชนิดไขมันเต็มและสกัด

ไขมันออกแล้ว ในประเทศอังกฤษ นิยมเติมในขนมอบในปริมาณ 0.7 % ของน้ำหนักแป้งสาลี เพื่อปรับปรุงลักษณะด้านสี เนื่องจากเอนไซม์ lipoxidase และเกลือของกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น sodium lincleate มีประสิทธิภาพในการฟอกสีของ carotene ได้ดี ความหลากหลายของชนิดแป้งถั่วเหลืองที่ผลิตขึ้นนี้ มีส่วนช่วยตอบสนองผู้บริโภคที่ต้องการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆได้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมขนมอบ

โปรตีนถั่วเหลืองที่ผลิตจำหน่ายทางการค้าได้แก่ โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น (soy protein concentrate) โปรตีนถั่วเหลืองสกัด (soy protein isolate) และโปรตีนถั่วเหลืองแปลงเนื้อสัมผัส (texturized soy protein)

โปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น เป็นแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมัน ที่แยกคาร์โบไฮเดรตและสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำออก มีโปรตีนประมาณ 70% โดยน้ำหนักแห้ง มีสมบัติด้านหน้าที่ (functional property) ที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เช่น เป็น emulsifier ในไส้กรอก ขนมปัง เค้ก ชุป whipped topping และ frozen dessert เป็น stabilizer และ fat absorption promoter ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอก และ meat patties นอกจากนี้ยังมีสมบัติดูดกลืนน้ำ และเกิด dough เมื่อนำมาใช้ในขนมปัง เค้ก และขนมอบต่างๆ โปรตีนถั่วเหลืองสกัด มีโปรตีนสูงสุด (มากกว่า 90% โดยน้ำหนักแห้ง) มีสมบัติด้านหน้าที่เหมือนโปรตีนถั่วเหลืองเข้มข้น และยังเป็นสารเพิ่ม elasticity ในขนมอบบางประเภท และผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ และให้สมบัติการเกิดฟองและกักเก็บฟองอากาศในผลิตภัณฑ์ลูกกวาด และเค้กบางประเภทด้วย (Wolf, 1977) โปรตีนถั่วเหลืองแปลงเนื้อสัมผัส ผลิตจากโปรตีนถั่วเหลืองโดยวิธีเอกซ์ทรูด เพื่อให้มีลักษณะทางประสาทสัมผัสทั้งสี กลิ่น ตลอดจนเนื้อสัมผัสด้านการเคี้ยว ใกล้เคียงกับเนื้อสัตว์ อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์จะมีสมบัติบางประการแตกต่างจากโปรตีนเนื้อสัตว์ คือกลิ่นรส ลักษณะเส้นใยมีขนาดใหญ่และหยาบกว่า

เนื่องจากโปรตีนถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนไลซีนสูง จึงนำมาเสริมหรือใช้กับโปรตีนจากพืชชนิดอื่นที่มีไลซีนต่ำ โดยเฉพาะโปรตีนจากธัญชาติ เพื่อเสริมคุณค่าทางโภชนาการในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ ที่อาจเติมแป้งถั่วเหลืองสกัดไขมันได้มากถึง 20% (Smith and Circle, 1980) สำหรับผลิตภัณฑ์มะกะโรนี ใช้ได้ 12-25% แป้งถั่วเหลืองมีราคาไม่แพงเกินไปนัก และเมื่อปรับปรุงข้อด้อยในด้านกลิ่นรส ก็จะนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างกว้างขวาง (Smith and Circle, 1980)

แป้งลูกเดือย ทำจากเมล็ดลูกเดือย (Coix lacryma jobi L.) Ensminger (1993) วิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณของแป้งลูกเดือย และรายงานว่ามี ความชื้น 15.0 % คาร์โบไฮเดรต 64.9 % โปรตีน 12.0 % ไขมัน 6.7 % เส้นใยหยาบ 0.8 % และเถ้า 0.5 % ยุพดี (2526) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของลูกเดือยที่ปลูกในจังหวัดพะเยา ประเทศไทย พบว่า การสีเปลือกออก และขัดมันมีผลทำให้คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เพิ่มขึ้น แต่เถ้าและเส้นใย ลดลง ขณะที่การขัดเอาส่วนรำออก มีผลทำให้คาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น แต่โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยลดลง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะรำมีโปรตีน ไขมัน

และเถ้าอยู่ในสัดส่วนที่สูงเมื่อเทียบกับคาร์โบไฮเดรต ในด้านโภชนาการ ลูกเดือยเป็นธัญชาติที่มีโปรตีนและไขมันสูงเมื่อเทียบกับธัญชาติอื่นๆ (Matz, 1959) โปรตีนในลูกเดือยส่วนใหญ่เป็นโปรลามีน และโปรตีนในลูกเดือยย่อยง่ายกว่าข้าวฟ่าง ลูกเดือยมีกรดอะมิโนไลซีนต่ำ แต่มีเกลือแร่บางชนิดมากกว่าธัญชาติชนิดอื่นๆ ยุพดี (2526) เปรียบเทียบองค์ประกอบของแป้งลูกเดือยกับข้าวเจ้า พบว่าแป้งข้าวเจ้ามีธาตุเหล็ก 13 ppm ฟอสฟอรัส 0.12% และโปแตสเซียม 0.1% ขณะที่ลูกเดือยสีเปลือกออกไม่ขัดมัน มีธาตุเหล็ก 80 ppm ฟอสฟอรัส 0.48% และโปแตสเซียม 0.37% และลูกเดือยสีเปลือกออกขัดมันมีธาตุเหล็ก 87 ppm ฟอสฟอรัส 0.42% และโปแตสเซียม 0.35% ดังนั้นถ้านำลูกเดือยมาใช้ในรูปเมล็ดหรือแป้งจะช่วยเสริมเกลือแร่ในผลิตภัณฑ์ได้

สารแต่งกลิ่นรส สารแต่งกลิ่นรสที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ ได้แก่ น้ำตาล มอลต์สกัด น้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมฟรุคโตส น้ำผึ้ง ผงโกโก้ และวานิลลา

น้ำตาล เป็นส่วนผสมสำคัญในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ ใช้ในรูปของน้ำตาลเม็ด และน้ำเชื่อม เพื่อให้รสหวาน และยังช่วยเสริมกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น โดยปฏิกิริยาสลายตัวที่อุณหภูมิสูงให้สารประกอบ furan หรือ pyran เช่น maltol หรือ isomaltol ซึ่งมีกลิ่นเฉพาะ (Fennema, 1985) น้ำตาลที่ใช้มากในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติได้แก่ น้ำตาลทราย มอลต์สกัด น้ำเชื่อมกลูโคส น้ำเชื่อมฟรุคโตส และน้ำผึ้ง

น้ำตาลทราย ได้จากสารละลายน้ำตาลของอ้อยหรือหัวบีท ทำให้เข้มข้น แล้วตกผลึก จากนั้นนำไปฟอกสีจะได้น้ำตาลทรายขาว ขณะที่พวกไม่ผ่านการฟอกสี มีสีเข้ม เรียกน้ำตาลทรายแดง (brown sugar) มอลต์สกัด ได้จากข้าวงอกซึ่งส่วนใหญ่เป็นข้าวบาร์เลย์ นำมาต้มจนเป็นน้ำหวาน เรียกว่า เวิร์ต แล้วทำให้เข้มข้น มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาล มีกลิ่นหอมเฉพาะ ใช้งานโดยผสมกับวัตถุดิบก่อนนำไปแปรรูป หรือใช้เคลือบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการแปรรูปแล้ว เพื่อให้สีเข้มขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำตาลรีดิวซิ่ง กับกรดอะมิโน หรือหมู่อะมิโนอิสระในโปรตีน น้ำเชื่อมกลูโคส เป็นผลผลิตซึ่งได้จากการย่อยสลายแป้งด้วยกรดหรือเอนไซม์ แป้งที่ใช้มากในทางอุตสาหกรรมได้แก่ แป้งข้าวโพด ข้าวเจ้า และมันฝรั่ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า starch hydrolysate มีลักษณะเป็นน้ำเชื่อม ซึ่งเป็นของผสมระหว่างกลูโคส มอลโตส และ oligosaccharide หรืออาจทำให้อยู่ในรูปผงแห้งก็ได้ น้ำเชื่อมฟรุคโตส ได้จากการนำน้ำเชื่อมกลูโคส เปลี่ยนเป็นฟรุคโตสโดยใช้เอนไซม์ isomerase จากจุลินทรีย์เพื่อเพิ่มค่าความหวานให้สูงขึ้น (Hui, 1992) น้ำผึ้ง ได้จากรวงของผึ้ง (Apis mellifera) หรือผึ้ง species อื่นของวงศ์ Apidae โดยผ่านขั้นตอนการสกัด แล้วนำไปปั่นแยกของแข็งที่ไม่ละลายออก น้ำผึ้งที่ได้มีลักษณะเป็นน้ำเชื่อมใส มีสีเหลืองอ่อนถึงสีน้ำตาลเหลือง มีรสหวานและมีกลิ่นหอมชวนบริโภค (Hui, 1992)

ผงโกโก้ มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลแดง ได้จากเมล็ดของต้นโกโก้ (Theobroma cacao) ในช่วงที่นำเมล็ดโกโก้มาหมักและคั่ว จะมีการเปลี่ยนแปลงภายในเมล็ด เนื่องจาก ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ให้สีและกลิ่นเฉพาะของโกโก้ สารให้กลิ่นรสที่สำคัญในโกโก้ได้แก่ methylpyrazine, 2-acetylpyridine และ tannin tannin นอกจากจะให้กลิ่นรสแล้วยังทำให้โกโก้มีสีเข้มอีกด้วย (Reineccius, 1994)

วานิลลา ได้จากฝักที่สุกแล้วของพืชวงศ์ Orchidaceae ที่นำมาใช้ในทางการค้ามี 2 species คือ Vanilla planifolia Andrews และ Vanilla tahitensis โดยนำฝักสุกมาบ่มซึ่งระหว่างนั้นจะให้สาร ประกอบ aldehydes ที่มีกลิ่นหอมเรียกว่า วานิลลิน ใช้แต่งกลิ่นในผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมาย เช่น เครื่องดื่ม อาหารเช้าธัญชาติ และขนมอบเป็นต้น

เส้นใยอาหาร (fiber)

คือส่วนประกอบของพืชที่น้ำย่อยในร่างกายของคนไม่สามารถย่อยได้ แต่จุลินทรีย์บางชนิดในลำไส้ใหญ่ย่อยสลายองค์ประกอบบางส่วนของเส้นใยได้ เส้นใยอาหารจากพืชทั่วไปประกอบด้วยส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรต คือ cellulose และ hemicellulose ซึ่งไม่ละลายน้ำ กับ pectic substance มีสมบัติละลายน้ำได้ และส่วนที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตคือ ลิกนิน (lignin) นอกจากที่กล่าวมาแล้ว เส้นใยอาหารยังรวมเมือก (mucillage) ซึ่งเป็นสารที่พืชสร้างเองตามธรรมชาติ และน้ำยาง (gum) ซึ่งเป็นสารที่พืชหลั่งออกมาเพื่อป้องกันตัวเองด้วย ทั้งเมือกและน้ำยางมีสมบัติละลายน้ำ (Southgate, 1982)

จากการศึกษาของ Prosky และ DeVries (1991) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นแหล่งเส้นใยอาหารและมีจำหน่ายในท้องตลาดแล้ว ได้แก่ เส้นใยจากข้าวโอ๊ต เส้นใยจากข้าวบาร์เลย์ จมูกข้าวสาลีสกัดไขมัน เส้นใยจากเมล็ด psylium เส้นใยจากถั่วเหลือง เส้นใยจากหัวบีท และเส้นใยจากรำข้าว

เส้นใยจากข้าวโอ๊ต หรือเรียกว่า oat bran ได้จากเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวโอ๊ต ข้อมูลจากบริษัทที่ผลิตภายใต้ชื่อทางการค้า Advanced Oat Fiber™ กล่าวว่าผลิตภัณฑ์มีเส้นใยอาหารชนิดไม่ละลายน้ำ 78% และชนิดที่ละลายน้ำ 20% ของเส้นใยอาหารทั้งหมด นิยมเติมในขนมปังพลังงานต่ำ เพราะมีสมบัติในการดูดกลืนน้ำดี นอกจากนี้ยังใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ และผลิตภัณฑ์ขนมอบ เพราะเส้นใยจากข้าวโอ๊ตไม่ทำให้ผู้บริโภครู้สึกสากลิ้น

เส้นใยจากข้าวบาร์เลย์ ได้จากการโม่ข้าวที่งอกให้เป็นแป้ง ซึ่งอุดมด้วยเส้นใยถึง 35-65% และมีโปรตีน 18-35% ผลิตภัณฑ์นี้นิยมใช้ในขนมอบชนิดต่างๆ Chaudhary และ Weber (1990) ทดลองเปรียบเทียบผลของการเติมเส้นใยอาหารแต่ละชนิดคือ เส้นใยจาก ข้าวโอ๊ต ข้าวสาลี ถั่วเหลือง เซลลูโลส แป้งสาลีที่มีรำ และเส้นใยจากข้าวบาร์เลย์ ปริมาณ 15% ของน้ำหนักแป้งสาลี ในขนมปัง พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เติมเส้นใยข้าวบาร์เลย์ มีลักษณะปรากฏและคะแนนการยอมรับด้านกลิ่นรสดีที่สุด

จมูกข้าวสาลีสกัดไขมัน (defatted wheat germ) เป็นผลิตภัณฑ์จากบริษัท Vitamins ประกอบด้วยเส้นใยอาหาร 20% นำมาเติมในผลิตภัณฑ์ขนมอบ อาหารเช้าธัญชาติ และขนม ขบเคี้ยว

เส้นใยจากเมล็ด psyllium (Plantago psyllium หรือ Plantago indica) เป็นเมล็ดสุกที่นำมาทำแห้ง มีเส้นใยอาหารละลายน้ำสูงถึง 65-70% ของเส้นใยอาหารทั้งหมด แม้ว่าจะมีผู้ใช้ในวงแคบ แต่ก็มีการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ ขนมอบ ซุป และไอศกรีม

เส้นใยจากถั่วเหลือง ได้จากเปลือกถั่ว (hull) ซึ่งมีเส้นใยอาหารเป็นองค์ประกอบสูงถึง 72% และมากกว่าข้าวโอ๊ต 4 เท่า ผลิตภัณฑ์ภายใต้ชื่อทางการค้า Fibrim® มีเส้นใยอาหาร 75% โดยน้ำหนัก และมีลักษณะเป็นผงซึ่งมี 2 รูปแบบ คือรูปผงหยาบเพื่อนำไปใช้สำหรับขนมอบ ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ หรือรูปผงละเอียดใช้ในผลิตภัณฑ์เหลวข้น เช่น เครื่องดื่ม ซอส และน้ำผลไม้ (Duxbury, 1993)

เส้นใยจากหัวบีท (beet root) ได้จากกากหัวบีทที่สกัดน้ำตาลออกแล้ว ภายใต้ชื่อทางการค้าว่า Fibrate™ ของบริษัท Delta Fiber มีโปรตีนสูง มีน้ำตาลและไขมันต่ำ มีเส้นใยอาหาร 74% ของน้ำหนักกากหัวบีท ซึ่งในจำนวนนี้เป็นเส้นใยอาหารละลายน้ำ 24% มีประโยชน์มากในการใช้เป็นสารทดแทนไขมันสำหรับผลิตภัณฑ์ขนมอบ ซึ่งจะช่วยถนอมรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีลักษณะที่ดีอยู่ได้นาน เนื่องจากมีสมบัติอุ้มน้ำดี ส่วนในแป้งชุบทอด จะไม่ดูดซับน้ำมันมาก และยังช่วยเพิ่มความหนืดให้ซอสได้

เส้นใยจากรำข้าวเจ้า (Oryza sativa L.) รำข้าวมีลักษณะเป็นเยื่อสีน้ำตาลที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าว ประกอบด้วยส่วนของ pericarp และ aleurone จากการศึกษาของ Sharp (1991) พบว่าประเทศไทยมีผลผลิตของข้าวเปลือกประมาณปีละ 19.6 ล้านตัน และปริมาณรำข้าวที่ได้จากการสีข้าวกล้อง (brown rice) คิดเป็น 5.4% โดยน้ำหนักข้าวเปลือก ส่วนประกอบของรำข้าวจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับกระบวนการขัดสีเมล็ดข้าว และปริมาณไขมัน รำจากเมล็ดข้าวที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำก่อนการขัดสี จะมีองค์ประกอบที่เป็นแป้งจาก endosperm เจือปนมาน้อยกว่า ทำให้สัดส่วนของเส้นใยอาหารต่อน้ำหนักมากกว่ารำข้าวธรรมดา เช่นเดียวกับรำข้าวสกัดไขมัน ซึ่งเป็นผลพลอยได้อย่างหนึ่งจากอุตสาหกรรมน้ำมันบริโภคของไทย มีเส้นใยอาหารอยู่ในปริมาณสูงถึง 40% (Saunder, 1990) Kahlon et al. (1989) รายงานว่าเส้นใยจากรำข้าวประกอบด้วย เส้นใยที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เฮมิเซลลูโลส 8.7-11.4% เซลลูโลส 9.6-12.8% และลิกนิน 7.1-13.11% โดยน้ำหนักของรำ ส่วน beta-glucan ซึ่งเป็นเส้นใยชนิดละลายน้ำ พบน้อยกว่า 1% ขณะที่สารอาหารประเภทวิตามินของรำข้าวเจ้ามีปริมาณสัดส่วนใกล้เคียงกับรำข้าวสาลี แต่มีเกลือแร่ส่วนใหญ่มากกว่ารำข้าวสาลี โดยเฉพาะโปแตสเซียมและเหล็ก นอกจากนี้รำข้าวเจ้า และรำข้าวเจ้าสกัดน้ำมัน มีลักษณะเด่นที่แตกต่างจากรำข้าวสาลี และเส้นใยอาหารจากแหล่งอื่น คือไม่มีรสขมค้างในปากหลังกลืน มีรสหวานและมีกลิ่นหอมคล้ายถั่วคั่ว จากกลิ่นรสที่ดึงดูดใจผู้บริโภคนี้ทำให้มีผู้นำรำข้าวมาศึกษา และเติมในผลิตภัณฑ์หลายชนิด ได้แก่ ขนมปัง มัฟฟิน และ คุ้กกี้

Jame, Sloan และ Gadbury (1983) ศึกษาการเติมรำข้าวในผลิตภัณฑ์บิสกิต และมัฟฟิน พบว่ารำข้าวมากกว่า 20% มีผลทำให้ปริมาตรของมัฟฟินลดลง และให้ความรู้สึกผิดขณะเคี้ยวและกลืน

รวมทั้งมีรสชมด้างด้วย Jame และ Sloan (1984) ศึกษาสมบัติในด้านการดูดกลืนน้ำ ไขมัน และความสามารถในการเกิดโฟม และความคงทนของโฟม ในรำข้าวเจ้าที่สกัดน้ำมัน และยังไม่สกัดน้ำมัน และรำข้าวสาลี พบว่าปริมาณไขมันในรำ จะทำให้ความสามารถในการดูดกลืนน้ำลดลง รำข้าวสกัดน้ำมันจะมีความสามารถในการเกิดโฟม และมีความคงตัวดีที่สุด ซึ่งสมบัตินี้มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ขนมอบmeringues เพราะลักษณะโฟมทำให้ผลิตภัณฑ์มีเนื้อสัมผัสนุ่มฟู Skurray, Woodridge และ Nguyen (1986) ทดลองเติมรำข้าวนึ่งหรือรำข้าวสกัดน้ำมัน ในแป้งสาลีทำขนมปัง ในปริมาณ 15 % ของน้ำหนักแป้งสาลี พบว่าปริมาตรของขนมปังที่ได้จะลดลง 8.7 % และ 28.9 % ตามลำดับ เนื่องจากกลูเตนในสูตรลดลง แต่จะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทาง Farinogram ของแป้งที่นวดแล้ว ขนมปังเสริมและไม่เสริมรำข้าว มีคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่ต่างกัน

การเสริมรำข้าวในผลิตภัณฑ์อาหาร ช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพด้าน foam stability ของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น ช่วยให้อาหารมีกลิ่นหอมคล้ายถั่ว และรสหวานเล็กน้อย ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะทางประสาทสัมผัสดีขึ้น หากเติมในปริมาณที่เหมาะสม (Carroll, 1990; Jame and Sloan, 1984) นอกจากนี้ยังเป็นการนำวัตถุดิบที่เหลือใช้ในประเทศที่หาง่าย และราคาถูกซึ่งจากเดิมเป็นเพียงอาหารเลี้ยงสัตว์มาใช้เพื่อช่วยเพิ่มมูลค่า จากสถิติการบริโภครำข้าวในสหรัฐอเมริกา เมื่อปี 1990 พบว่าเฉลี่ยประมาณเดือนละ 1 ล้านปอนด์ และมีความเป็นไปได้ว่า ความต้องการบริโภคจะสูงขึ้นเป็นอีกหลายเท่าตัวในอนาคต

เครื่องมือและกระบวนการผลิตอาหารเช้าธัญชาติ

เครื่องมือที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติในอุตสาหกรรม ได้แก่เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ และเครื่อง puffing gun ซึ่งให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพอง และเครื่องอบแบบลูกกลิ้งให้ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าชนิดเป็นแผ่น รายละเอียดของเครื่องมือแต่ละชนิดมีดังนี้

เครื่องเอ็กซทรูเดอร์ (extruder)

เป็นอุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วยส่วนยาวของแท่งเกลียวโลหะ (screw) ที่มีความลาดเอียง หมุนได้รอบตัวภายในกระบอกสวม (barrel) เกลียวโลหะนี้ทำหน้าที่ลำเลียง วัตถุดิบผ่านเข้าไปในที่ว่างภายในกระบอกและทำให้เกิดการผสม บีบอัด และเกิดความร้อนถึงขั้นสุก (cooking) โดยควบคุมอุณหภูมิ ความดัน ความเร็วรอบของเกลียว เมื่อผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ถึงส่วนปลายสุดของกระบอกสวมจะผ่านออกสู่ส่วนที่เป็นแม่แบบ (die) ซึ่งทำให้เกิดเป็นรูปร่างต่าง ๆ Rossen และ Miller (1973) จำแนกประเภทเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ตามอัตราการเฉือน (shear rate) เป็น 3 ประเภท คือ พวกที่มีอัตราการเฉือนสูงใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นต่ำ (ประมาณ 9-17%) ใช้อุณหภูมิและความดันในกระบอก ประมาณ 110-180 $^{\circ}$C และ 42-84 กก./ซม^2 ตามลำดับ มีความเร็วรอบของสกรูมากกว่า 200 รอบ/นาที ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งสูง เช่น

อาหารเช้าธัญชาติ ขนมขบเคี้ยว เอกซ์ทรูเดอร์ประเภทต่อมา มีอัตราการเฉือนปานกลาง เหมาะกับวัตถุดิบที่มีความชื้นปานกลาง (ประมาณ 20-30%) ใช้อุณหภูมิและความดันอยู่ในช่วง 55-145 °C และ 21-42 กก./ซม^2 ตามลำดับ มีความเร็วรอบของ สกรูมากกว่า 200 รอบ/นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้พองตัวดี ใช้ในการผลิตเนื้อเทียมจากถั่วเหลือง เครื่องประเภทสุดท้ายมีอัตราการเฉือนต่ำใช้กับวัตถุดิบที่มีความชื้นสูง (ประมาณ 30-70%) ใช้อุณหภูมิและความดัน 20-65 °C และ 6-63 กก./ซม^2 ตามลำดับ ใช้ความเร็วรอบของสกรูต่ำกว่า 100 รอบ/นาที ใช้ทำผลิตภัณฑ์ pasta

วัตถุดิบที่ใช้ผลิตอาหารเช้าธัญชาติอยู่ในรูปแป้งเป็นส่วนใหญ่ อาจใช้เพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดก็ได้ ผสมคลุกเคล้ากัน ปรับความชื้นให้พอเหมาะแล้วลำเลียงผ่านเข้าไปในกระบอกสวม ขั้นตอนการเกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุน เกิดขึ้นเนื่องจากแรงเฉือน ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง จะทำให้เกิดก้อนมวลที่ยืดหยุ่น (plasticized mass) อันเนื่องจากเม็ดแป้งเกิดเจล แล้วเม็ดแป้งพองตัว และแตกออก มีการจัดเรียงเป็นเส้นไม่เป็นระเบียบ แรงอัดที่สูงมาก จะทำให้โมเลกุลของแป้งบางส่วนหักเป็นท่อน เรียก dextrinization (Kamel and Stauffer, 1993) น้ำภายในก้อนมวลมีสภาพเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เนื่องจากใช้ความดันสูง เมื่อวัตถุดิบเคลื่อนจากแม่แบบ ความดันจะลดลงทันที ทำให้ไอน้ำดันทะลุออกไปอย่างรวดเร็ว เกิดรูพรุนมากมายและการพองตัว อาจกล่าวได้ว่า การที่ผลิตภัณฑ์พองตัวเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ คือ จากไอน้ำในผลิตภัณฑ์ และผลต่างของความดันระหว่างภายในเครื่องกับบรรยากาศ

ตัวแปรสำคัญในกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่มีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ วัตถุดิบหลักที่เป็นส่วนผสม, ภาวะการแปรรูปคือ ความเร็วรอบของ สกรู อุณหภูมิภายในกระบอกสวม, ขนาดแม่แบบ, และความยืดหยุ่นของมวลส่วนผสม (Mercier, Linko and Harper, 1989)

วัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมหลักในผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แป้ง น้ำตาล และน้ำ สูตรผสมที่มีแป้งต่างชนิดกัน ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของมวลขณะผ่านเครื่องต่างกัน Murray, Marotta and Boettger (1968) กล่าวว่า อะไมโลสและอะไมโลเพคตินมีผลต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ โดยอะไมโลเพคตินช่วยให้ผลิตภัณฑ์พอง โปร่งเบา อะไมโลสทำให้ผลิตภัณฑ์แข็ง และมีข้อจำกัดในการพองตัว ผลิตภัณฑ์จะพองตัวได้ต้องมีอะไมโลสไม่เกิน 20% แต่ถ้ามีมากกว่า 50% เนื้อสัมผัสจะแน่น และพองตัวน้อย Feldberg (1969) กล่าวว่าแป้งจากธัญชาติต่างๆ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการเอกซ์ทรูชั่นจะพองตัวดี และให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบมากกว่าแป้งดัดแปร เพราะโมเลกุลของแป้งดัดแปรมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและมีขนาดความยาวต่ำกว่า นอกจากนั้นแป้งดัดแปรยังมีก้อนมวลเหลว โครงสร้างหลังจากไอน้ำดันทะลุออกไป จึงไม่แข็งแรงและยุบตัวง่าย ส่วนน้ำตาลเมื่ออยู่ในมวลที่มีความร้อนในเครื่อง จะเกิดปฏิกิริยาที่ให้สารคาราเมลได้ง่าย ซึ่งมีผลต่อลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ สำหรับน้ำ น้ำที่เติมจะช่วยให้วัตถุดิบผสมเป็นเนื้อเดียวกันดี ช่วยลด ความดันในการเอกซ์ทรูดลง กรณีที่เติมน้ำมากจะทำให้ผลิตภัณฑ์เป็นก้อนที่มีเนื้อสัมผัสแข็ง หากเติมน้ำน้อยผลิตภัณฑ์อาจไหม้ได้

ความเร็วรอบของสกรู หากเพิ่มความเร็วจะมีผลทำให้อุณหภูมิภายในมวลผลิตภัณฑ์สูงขึ้น ความหนืดลดลงแล้ว ทำให้ความดันของมวลก่อนออกจากแม่แบบลดลง มวลจะไหลผ่านออกมาได้ง่าย ให้ผลิตภัณฑ์พองฟูและกรอบมากขึ้น ขณะที่การลดความเร็วรอบจะให้ผลตรงกันข้าม

อุณหภูมิของกระบอก ซึ่งเป็นส่วนที่ให้พลังงานความร้อนแก่มวลที่เคลื่อนที่ไป จะลดความหนืดของมวลส่วนผสม เนื่องจากก้อนมวลมีความอ่อนตัวลง ทำให้โพรงอากาศภายในผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังมีส่วนปรับสีของผลิตภัณฑ์ให้มีสีน้ำตาลมากขึ้นตามต้องการ

ขนาดแม่แบบ การปรับความสูงของช่องห่าง (slit) สามารถทำขณะเดินเครื่องได้ ถ้าปรับให้กว้างขึ้นจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนาเพิ่มขึ้น (Macier, Linko and Harper, 1989)

ความยืดหยุ่นของมวลส่วนผสม มวลของส่วนผสมจะเปลี่ยนแปลงเป็นมวลที่ยืดหยุ่น (plasticized mass) มากขึ้นได้จะต้องอาศัยแรงเฉือน ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูง เมื่อมวลมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ความดันในการเอกซ์ทรูดและความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์จะลดลง ช่วยให้มวลไหลออกจากแม่แบบได้ง่าย (Macier, Linko and Harper, 1989)

เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์มีศักยภาพในการผลิตสูง ทั้งในด้านกำลังการผลิตเพราะเป็นแบบต่อเนื่อง และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปแบบหลากหลายตามต้องการ นอกจากนั้นยังใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆได้เช่นขนมขบเคี้ยว เนื่องจากเครื่องได้รวมขั้นตอนการผสม การทำให้สุกและพองไว้ด้วยกัน การผลิตในระบบปิดแบบนี้นอกจากช่วยลดโอกาสปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ในบรรยากาศลงแล้วยังประหยัดค่าแรงอีกด้วย (Hui, 1992)

เครื่อง puffing gun

กระบวนการผลิตมี 2 ประเภทคือ ไม่ต่อเนื่อง (batch) และต่อเนื่อง (continuous) ประเภทแรกใช้เครื่องที่มีลักษณะเป็นช่องว่าง (chamber) สำหรับใส่เมล็ดธัญชาติหรือชิ้นผลิตภัณฑ์ แล้วปิดฝา ให้ความร้อนด้วยตัวกลาง เช่นแก๊ส หรือไอน้ำ ที่อุณหภูมิ 170 °C จนถึงความดันประมาณ 6 กก/ซม.^{2} (Valentas, Levine and Clark, 1991) ฝาจะถูกดันให้เปิดออก ใช้เวลาในการทำให้พองประมาณ 5-7 นาที ส่วนประเภทหลัง มีลักษณะเป็นท่อยาวทำเป็น 2 ชั้น ภายในท่อชั้นในมีกลไกช่วยลำเลียงวัตถุดิบ เป็นเกลียวโลหะหมุนพาผลิตภัณฑ์ไปจนถึงทางออกซึ่งมีลักษณะบริเวณปลายตีบลงคล้ายลำกล้องปืน ก็จะดันชิ้นผลิตภัณฑ์ออกมาโดยกระบวนการทั้งหมดใช้เวลาประมาณ 20 นาที ส่วนท่อชั้นนอกจะหุ้มท่อชั้นในไว้เป็นส่วนให้ความร้อนจากไอน้ำเดือดที่ทำให้ความดันภายในเพิ่มขึ้น นอกจากที่กล่าวมาแล้ว เครื่อง puffing gun บางเครื่องมีลักษณะต่างออกไป เป็นท่อรูปทรงกระบอกที่หมุนในแนวแกนนอน โดยมีแก๊สให้ความร้อนติดตั้งอยู่กับที่ ที่ปลายข้างหนึ่งของกระบอกติดตั้งลิ้นครอบหรือดั่นไว้ ด้านบนของลิ้นมีกรวยป้อนวัตถุดิบ

ต่ออยู่ ลิ้นพิเศษนี้จะคอยควบคุมการปล่อยไอน้ำซึ่งเป็นตัวลำเลียงวัตถุดิบ สลับกันกับป้อนวัตถุดิบมาในกระบอก (Valentas, 1991)

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยใช้เครื่อง puffing gun ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ ความชื้นของวัตถุดิบ และอุณหภูมิ (Valentas,1991) ปัจจัยจากวัตถุดิบจะมีผลต่อผลิตภัณฑ์ในลักษณะเดียวการผลิตโดยใช้เครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ สำหรับน้ำมีผลในลักษณะที่ผลิตภัณฑ์จะไม่พองหากวัตถุดิบมีความชื้นมากไป แต่ถ้าวัตถุดิบมีความชื้นน้อย ผลิตภัณฑ์อาจไหม้ได้ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่อง puffing gun ควรมีค่าประมาณ 14-16 % (Kent, 1975) อุณหภูมิ เป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับความดัน กล่าวคือเมื่อความร้อนที่ได้จากตัวกลางทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องสูงมาก น้ำที่มีในวัตถุดิบจะกลายเป็นไอและเกิดความดันมากขึ้น จนถึงจุดที่ฝาเปิด ผลต่างระหว่างความดันไอภายในผลิตภัณฑ์กับความดันบรรยากาศ จะมีค่ามาก ทำให้ผลิตภัณฑ์พองฟูได้ดี แต่หากอุณหภูมิไม่สูงพอ จะให้ผลในทางตรงข้าม คือผลต่างของความดันไอในวัตถุดิบกับความดันบรรยากาศจะน้อยกว่ากรณีแรกที่ได้กล่าวมาแล้ว การพองฟูของผลิตภัณฑ์จะไม่ดี

เครื่อง puffing gun มีกำลังในการผลิตสูง แต่วัตถุดิบที่ใช้ต้องเป็นเม็ด หรือชิ้นผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปเป็นเม็ดแล้ว และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปแบบจำกัด คือเป็นแบบชิ้นพองเท่านั้น (Kent, 1975)

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum dryer)

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งประกอบด้วยโลหะรูปทรงกระบอก หมุนในแนวแกนนอน มีตัวกลางให้ความร้อนได้แก่ไอน้ำ หรือของเหลวร้อน อยู่ภายในทรงกระบอก จึงมีการถ่ายเทความร้อนให้แก่ผิวลูกกลิ้ง เมื่อป้อนวัตถุดิบลงบนผิวขณะลูกกลิ้งหมุน น้ำจะระเหย และเมื่อลูกกลิ้งหมุนจนเกือบครบหนึ่งรอบ จะมีอุปกรณ์ลักษณะคล้ายใบมีดขูดผลิตภัณฑ์ซึ่งแห้งแล้วให้แยกออกจากผิว (Hui, 1992)

เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง จำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ แบบลูกกลิ้งเดี่ยว และลูกกลิ้งคู่ แบบลูกกลิ้งเดี่ยว ป้อนวัตถุดิบได้หลายวิธีคือ ถ้าใช้กับตัวอย่างค่อนข้างเหลว จะใช้วิธีจุ่มลูกกลิ้งลงในอ่างหรือภาชนะบรรจุโดยตรง ถ้าวัตถุดิบข้นหนืดมาก เช่น แป้งผสม จะใช้ลูกกลิ้งขนาดเล็กจำนวนหลายลูกเป็นอุปกรณ์ป้อน โดยติดตั้งด้านบนของลูกกลิ้งที่ทำหน้าที่ถ่ายเทพลังงานความร้อน หรือหากตัวอย่างเหลวมากอาจดัดแปลงใช้หัวฉีดพ่นฝอยเป็นอุปกรณ์ป้อนวัตถุดิบ เครื่องแบบลูกกลิ้งคู่ มีอุปกรณ์ป้อนวัตถุดิบลงช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองซึ่งปรับระยะได้ เพื่อควบคุมความหนาของผลิตภัณฑ์ การเลือกอุปกรณ์ป้อนวัตถุดิบพิจารณาจากการทดลองจริงกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

ตัวแปรสำคัญในกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง ความดันไอน้ำ ปริมาณของแข็งของวัตถุดิบ อุณหภูมิของตัวอย่างที่เตรียมก่อนป้อนเข้าเครื่อง ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง (Charm, 1977)

วัตถุดิบที่ใช้ ได้แก่ แป้งและน้ำตาล แป้งเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ ถ้าต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะพองฟู ควรเลือกใช้วัตถุดิบที่มีความแข็งแรงของกลูเตนต่ำและมีไขมันต่ำ ได้แก่ แป้งข้าวโพดที่สกัดโดยวิธีบดแบบเปียก หรือแป้งข้าวโพดที่เอาส่วนต้นอ่อนออกแล้ว หากวัตถุดิบที่ใช้เป็นแป้งจากธัญชาติอาจเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้กับผลิตภัณฑ์ โดยเสริมโปรตีนจากแป้งถั่วเหลือง ทั้งนี้เพราะโปรตีนถั่วเหลืองมีปริมาณกรดอะมิโนชนิดไลซีนสูง แต่ค่อนข้างจะขาดกรดอะมิโนชนิดเมทไธโอนีน ขณะที่ธัญชาติส่วนมากจะมีไลซีนต่ำ และช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณค่าโปรตีนอย่างครบถ้วน สำหรับการเติมน้ำตาล นอกจากช่วยให้เกิดรสชาติแล้วยังมีผลต่อสี เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาที่ให้สารคาราเมล ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสีเข้มขึ้น และมีกลิ่นหอมเฉพาะ Nip (1979) กล่าวว่าการเติมน้ำตาลในพวกเผือกมัน หรือพืชหัวอื่น ๆ จะช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความร้อนอ่อนตัวง่าย Hoover (1973) พบว่าน้ำเชื่อมข้าวโพด น้ำตาล ช่วยให้ตัวอย่างเกาะติดผิวลูกกลิ้งดีขึ้น แต่ถ้าใช้มากเกินไป จะทำให้ผลิตภัณฑ์ติดผิวลูกกลิ้งแน่นเกินไปจนขูดออกยาก

ความเร็วรอบของลูกกลิ้ง เป็นตัวกำหนดเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง มีหน่วยเป็น รอบ/ต่อนาที ถ้าหมุนเร็ว จำนวนรอบ/ต่อนาทีเพิ่มขึ้น เวลาในการอบแห้งลดลง แต่ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ทำนองกลับกันเมื่อหมุนช้าลง เวลาที่ใช้อบแห้งนานเกินไป อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ไหม้ได้ (Charm, 1977)

ความดันไอน้ำ เนื่องจากไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่ลูกกลิ้ง หากความดันไอน้ำเพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่ผิวลูกกลิ้งจะสูงขึ้นทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ถ้าความดันไอน้ำมากเกินไปจะทำให้อุณหภูมิผิวสูงมากจนอาจทำให้ผลิตภัณฑ์ไหม้ และในทางตรงข้ามถ้าความดันไอน้ำน้อยเกินไป ผลิตภัณฑ์จะไม่แห้ง หรือมีลักษณะค่อนข้างแข็งหรือมีลักษณะเนื้อสัมผัสแบบ chewy texture เนื่องจากโครงสร้างเซลมีขนาดเล็ก

ปริมาณของแข็งของวัตถุดิบ มีผลต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือถ้าปริมาณของแข็งในวัตถุดิบที่ป้อนเข้าเครื่องมีมาก จะทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์สูง อย่างไรก็ตามถ้าปริมาณของแข็งในวัตถุดิบที่ป้อนเข้าเครื่องน้อยเกินไป ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะบางมากจนเป็นรูพรุนขนาดใหญ่ไม่เรียบสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น ปริมาณของแข็งที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 15-22%

อุณหภูมิของตัวอย่างที่เตรียมก่อนป้อนเข้าเครื่อง มีผลต่อผลต่างระหว่างอุณหภูมิที่ผิวของลูกกลิ้งกับอุณหภูมิของตัวอย่างที่ทำแห้ง อุณหภูมิตัวอย่างก่อนป้อนเข้าเครื่องควรอยู่ในช่วง 54-99°C ถ้าตัวอย่างมีอุณหภูมิต่ำ ผลต่างจะมีค่ามาก อัตราการระเหยน้ำจะเกิดขึ้นเร็ว ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ต่ำ แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปอัตราการระเหยจะช้าลง เพราะใช้เวลาส่วนหนึ่งในการเพิ่มอุณหภูมิตัวอย่างให้สูงขึ้น ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์จะสูงด้วย (Charm, 1977) ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง เป็นปัจจัยควบคุมความหนาของผลิตภัณฑ์ สามารถปรับให้ห่างมากหรือน้อยได้ โดยทั่วไปจะมีค่าระหว่าง 0.015-0.625 ซม. ความหนาของผลิตภัณฑ์มีผลต่อความชื้น ถ้าหนามากผลิตภัณฑ์จะมีความชื้นสูง (Charm, 1977)

การปรุงแต่งกลิ่นรสเป็นปัจจัยที่ควรคำนึงถึงนอกเหนือจากลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์ เพราะมีส่วนทำให้ผู้บริโภคพอใจ จึงมีความสำคัญมากสำหรับผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปบริโภคทันที วิธีปรุงแต่งกลิ่นรสทำได้ 2 แบบ คือ การฉาบผิวหน้า และการผสมในส่วนผสมก่อนป้อนเข้าเครื่อง (Nadison, 1969) การฉาบผิวหน้าทำโดยโรยสารแต่งกลิ่นรสบนผิวผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งแล้ว หรือใช้ผสมกับตัวทำละลายฉีดพ่นบนผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีข้อเสียคือการฉีดพ่นสารแขวนลอยที่มีสารแต่งกลิ่นรสกับตัวทำละลาย ต้องใช้เครื่องมือพิเศษและต้องระวังการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์ การผสมสารแต่งกลิ่นรสลงในส่วนผสมวัตถุดิบก่อนเข้าเครื่องมีข้อเสียคือ สารบางชนิดที่ระเหยได้จะสูญเสียไปบางส่วนระหว่างการให้ความร้อน และบางครั้งอาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีหรือกายภาพทำให้กลิ่นรสไม่ดี

การทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง มีอัตราการระเหยน้ำสูงและประหยัดพลังงาน แต่มีข้อจำกัดในการใช้ เนื่องจากวัตถุดิบต้องเตรียมให้อยู่ในรูปของเหลว และไม่เหมาะในการผลิตเป็นจำนวนมากในแต่ละครั้ง เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบพ่นฝอย แต่เหมาะสำหรับการผลิตในปริมาณน้อยถึงปานกลาง

อายุการเก็บของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ

ผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปจากธัญชาติ มีอายุการเก็บประมาณ 1 ปี หากเก็บในที่เย็น และแห้งพอสมควร ผลิตภัณฑ์ประเภทพร้อมบริโภค ควรจะคงความกรอบไว้โดยไม่เกิดกลิ่นหืนระหว่างเก็บ และเมื่อเติมในนมสด ควรคงความกรอบไว้ได้นานอย่างน้อย 3-5 นาที อายุการเก็บเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลอย่างมากต่อความคงตัวของลักษณะด้านเนื้อสัมผัสและกลิ่นรส

การสูญเสียความกรอบในผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติ มีความสัมพันธ์กับความชื้นที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเก็บเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์ที่เพิ่งแปรรูปเสร็จควรมีความชื้น 2-3% และมีความกรอบสูง ค่า water activity เป็นดัชนีที่ดีของความกรอบ water activity สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติส่วนใหญ่ ไม่ควรสูงกว่า 0.45 (ซึ่งเป็นค่าวิกฤติ) เพราะจะทำให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียความกรอบ และผู้บริโภคไม่ยอมรับ กรณีที่มีผลไม้แห้งรวมอยู่ด้วย เช่น ลูกเกด ซึ่งมีความชื้น 18% ลูกเกดจะถ่ายเทความชื้นไปสู่ธัญชาติซึ่งมีความชื้น 2-3% ระหว่างการเก็บความกรอบของธัญชาติจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลง หาก water activity ต่ำกว่าค่าวิกฤติ แต่ลูกเกดอาจมีลักษณะแข็งซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับ อาจแก้ไขได้โดยเคลือบด้วย glycerin ซึ่งเป็นสารที่รักษาความชุ่มชื้น ช่วยให้ผลไม้นั้นยังคงความอ่อนนุ่มไว้ได้ ในขณะที่ปกป้องธัญชาติจากการสูญเสียความกรอบ หรือโดยวิธีเคลือบด้วยสารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น ไขมันหรือน้ำมัน (Hui, 1992) กลิ่นที่ผิดปกติของผลิตภัณฑ์อาหารเช้าธัญชาติระหว่างเก็บผลิตภัณฑ์เกิดจากกรดไขมันไม่อิ่มตัว และสารประกอบที่เชื่อมกันด้วยพันธะคู่ เช่นวิตามิน เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นเป็นเหตุให้เกิดกลิ่นหืน ซึ่งบางปฏิกิริยามีสาเหตุมาจากการสลายตัวของไขมันและปฏิกิริยา reversion ที่พบมากในถั่วเหลือง และทำให้เกิดสารประกอบที่เป็นสาเหตุของกลิ่นแปลกปลอม (Coulter, 1988) นอกจากนี้ชนิดของธัญชาติยังมีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

ด้วย ผลิตภัณฑ์ที่มีข้าวโอ๊ตเป็นส่วนประกอบจะเกิดกลิ่นหืนจากออกซิเดชั่นได้ง่าย เพราะข้าวโอ๊ตมีน้ำมันปริมาณค่อนข้างสูง (ประมาณ 7%) ขณะที่ผลิตภัณฑ์จากข้าวเจ้า ข้าวสาลี และข้าวโพด มีน้ำมันน้อยมาก จึงมีความคงตัวในการเก็บรักษามากกว่า

Caldwell และ Grogg (1955) ศึกษาอายุการเก็บอาหารเช้าธัญชาติสำเร็จรูปจากข้าวโอ๊ตที่วางจำหน่ายในท้องตลาดจำนวน 3 ตัวอย่าง โดยตรวจกลิ่นหืนด้วยการวิเคราะห์ค่า TBA พบว่าผลิตภัณฑ์จำนวน 2 ตัวอย่างมีกลิ่นหืนในสัปดาห์ที่ 12 ส่วนอีก 1 ตัวอย่างมีกลิ่นหืนในสัปดาห์ที่ 20 ธนาสิน (2531) ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดแผ่นกรอบ ผลิตโดยใช้เครื่อง cooker extruder ในบรรจุภัณฑ์ 2 ชนิด คือ ถุง oriented polypropylene laminated polyethylene (OPP/PE) และถุง aluminium foil laminate บรรจุที่ความดันบรรยากาศ และ ก๊าซไนโตรเจน พบว่าผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง OPP/PE ทั้ง 2 ภาวะ เสื่อมคุณภาพในสัปดาห์ที่ 4 เนื่องจากเกิดกลิ่นหืนและสูญเสียความกรอบ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่บรรจุในถุง aluminium foil laminate ภายใต้อากาศปกติ และก๊าซไนโตรเจน จะเสื่อมคุณภาพจากการเกิดกลิ่นหืนในสัปดาห์ที่ 6 และ 10 ตามลำดับ สำหรับกรณีที่เก็บข้าวโพดแผ่นก่อนทอดใน pouch paper laminated polyethylene (paper/PE) และ low density polyethylene (LDPE) เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าผลิตภัณฑ์ที่เก็บในถุง paper/PE อมน้ำมันน้อยกว่าพวกที่เก็บในถุง LDPE เนื่องจาก paper/PE กันการซึมผ่านของความชื้นได้ดีกว่า ศิรินทร์ (2536) ศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวที่มีความชื้น 2.62% โปรตีน 11.38% และไขมัน 30.94% มีค่า water activity 0.24 เมื่อนำไปบรรจุในถุง aluminium laminated oriented polypropylene (Al foil/OPP) เก็บที่อุณหภูมิ 25 °C และอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 เดือน ยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ นิรมล (2536) ศึกษาอายุการเก็บผลิตภัณฑ์อาหารเช้าสำเร็จรูปชนิดแผ่นจากถั่วมะแฮะ ที่มีความชื้น 3.85% โปรตีน 16.35% และไขมัน 2.12% มีค่า water activity 0.32 เมื่อบรรจุในถุง Al foil/OPP เก็บที่อุณหภูมิห้อง 37°C เป็นเวลานาน 10 สัปดาห์ ยังมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย