บทที่ 2
สาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ธัญพืช

เมล็ดธัญพืช แต่ละชนิดมีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน แต่ส่วนประกอบของโครงสร้างแต่ละส่วนจะแตกต่างกัน โครงสร้างของเมล็ดธัญพืชต่างๆ เมื่อเอาเปลือกนอก (husk) ออกแล้ว จะแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ๆได้ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนเนื้อเยื่อหุ้มเมล็ด เอนโดสเปอร์ม และ คัพภะ

1. เนื้อเยื่อหุ้มเมล็ด (bran) มีลักษณะแตกต่างกัน ตามชนิดของธัญพืช ส่วนที่มีสีน้ำตาลอ่อน คือ เนื้อเยื่อชั้นนอกเรียก เพอร์ริคาพ (pericap) หรือเยื่อหุ้มเมล็ด เมื่อสีส่วนนี้ออกเรียกว่า รำหยาบ และถ้าสีต่อไปอีก ส่วนที่ได้จะเรียกว่า อะลูโรนเลเยอร์ (aleurone layer) และส่วนที่ติดกับเอนโดสเปอร์ม ซึ่งเรียกว่า ซับอะลูโรนเลเยอร์ (sub aleurone layer) ส่วนนี้เรียกว่า รำละเอียด ส่วนนี้มีโปรตีนกระจายอยู่ทั่วไป และยังเป็นที่สะสมพวกวิตามิน ไขมัน และ เกลือ แร่ ดังนั้น ข้าวสารสีจนขาว จึงไม่มีส่วนดีนี้เหลืออยู่ เช่นเดียวกับแป้งข้าวสาลีที่โม่ และแยกรำออกจนเป็นแป้งสาลีสีขาวมาก แสดงว่ามีรำปนมาน้อย

2. เอนโดสเปอร์ม (endosperm) คือ ส่วนเนื้อในเมล็ดธัญพืช หรือส่วนที่เป็นเนื้อขาวซึ่งมีอยู่ 80-90% ส่วนนี้จะมีแป้ง (คาร์โบไฮเดรต) เป็นส่วนใหญ่ และมีโปรตีนกระจายทั่วไปตามเมล็ดบ้าง เนื้อในของธัญพืช แต่ละประเภทจะมีลักษณะต่างกัน บางชนิดแข็ง บางชนิดนิ่ม เป็นส่วนที่มนุษย์และสัตว์ใช้เป็นอาหาร ส่วนสารอาหารอื่นๆ จะมีอยู่น้อยในส่วนนี้

3. คัพภะ (germ หรือ embryo) หรือ จมูกข้าว เป็นส่วนที่อยู่ล่างสุดของเมล็ดคิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 2-4 ของเมล็ด เป็นส่วนที่มีสารอาหารหลายชนิดสะสมไว้เพื่อเลี้ยงต้นอ่อน ส่วนนี้ไม่มีแป้งเมื่อผ่านกระบวนการสี และโม่ธัญพืช ส่วนนี้จะถูกแยกออกไป ยกเว้นกรณีที่ทำข้าวนึ่ง คัพภะจะสุกติดไปกับส่วนเอนโดสเปอร์ม จึงยังติดอยู่ในเมล็ดข้าว เมื่อนำไปสี (ปราณี, 2534)

ข้าวกล้อง

ข้าวกล้อง เป็นข้าวที่ผ่านขบวนการกะเทาะเปลือก (แกลบ) ออกเพียงเท่านั้น ไม่ได้ผ่านขบวนการขัดสี ซึ่งยังมี จมูกข้าว (embryo) และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) อยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูง สำหรับข้าวขาว เป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสี ทำให้คุณค่าทางโภชนาการต่ำ เมื่อเทียบกับข้าวกล้อง แต่ว่า ผู้บริโภคไม่นิยมบริโภคข้าวกล้อง เนื่องจาก ข้าวกล้องมีสีที่ไม่น่ารับประทาน ไม่อร่อย ใช้เวลาในการหุงนาน เคี้ยวยาก ไม่นุ่มเหมือนข้าวขาว ส่วนสีของข้าวกล้องจะแสดงออกที่เยื่อหุ้มเมล็ด โดยจะมีสีต่างๆ กัน ตั้งแต่ ขาวแดง น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงเกือบดำ ข้าวกล้อง ที่มีสีแดงและม่วง จะมีสารพวกเม็ดสีแอนโทไซยานินอยู่ (นรชัย, 2542)

ข้าวกล้อง หาซื้อได้ง่าย ตามท้องตลาด มีทั้งข้าวกล้องหอมมะลิ ข้าวเหนียว และข้าวเจ้า ซึ่งมีคุณค่าทางสารอาหารใกล้เคียงกัน บรรจุเป็นถุงขนาดพอกิน ในหนึ่งมื้อ หรือถุงใหญ่ 5 กิโลกรัม เท่ากับข้าวขาวหลากยี่ห้อ ชื่อที่เรียกติดปากในท้องตลาด ในกลุ่มผู้ซื้อขายข้าวกล้องจะนิยมเรียกเป็นเปอร์เซ็นต์ เช่น ข้าวหอม 10% ข้าวหอม 20% และข้าวหอม 30% ที่เรียกกันเป็นเปอร์เซ็นต์นี้ เป็นเพราะว่า พ่อค้าต้องการแบ่งเกรด โดยจะนำข้าวกล้องพันธุ์อื่นที่มีราคาต่ำกว่ามาผสมกับข้าวกล้องพันธุ์ดี โดยผสมมากน้อย ตามจำนวนเปอร์เซ็นต์ที่กล่าวไว้ เพื่อผลกำไรทางการค้า

แต่ถ้าหากจะเรียกพันธุ์ข้าวให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ ที่กรมวิชาการเกษตรประกาศรับรองพันธุ์ข้าวแล้ว จะมีด้วยกันหลายพันธุ์เช่น ข้าวขาวดอกมะลิ105 หรือข้าวดอกมะลิ105 ข้าว กข. 15 ข้าวหอมคลองหลวง 1 ข้าวหอมสุพรรณบุรี และข้าวเจ้าหอมพิษณุโลก เป็นต้น (นรชัย, 2542)

องค์ประกอบของข้าวกล้อง

1. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตที่พบในข้าวกล้องแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ แป้ง (strach) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เซลลูโลส (cellulose) และน้ำตาลอิสระ (sugar)

แป้ง

แป้งมีปริมาณสูงสุด ประมาณร้อยละ 90 ของน้ำหนักข้าว โดยมีอะไมโลส (amylose) ร้อยละ 7-33 ของน้ำหนักแป้ง หรือร้อยละ 8-37 ของน้ำหนักแป้ง ส่วนอะไมโลเปกติน (amylopectin) จะเป็นส่วนประกอบหลักของข้าวเหนียว ซึ่งส่วนใหญ่แป้งพวกนี้จะมีอะไมโลสร้อยละ 0.8-1.3 ทั้งข้าวจ้าวและข้าวเหนียว เม็ดแป้งจะมีขนาดใกล้เคียงกัน อุณหภูมิแป้งสุกอยู่ระหว่าง 55-79 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของข้าว และสิ่งแวดล้อม ข้าวพันธุ์เดียวกัน แต่อาจมีอุณหภูมิแป้งสุกต่างกันถึง 10 องศาเซลเซียส ด้วยเหตุนี้ถ้าใช้อุณหภูมิแป้งสุกเป็นหลักอาจแบ่งข้าวเป็น 3 กลุ่ม คือ ข้าวหุงสุกง่าย ใช้อุณหภูมิ 69 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ข้าวหุงสุกได้ยากปานกลาง ใช้อุณหภูมิระหว่าง 70-74 องศาเซลเซียส และข้าวหุงสุกยาก ใช้อุณหภูมิ 74 องศาเซลเซียส ข้าวที่หุงสุกได้ง่ายส่วนใหญ่มาจากพันธุ์ Japonica ส่วนข้าว Indica มีทั้งหุงสุกได้ง่าย และหุงสุกได้ยาก ทำให้ดูเหมือนว่า อุณหภูมิที่เมล็ดข้าวสุกมีความสำคัญมาก นอกจากนี้อัตราส่วนของอะไมโลเปกติน ก็จะเป็นเครื่องชี้บ่งความยากง่ายของการหุงสุก ถ้าข้าวมีอะไมโลสสูงเม็ดแป้งจะดูดน้ำได้ช้า ข้าวที่มีอุณหภูมิต่ำในขณะที่สุกในน้ำจะดูดน้ำและละลายได้ที่อุณหภูมิต่ำ ข้าวเจ้าดูดน้ำและละลายได้น้อยเท่าข้าวเหนียว และยังคงดูดน้ำได้อีก หลังจากแป้งสุกแล้ว ส่วนข้าวเหนียวการดูดน้ำจะถึงจุดสูงสุดเมื่อแป้งสุก จากรายละเอียดที่ได้กล่าวมานี้แสดงให้เห็นว่าการดูดน้ำของแป้งขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในเมล็ดแป้ง แต่เมื่อเม็ดแป้งแตกตัวออกทั้ง อะไมโลส และ อะไมโลเปกติน จะหลุดออกมา ลักษณะของแป้งเปียกที่ได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของอะไมโลส ความยากง่ายของการสุกนี้อาจตรวจสอบได้ด้วยวิธี Alkali Test โดยนำข้าว 6 เมล็ด แช่ด่าง KOH เข้มข้นร้อยละ 1.7 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร หลังจากแช่ไว้ 23 ชั่วโมง แล้วจึงตรวจดูการกระจายของเมล็ด ข้าวที่พองตัวได้ง่ายจะพองตัวจนแตก และกระจายตัวออก การที่แป้งจากข้าวชนิดต่างๆ สุกที่อุณหภูมิต่างๆ กัน ทำให้การหุงข้าวต้องใช้เวลาต่างกันด้วย ข้าวที่มีแป้งสุกยากจะใช้เวลามากกว่า ข้าวที่มีแป้งสุกง่าย ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะดูดน้ำ และพองตัวได้มาก ถ้าหุงจนสุก ในทางตรงกันข้าม ข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ จะดูดน้ำและพองตัวได้น้อย ปริมาณอะไมโลสไม่เกินร้อยละ 30 แต่ถ้ามีปริมาณอะไมโลสสูงกว่าน้ำการละลายจะน้อยลง อาจเนื่องมาจากการจับตัวกันของอะไมโลสภายในเม็ดแป้งหลังจากที่เม็ดแป้งสุกแล้ว หรือหลังจากหลุดออกมาจากเม็ดแป้งแล้ว

เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส พบมากในรำละเอียด รำข้าวขาว และจมูกข้าว พบเล็กน้อยในข้าวขาว ข้าวกล้อง มีเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 1.43-2.08 ข้าวขาวมีร้อยละ 0.61-1.09 รำละเอียดมีร้อยละ

8.59-10.90 และรำข้าวขาวมีร้อยละ 3.15-6.01 นอกจากนี้ยังพบ เพนโตซาน (pentosan) ในจมูกข้าวร้อยละ 4.80-7.40 มีผู้ศึกษาเฮมิเซลลูโลสที่มีอยู่เหล่านี้พบว่า รำละเอียด และรำข้าวขาวมีประมาณร้อยละ 0.1 ที่ละลายน้ำได้ และร้อยละ 1.0 ที่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มัล ส่วนข้าวขาวมีประมาณร้อยละ 0.02 ที่ละลายในน้ำได้ และร้อยละ 0.1 ที่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 นอร์มัล ส่วนมากเป็นพวก อราบิโนซาน (arabinosan) และไซลาน (xylan)

เซลลูโลส

เซลลูโลสส่วนใหญ่อยู่ในชั้นรำ ปริมาณที่พบร้อยละ 62 อยู่ในชั้นรำละเอียดร้อยละ 4 อยู่ในจมูกข้าว ร้อยละ 7 อยู่ในรำข้าวขาว และร้อยละ 27 อยู่ในข้าวขาว

น้ำตาลอิสระ

น้ำตาลอิสระพบมากในจมูกข้าวและเนื้อแป้ง ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลราฟิโนส กลูโคส และฟรุคโตส เล็กน้อย ข้าวกล้องมีน้ำตาลอิสระร้อยละ 0.83-1.36 และข้าวขาวมีร้อยละ 0.09-0.13 ส่วนจมูกข้าวมีน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing Sugar) ร้อยละ 11.6 และน้ำตาลที่ไม่ถูกรีดิวซ์ (non-reducing sugar) ร้อยละ 9.1

ไฟติน (phytin)

เป็นสารประกอบที่พบมากในบริเวณผิวของเมล็ด มีฟอสฟอรัสร้อยละ 80 ถ้าพบในข้าวกล้อง หรือร้อยละ 40 ถ้าพบในข้าวขาวมาจากสารไฟติน และฟอสฟอรัส ร้อยละ 90 ในรำมาจากไฟติน ไฟตินที่พบในข้าวกล้องร้อยละ 0.2 ในข้าวขาวมีร้อยละ 0.04-0.06 และในจมูกข้าวมีร้อยละ 0.8

2. สารประกอบไนโตรเจน

สารประกอบไนโตรเจนที่พบในข้าว ประกอบด้วยกรดอะมิโนอิสระและโปรตีน โปรตีนเป็นส่วนประกอบที่มีมากเป็นอันดับสองรองจากแป้ง ร้อยละ 14 อยู่ในรำข้าวขาว และร้อยละ 83 ในข้าวขาว อย่างไรก็ตามโปรตีนที่อยู่ตามส่วนต่างๆ อาจเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับการขัดรำและปริมาณโปรตีนในเมล็ดข้าว จากการศึกษาส่วนประกอบของโปรตีนพบว่า ข้าวกล้อง มีไลซิน (lysine) สูง แต่มีกรดกลูตามิค (glutamic) ต่ำกว่า ข้าวขาว

3. ไขมัน

ในข้าวกล้อง ไขมันร้อยละ 80 อยู่ในรำละเอียดและรำข้าวขาว และประมาณ 1 ใน 3 อยู่ในจมูกข้าว ไขมันมีส่วนประกอบของกรดโอเลอิค (oleic acid), กรดลิโนเลอิค (linoleic acid) และ กรดปาล์มิติค (palmitic acid) เป็นส่วนใหญ่

4. วิตามิน

วิตามินส่วนใหญ่พบในส่วนที่เรียกว่า เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด และจมูกข้าว

5. เกลือ แร่

เกลือแร่ของข้าวมีปริมาณไม่คงที่ แตกต่างกันไปตามลักษณะของดินที่ใช้ปลูก และวิธีวิเคราะห์เกลือแร่ ร้อยละ 51 อยู่ในรำละเอียด ร้อยละ 10 อยู่ในรำข้าวขาว และร้อยละ 28 อยู่ในข้าวขาว แร่ธาตุที่พบมีฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม คลอรีน ซิลิคอน โซเดียม และเหล็ก แร่ธาตุที่พบมากที่สุดแมกนีเซียม โปแตสเซียม และซิลิคอน (เยาวภา และ วราพร, 2542)

ประโยชน์ของข้าวกล้อง

การบริโภคข้าวกล้องจะได้คุณค่าทางอาหารหลายอย่าง ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ให้พลังงานแก่ร่างกาย โปรตีน ช่วยเสริม สร้าง ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ได้ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวที่ให้พลังงาน และความอบอุ่นแก่ร่างกาย นอกจากนี้ยังได้รับประโยชน์จากสารอาหารอื่น ซึ่งเป็นสารอาหารที่มีอยู่มาก เป็นส่วนใหญ่ในข้าวคือ วิตามินต่างๆ ได้แก่ วิตามินบี 1 (thiamin) ช่วยป้องกันโรคเหน็บชา ช่วยในขบวนการเปลี่ยนแป้งในร่างกายให้เป็น พลังงานและช่วยในการทำงานของระบบประสาท ในการบังคับกล้ามเนื้อ วิตามินบี 2 (riboflavin) ช่วยป้องกันโรคปากนกกระจอก และช่วยในการเผาผลาญอาหารให้เป็นพลังงาน ไนอาซิน (niacin) ช่วยในการทำงานของ ระบบผิวหนังและระบบประสาท นอกจากได้วิตามินแล้ว ข้าวกล้องยังอุดมไปด้วยแร่ธาตุ ที่สำคัญต่อร่างกาย คือ แคลเซียม ฟอสฟอรัส เหล็ก ส่วนในจมูกข้ายังมี วิตามินอี เซเลเนียม และแมกนีเซียม ประกอบอยู่ด้วยแร่ธาตุต่างๆ เหล่านี้ช่วยเสริมสร้างการทำงาน ในระบบต่างๆ ของร่างกาย ส่วนเส้นใยอาหาร ซึ่งเป็นสารประกอบน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ เชิงซ้อน (polysaccharides) ที่มีอยู่ในผนังเซลล์ของพืช มีอยู่มากในเยื่อหุ้มเมล็ดข้าวของข้าวกล้อง เมื่อบริโภคเข้าไปแล้วจะผ่านกระเพาะและลำไส้เล็กได้ง่าย เนื่องจากน้ำย่อยไม่สามารถย่อย เส้นใยอาหารได้ทั้งหมด จึงถูกขับออกมาและช่วยพาสิ่งที่ตก

ค้างอยู่ในลำไส้ออกไปเป็นกากอาหาร ทำให้ขับถ่ายสะดวก ป้องกันอาการ ท้องผูกและช่วยป้องกันการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ด้วย (จุดรวมแหล่งข้อมูลทางการแพทย์และยา, มปป.)

บทบาทข้าวกล้องต่อโรคเบาหวาน

การรับประทานคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน ระบบย่อยจะใช้เวลาในการเปลี่ยนแป้งให้เป็นกลูโคส ดังนั้นกลูโคสที่ได้จะเข้าไปในร่างกายอย่างช้า ๆ เป็นอัตราเร็วที่พอดีกับการสร้างอินซูลินของร่างกาย ดังนั้นการรับประทานข้าวกล้อง จึงมีผลต่ออัตราความเร็วในการย่อยข้าวกล้องที่พอดีกับอัตราความเร็ว ในการผลิตอินซูลิน ทำให้เกิดความสมดุล ระหว่างการรับประทาน กับการใช้น้ำตาลของร่างกาย ไม่ทำให้ตับอ่อนทำงานหนักเกินไป (ชมรมอยู่ร้อยปี ชีวีเป็นสุข, มปป.)

บทบาทข้าวกล้องต่ออาการท้องผูก

ข้าวกล้องมีเส้นใยอาหารสูง ทำให้กากอาหารมีมากขึ้น โดยเส้นใยอาหารในอุจจาระจะช่วยอุ้มน้ำเอาไว้ ทำให้อุจจาระมีลักษณะนิ่ม ถูกขับออกมานอกร่างกายได้ง่าย และยังช่วยกระตุ้นการบีบตัวของลำไส้ ทำให้การขับถ่ายออกมาตรงตามเวลา (ชมรมอยู่ร้อยปี ชีวีเป็นสุข, มปป.)

บทบาทข้าวกล้องในการควบคุมไขมันในเส้นเลือด

เส้นใยอาหารในข้าวกล้อง สามารถดูดซับไขมันในลำไส้ ทำให้ไขมันมีโอกาสซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้น้อย (ชมรมอยู่ร้อยปี ชีวีเป็นสุข, มปป.)

บทบาทข้าวกล้องต่อมะเร็งลำไส้

เส้นใยอาหารในข้าวกล้องสามารถป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ ทั้งนี้มะเร็งลำไส้ใหญ่เกิดได้จากการรับประทานอาหารเนื้อสัตว์ที่มีโปรตีนและไขมันสูง ไม่มีเส้นใยอาหาร ซึ่งเนื้อสัตว์ส่วนใหญ่จะค้างอยู่ในลำไส้ไม่สามารถย่อยได้หมด เมื่อโปรตีนและไขมันถูกน้ำย่อย ก็จะเปลี่ยนสภาพเป็นยางเหนียว ๆ ติดกับลำไส้ใหญ่ อีกทั้งไขมันในเนื้อสัตว์จะเรียกเอาน้ำดีออกมาย่อยจึงอุ้มเอากรดน้ำดีไว้ด้วย กรดน้ำดีนี้จะเป็นอาหารของแบคทีเรียส่งผลให้แบคทีเรียสร้างสารก่อมะเร็งซึ่งพบว่าทำให้เกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ ดังนั้นการรับประทานข้าวกล้องซึ่งมีเส้นใยอาหารจะทำให้ขับถ่ายได้สะดวก สามารถป้องกันมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งลำไส้ใหญ่ได้ (ชมรมอยู่ร้อยปีชีวีเป็นสุข, มปป.)

คุณค่าทางอาหารข้าวกล้อง

ข้าวกล้อง เป็นข้าวที่ผ่านขบวนการกะเทาะเปลือก (แกลบ) ออกเพียงเท่านั้น ไม่ได้ผ่านขบวนการขัดสี ซึ่งยังมี จมูกข้าว (embryo) และเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว (รำ) อยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีคุณค่าทางโภชนาการสูง สำหรับข้าวขาว เป็นข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสี ทำให้คุณค่าทางโภชนาการต่ำ เมื่อเทียบกับข้าวกล้อง ดังแสดงในตาราง 2.1 และตาราง 2.2

ตาราง 2.1 เปรียบเทียบปริมาณวิตามินและแร่ธาตุในข้าวขาว ข้าวกล้องและข้าวผสมข้าวเสริมคุณค่าทางสารอาหาร (มิลลิกรัม/100กรัม)

สารอาหาร	ข้าวขาว	ข้าวกล้อง	ข้าวผสมข้าวเสริมคุณค่าอาหาร
ไทอะมีน	0.12	0.54	0.84
ไรโบฟลาวิน	0.03	0.06	0.06
ไนอะซีน	1.40	4.50	4.50
กรดแพนโทธินิก	0.32	1.40	1.40
ไพริดอกซีน	0.06	0.43	0.10
วิตามินดี	0.09	0.78	0.78
แคลเซียม	6.0	10.0	10.1
เหล็ก	0.5	1.1	1.1

ที่มา : อรอนงค์, 2534

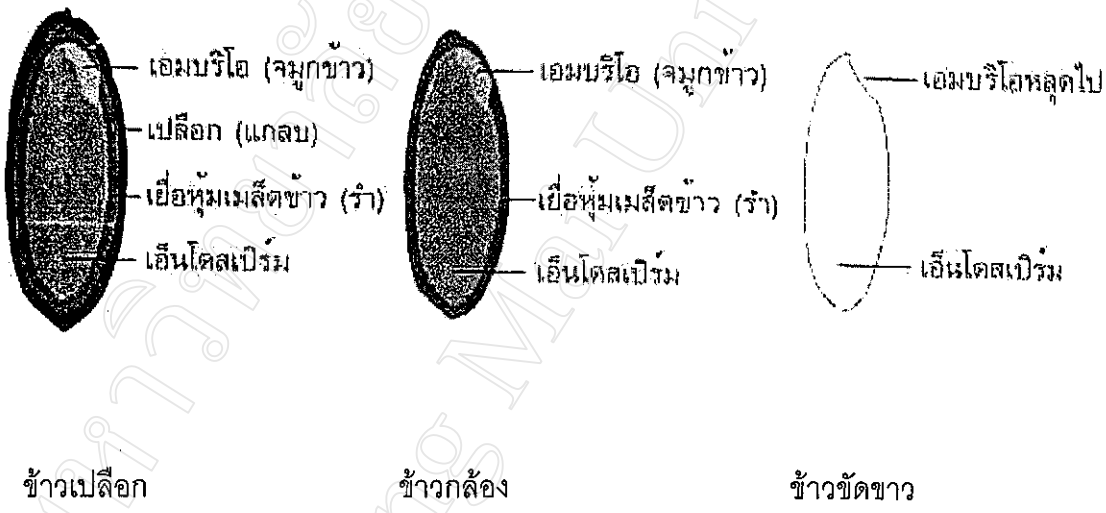
ตาราง 2.2 เปรียบเทียบองค์ประกอบของข้าวกล้อง กับข้าวขาว

องค์ประกอบ	ข้าวกล้อง	ข้าวขาว
แคอลรี่ (100 แคลอรี่ต่อกรัม)	28.0	29.0
โปรตีน (ร้อยละ)	8.9	7.6
ไขมัน (ร้อยละ)	2.0	0.3
คาร์โบไฮเดรต (ร้อยละ)	77.2	79.4
เถ้า (ร้อยละ)	1.90	0.4
เส้นใย (ร้อยละ)	1.0	0.2
วิตามิน (ppm)		
กรดแอสคอร์บิก	3-5	0.6-1.0
ไทอะมีน	0.8-1.0	0.23
ไรโบฟลาวิน	55	15.20
กรดนิโคตินิก	17	6.4
กรดแพนโทธินิก	10.3	4.5
เอ (IU ต่อกรัม)	0.5-1.0	0
แร่ธาตุ (ร้อยละ)	0.084	0.009
แคลเซียม	0.119	0.028
แมกนีเซียม	0.342	0.079
โพแทสเซียม	0.078	0.028
โซเดียม	0.290	0.096
ฟอสฟอรัส	0.023	0.006
กำมะถัน	0.002	0.0009
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.6	0.8
ทองแดง (ppm)	3.50	1.9

ที่มา : อรอนงค์, 2534

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ข้าวเปลือกเมื่อผ่านกรรมวิธีการสีข้าว เปลือกของเมล็ดข้าวที่เรียกว่า "แกลบ" จะถูกกะเทาะออกเหลือเป็นเนื้อข้าวที่เรียกว่า "ข้าวกล้อง" เมื่อนำข้าวกล้องมาสีและขัดก็จะได้เป็น ข้าวขาว ซึ่ง นำมาขายให้กับผู้บริโภค และ รำข้าว ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าวเป็นส่วนที่ทางโรงสีจะนำไปขายเป็นอาหารสัตว์ ดังนั้นสิ่งที่สูญหายไประหว่างการขัดสีข้าวกล้องเป็นข้าวขาว ก็คือ เยื่อหุ้มเมล็ด ซึ่งมีเส้นใยอาหารสูงและมีวิตามินเกลือแร่อยู่บ้าง และ จมูกข้าว ซึ่งอุดมสมบูรณ์ไปด้วย โปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ ด้วยเหตุนี้ ข้าวขาวที่กินกันทั่ว ๆ ไปจึงเหลือแค่เนื้อเมล็ด หรือสารอาหารคาร์โบไฮเดรต เสียส่วนใหญ่ แต่ขาดสารอาหารอื่นๆ ที่อยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดและจมูกข้าว คุณค่าทางอาหารในข้าวขาวจึงน้อยกว่าข้าวกล้อง ดังภาพ 2.1



ภาพ 2.1 ข้าวขัดขาวกับคุณค่าที่สูญเสียไป
ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. มปป.

การกำหนดมาตรฐานข้าวกล้อง

1. ข้าวกล้องชนิด ร้อยละ 100 ข้าวที่มีขนาดตั้งแต่ 7.5 ส่วนขึ้นไปถือเป็นต้นข้าว และข้าวขนาดต่ำกว่า 7.5 ส่วน ถือเป็นข้าวหัก พื้นข้าวเป็นข้าวเมล็ดยาว ส่วนผสมของข้าวกล้องชนิดร้อยละ 100 ต้องมีต้นข้าวอย่างน้อย ร้อยละ 95 ข้าวหักไม่เกิน ร้อยละ 5 ยอมให้มีเมล็ดข้าวเหล่านี้ปนได้ไม่เกินปริมาณที่กำหนด ดังตาราง 2.3

ตาราง 2.3 ชนิดของเมล็ดข้าวที่ยอมให้ปนในข้าวกล้องชนิดร้อยละ 100

ชนิดของเมล็ดข้าว	ปริมาณที่ยอมให้ปน (ร้อยละ)
ข้าวเมล็ดเหลือง (yellow)	0.25
ข้าวเปลือก (paddy)	1.00
ข้าวเมล็ดลีบ (shrivelled)	2.50
ข้าวเสีย (damage)	0.25

ที่มา : อร่าม, 2524

2. ข้าวกล้องชนิดร้อยละ 5 ข้าวที่มีขนาด 7.5 ส่วนขึ้นไปถือเป็นต้นข้าว และข้าวขนาดต่ำกว่า 7.5 ส่วนถือเป็นข้าวหัก พื้นขาวเป็นเมล็ดยาว ส่วนผสมของข้าวกล้องชนิดร้อยละ 5 ต้องมีต้นขาวอย่างน้อยร้อยละ 91 หักไม่เกินร้อยละ 9 ยอมให้มีข้าวเหล่านี้ปะปนได้ไม่เกินปริมาณที่กำหนด ดังตาราง 2.4

ตาราง 2.4 ชนิดของเมล็ดข้าวที่ยอมให้ปนในข้าวกล้องชนิดร้อยละ 5

ชนิดของเมล็ดข้าว	ปริมาณที่ยอมให้ปน (ร้อยละ)
ข้าวเมล็ดแดง (red grains)	2.00
ข้าวเมล็ดตาย (chalky)	4.00
ข้าวเมล็ดอ่อน (immature)	3.50
ข้าวเปลือก (paddy)	1.00
ข้าวเสีย (damage)	0.50

ที่มา : อร่าม, 2524

3. ข้าวกล้องชนิดร้อยละ 10 ข้าวที่มีขนาดตั้งแต่ 7.0 ส่วนขึ้นไป ถือเป็นต้นข้าวและข้าวขนาดต่ำกว่า 7.0 ส่วน ถือเป็นข้าวหัก พื้นข้าวเป็นข้าวเมล็ดยาว ส่วนผสมของข้าวกล้องร้อยละ10 ต้องมีต้นข้าวอย่างน้อยร้อยละ 86 ยอมให้ข้าวเหล่านี้ปนได้ไม่เกินปริมาณที่กำหนด ดังตาราง 2.5

ตาราง 2.5 ชนิดของเมล็ดข้าวที่ยอมให้ปนในข้าวกล้องชนิดร้อยละ 10

ชนิดของเมล็ดข้าว	ปริมาณที่ยอมให้ปน (ร้อยละ)
ข้าวเมล็ดแดง (red grains)	4.00
ข้าวเมล็ดตาย (chalky)	5.00
ข้าวเมล็ดอ่อน (immature)	5.00
ข้าวเปลือก (paddy)	2.00
ข้าวเมล็ดลีบ (shriveled)	5.00
ข้าวเสีย (damage)	0.50
ข้าวเมล็ดเหลือง (yellow)	0.75
วัตถุอื่นๆ (foreign matter)	0.50
ความชื้น (moisture)	14.50

ที่มา : อร่าม, 2524

การหุงต้มข้าวกล้อง

ข้าวกล้องจะมีจมูกข้าวซึ่งอุดมสมบูรณ์ไปด้วย โปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ โดยเฉพาะวิตามินบี 1 และวิตามินบี 2 แต่ในระหว่างการหุงต้ม วิตามินบางชนิดไม่สามารทนกับความร้อน จึงเกิดการสูญเสียคุณค่าทางอาหาร ดังแสดงในตาราง 2.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

ตาราง 2.6 ปริมาณวิตามิน บี ที่สูญเสียในขณะหุงต้มข้าวชนิดต่างๆ

ชนิดของขาว และวิธีการหุงต้ม	Thaiamine		Riboflavin		Niacine	
	ปริมาณ (mg/g)	สูญเสีย (ร้อยละ)	ปริมาณ (mg/g)	สูญเสีย (ร้อยละ)	ปริมาณ (mg/g)	สูญเสีย (ร้อยละ)
ข้าวกล้อง						
- นึ่งในหม้อ 2 ชั้น	4.40	9.00	0.81	6.20	54.0	4.00
- ใช้น้ำมากในหม้อเปิด	4.40	32.00	0.81	26.00	54.0	31.00
ข้าวขาว						
- นึ่งในหม้อ 2 ชั้น	0.65	1.30	0.27	7.40	20.60	3.40
- ใช้น้ำมากในหม้อเปิด	0.65	54.00	0.27	18.20	20.60	41.00
ข้าวนึ่ง						
- นึ่งในหม้อ 2 ชั้น	3.02	6.30	0.41	7.30	49.00	2.00
- ใช้น้ำมากในหม้อเปิด	3.02	43.70	0.41	29.40	49.00	37.60
ข้าวเสริมคุณค่าทางอาหาร						
- นึ่งในหม้อ 2 ชั้น	3.20	4.70	0.32	6.20	19.20	3.60
- ใช้น้ำมากในหม้อเปิด	3.20	50.00	0.32	37.50	19.20	3.60

ที่มา : อรอนงค์, 2534

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

วิธีการหุงต้มข้าวกล้อง

ก่อนหุงต้มข้าวกล้องควรเก็บสิ่งแปลกปลอมออก ซาวข้าวด้วยเวลาสั้นๆ เบาๆ เพียงครั้งเดียว เพื่อป้องกันการสูญเสียวิตามินที่ละลายในน้ำ การหุงข้าวกล้องต้องใส่น้ำมากกว่าข้าวขาว เนื่องจากข้าวกล้องมีเยื่อหุ้มเมล็ดอยู่ การดูดซึมน้ำจะยากกว่า จึงใช้เวลาหุงนาน ดังนั้น ในการหุงข้าวกล้อง 1 ส่วน ควรเติมน้ำประมาณ 1.5 เท่า ถ้าจะให้ประหยัดเวลาหุง ควรแช่ข้าวกล้องก่อนหุง ประมาณ 5-10 นาที เมื่อเมล็ดข้าวนุ่มจึงนำไปหุง นอกจากนั้น เวลาที่ใช้หุงข้าวกล้องยังขึ้นอยู่กับ ข้าวเก่า ข้าวใหม่ด้วย เพราะข้าวใหม่เมื่อหุงสุกเมล็ดข้าวจะติดกันมาก ส่วนข้าวเก่า เมื่อหุงสุกเมล็ดข้าวจะติดกันน้อยกว่า (นรชัย, 2542)

ปัจจัยที่กระทบต่อคุณภาพข้าวสุก

1. ปริมาณอะไมโลส (apparent amylose content) แป้งข้าวมีอะไมโลเพคติน (amylopectin) เป็นองค์ประกอบหลัก และอะไมโลสเป็นส่วนรอง แต่ในระหว่างนักวิจัยข้าวทั่วไปมักนิยมแบ่งประเภทข้าว โดยกล่าวถึงอะไมโลส (amylose) เป็นหลัก ทั้งนี้เมื่อเอ่ย ถึงร้อยละอะไมโลส มักมีความหมายว่า ส่วนที่เหลือของแป้งเป็นอะไมโลเพคติน อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น แป้งข้าวเหนียวมีผลต่ออะไมโลเพคตินหรือมีอะไมโลสปนอยู่เพียงเล็กน้อย ในขณะที่แป้งข้าวเจ้ามีอะไมโลสปนอยู่มาก ข้าวที่มีอะไมโลสสูงในระหว่างการหุงต้มจะดูดน้ำได้มากกว่าข้าวที่มีอะไมโลสต่ำ และเนื่องจากอะไมโลสเมื่อต้มให้สุกแล้วมีคุณสมบัติคืนตัว (retrogradation) เปลี่ยนแปลงจากสภาพละลายน้ำได้เป็นของแข็ง ด้วยเหตุนี้ข้าวที่มีอะไมโลสสูง เมื่อหุงต้มสุกจึงร่วนกว่าและแข็งกว่าข้าวอะไมโลสต่ำ การที่ข้าวไม่เหนียวเกาะติดกัน จึงทำให้ข้าวฟูมีช่องอากาศมาก จึงเห็นเป็นว่าการขยายปริมาตรของข้าวสุก (ขึ้นหม้อ) ดีกว่า ได้มีการจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส ดังตาราง 2.7

ตาราง 2.7 การจัดแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณอะไมโลส

ประเภทข้าว	ปริมาณอะไมโลส (ร้อยละ)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0-12	เหนียวมาก
ข้าวอะไมโลสต่ำ	10-19	เหนียว
ข้าวอะไมโลสปานกลาง	20-25	เหนียวเล็กน้อย
ข้าวอะไมโลสสูง	25-34	ร่วนค่อนข้างแข็ง

ที่มา : งามชื่น, 2531

2. ความคงตัวของแป้งสุก (gel consistency) แม้ว่าปริมาณอะไมโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีคุณภาพการหุงต้ม และการรับประทานแตกต่างกัน แต่ในข้าวบางพันธุ์จะมีอะไมโลสใกล้เคียงกัน แต่ข้าวสุกยังคงมีคุณภาพแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของปฏิกิริยาการคืนตัวของแป้งสุกเมื่อทำให้เย็นซึ่งทำให้แป้งแข็งตัว และกระทบกระเทือนต่อความนุ่มของข้าวสุก ดังนั้นความคงตัวของแป้งสุก จึงสามารถใช้ในการคาดคะเนคุณสมบัติของข้าวสุกได้ใกล้เคียงมากขึ้น เมื่อพิจารณาควบคู่กับปริมาณอะไมโลส การวิเคราะห์ความคงตัวแป้งสุกวัดได้จากระยะทางที่แป้งสุกเย็นไหล และจัดแบ่งประเภทข้าวเป็น 3 ดังตาราง 2.8

ตาราง 2.8 การวิเคราะห์ความคงตัวแป้งสุกวัดจากระยะทางที่แป้งสุกไหล

ประเภทแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล mm (แป้ง 100 mg ใน KOH 0.2N 2 ml)
แป้งสุกแข็ง	26-40
แป้งสุกปานกลาง	41-60
แป้งสุกอ่อน	61-100

ที่มา : งามชื่น, 2531

หากข้าวที่มีอะไมโลสสูงด้วยกัน ซึ่งคาดคะเนได้ว่าต้องเป็นข้าวสุกที่ร่วน และค่อนข้างแข็ง แต่พันธุ์ที่มีแป้งสุกแข็ง จะมีข้าวสุกแข็งกระด้างกว่าพันธุ์ที่มีแป้งสุกอ่อน

3. อุณหภูมิแป้งสุก (gelatinization temperature) เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แป้งกลายเป็นเจล และเปลี่ยนจากลักษณะทึบแสงเป็นโปร่งใส อุณหภูมิแป้งสุกมีความสำพันธ์กับระยะเวลาหุงต้ม โดยทั่วไปการต้มข้าวให้สุกต้องใช้เวลา 13-24 นาที ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงต้องใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ ได้มีการแบ่งประเภทข้าวตามระดับอุณหภูมิแป้งสุกเป็น 3 ประเภท ดังตาราง 2.9

ตาราง 2.9 ข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกสูงต้องใช้เวลาหุงต้มนานกว่าข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำ

อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	ประเภทอุณหภูมิแป้งสุก	การสลายเมล็ดใน KOH ร้อยละ 1.7
ต่ำกว่า 65	ต่ำ	6-7
70-74	ปานกลาง	4-5
74.5-79	สูง	1-3(2)

ที่มา : งามชื่น, 2531

เนื่องจากปริมาณอะไมโลสเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้คุณภาพข้าวสุกแตกต่างกัน ดังนั้นนอกจากระยะเวลาหุงต้มแล้ว ผลกระทบจากอุณหภูมิข้าวสุกต่อคุณภาพข้าวสุกจึงไม่ค่อยชัดเจน แต่หากจำกัดกลุ่มข้าวให้มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกันน้อย อุณหภูมิแป้งสุกจะแสดงผลออกมา กล่าวคือ ในกลุ่มข้าวเหนียว หากมีอุณหภูมิแป้งสุกสูง หรือ ปานกลางจะมีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับ เนื่องจากเมื่อนึ่งสุกจะได้ข้าวแข็งและสุกๆ ดิบๆ สำหรับข้าวเจ้าอะไมโลสต่ำ หากมีอุณภูมิแป้งสุกปานกลาง-สูง ก็จะมีคุณภาพไม่ดี กล่าวคือ การหุงต้มข้าวประเภทนี้หากต้องการต้มข้าวให้สุกจะต้องใช้ เวลาต้มนาน ในระหว่างการต้ม เมล็ดข้าวจะดูดซึมน้ำเข้าไปด้วย ทำให้ปริมาณน้ำมากเกินไปสำหรับข้าวอะไมโลสต่ำ ข้าวสุกที่ได้จะแฉะเละ แต่หากหุงต้มโดยจำกัดปริมาณน้ำให้เหมาะสมกับอะไมโลสการหุงต้มจะไม่สมบูรณ์ทำให้ได้ข้าวสุกๆ ดิบๆ ในการปรับปรุงพันธุ์ จึงควรคัดเลือกข้าวเหนียวหรือข้าวอะไมโลสต่ำที่มีอุณหภูมิแป้งสุกต่ำเท่านั้น สำหรับข้าวอะไมโลสสูงเนื่องจากดูดน้ำได้มากกว่าและข้าวที่ได้ไม่เหนียวติดกัน การยืดเวลาการหุงต้มให้นานออกไปเนื่องจากอุณหภูมิแป้งสุกสูง จึงไม่ทำให้ข้าวเละ สำหรับข้าวอะไมโลสปานกลางผลกระทบดังกล่าวจะ

ปรากฏในข้าวเก็บเกี่ยวใหม่ๆ แต่เมื่อเก็บข้าวไว้เกิน 4 เดือน คุณลักษณะดังกล่าวจะหายไป เนื่องจากข้าวเก่าดูดน้ำได้มากกว่าข้าวใหม่ดังนั้น ข้าวประเภทอะไมโลสปานกลาง-สูง จึงสามารถคัดเลือกข้าวที่มีอุณหภูมิแป้งสุกทุกชนิด

4. อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก (elongation ratio) ในระหว่างการหุงต้มเมล็ดข้าวจะขยายตัวโดยรอบโดยเฉพาะด้านยาว ในข้าวบางพันธุ์เมล็ดสามารถยืดตัวได้มาก ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษที่เป็นที่นิยม การที่เมล็ดยืดตัวได้มากหากเมล็ดขยายตัวได้มากทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้นไม่อัดแน่น และช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น นอกจากนี้ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งรู้จักในนามของข้าวหอมมะลิก็มักมีการยืดตัวดี ทำให้ข้าวสุกน่ารับประทาน และนุ่มแต่เนื่องจากข้าวพันธุ์นี้มีอะไมโลสต่ำข้าวสุกเหนียวดิดกันทำให้ไม่ขึ้นหม้อ

5. กลิ่นหอม (aroma) เป็นลักษณะพิเศษที่นิยมของคนไทย และผู้บริโภคบางกลุ่ม มีรายงานว่าข้าวที่มีกลิ่นหอมมีสาร 2-acetyl-1-pylorine มากกว่าข้าวทั่วไป ซึ่งสารดังกล่าวนี้พบในข้าวสารหอมพันธุ์ต่างๆ เป็นปริมาณ 0.04-0.09 ไมโครกรัมต่อกรัม และในข้าวกล้องประมาณ 0.1-0.2 ไมโครกรัมต่อกรัม สารหอมชนิดนี้ยังพบปริมาณสูงในพืชตระกูลใบเตย ทั้งนี้อาจมีปริมาณสูงถึง 1 ไมโครกรัมต่อกรัม (งามชื่น, 2531)

ข้าวโพด

ข้าวโพดหวาน (Sweet corn) เป็นข้าวโพดที่ส่วนน้ำตาลในเมล็ด เปลี่ยนแปลงไปเป็นแป้งไม่สมบูรณ์ ทำให้เมล็ดก่อนสุกมีความหวานกว่าข้าวโพดชนิดอื่นๆ และเมื่อแก่จะมีลักษณะเหี่ยวย่น

องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวโพด

แป้งข้าวโพด (corn starch)

แป้งข้าวโพดจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมี น้ำตาลกลูโคส (D-glucose) เป็นองค์ประกอบอยู่ 2 ชนิด คือ อะไมโลส และอะไมโลเพคติน ในสัดส่วนร้อยละ 27 และ 73 ตามลำดับ สัดส่วนนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ตามชนิดและพันธุกรรมของข้าวโพดโมเลกุลของอะไมโลเพคตินประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคส 40,000 หน่วย (unit) หรือมากกว่า จับตัวกันยาวและแตกแขนง (branched chain) ส่วนโมเลกุลกลูโคสของอะไมโลส จะมีประมาณ10,000หน่วย อะไมโลเพคตินมีคุณค่าสำคัญใช้ในอุตสาหกรรมแป้ง ส่วนอะไมโลส มีความสำคัญ ใน อุตสาหกรรม ฟิล์ม เยื่อใย

โปรตีนข้าวโพด (corn protein)

โปรตีนของข้าวโพดส่วนใหญ่จะอยู่ที่ชั้นของ aleurone layer ของส่วน endosperm เมล็ดข้าวโพดมีโปรตีนหลายชนิด รวมแล้วได้ประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

ไขมันข้าวโพด (corn lipids)

ลิพิด (lipid) ที่สำคัญที่เป็นองค์ประกอบของข้าวโพดได้แก่ ไขมัน (fat), แวกซ์ (wax), ฟอสฟาไทด์ (phosphatide), ซีรีโบไซด์ (cerebroside), สเตรียรอยด์ (steroid) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) น้ำมันในเมล็ดข้าวโพดส่วนใหญ่ (ร้อยละ 85) จะอยู่ในส่วนของ เอมบริโอ (embryo), ไตรกลีเซอร์ไรด์ (tryglyceride) ของ กรดไขมัน (fatty acids)

น้ำตาลข้าวโพด (corn sugar)

เมล็ดข้าวโพดไร่ จะมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 1-3 ประมาณร้อยละ 75 ของน้ำตาลจะอยู่ในส่วนของ เอมบริโอ ส่วนที่เหลือจะอยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) น้ำตาลส่วนใหญ่จะเป็นน้ำตาลซูโครส (sucrose) และมีส่วนน้อยเป็นน้ำตาลกลูโคส (glucose), น้ำตาลฟรุคโตส (fructose) และราฟิโนส (raffinose)

เกลือแร่ และวิตามินในเมล็ดข้าวโพด (corn kernel minerals and vitamines)

เกลือแร่ที่พบในเมล็ดข้าวโพดร้อยละ 80 จะอยู่ในส่วนของ เอ็มบริโอประกอบด้วยธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส โพแตสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และซัลเฟอร์ เกลือแร่ที่สำคัญ เช่น ไฟเทตท์ (phytate) จะอยู่ในเอมบริโอ เท่านั้น วิตามินที่ละลายน้ำของข้าวโพด ส่วนใหญ่จะอยู่ในส่วนของเอนโดสเปิร์ม ได้แก่ วิตามินเอ วิตามินดี และวิตามินอี

ตาราง 2.10 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบน้ำหนักแห้งของเมล็ดข้าวโพด

องค์ประกอบ	ส่วน (ร้อยละ) ของน้ำหนักแห้ง
แป้ง	72.0
โปรตีน	10.0
น้ำมัน	4.8
เยื่อใย	8.5
น้ำตาล	3.0
เถ้า	1.7

ที่มา : ราเชนทร์, 2539

ถั่วลิสง

ถั่วลิสงพวกวาเลนเซีย (valencia) โดยทั่วไปจะมีลำต้นสูง เป็นพุ่ม ตั้งตรง กิ่งค่อนข้างโต และมีจำนวนน้อยใบมีขนาดใหญ่กว่าพวกอื่นๆ มี สีม่วงหรือเขียว ฝักมีขนาดใหญ่เห็นลายบนฝักชัดเจน ฝักส่วนใหญ่มี 3 เมล็ด เปลือกฝักค่อนข้างบาง ลายเส้นเห็นไม่ชัดเจนแต่มีจะงอยฝักเด่นชัดมาก เมล็ดมีทั้งแบบป้อม และขาวรีขนาดโต ปานกลาง เปลือกเมล็ดมีสีม่วงแดง น้ำตาลแดง หรือ น้ำตาลอ่อน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุการเก็บเกี่ยวสั้นกว่าพวกอื่นๆ เมล็ดไม่มีการพักตัวแต่มีเปอร์เซ็นต์น้ำมันสูงเช่นเดียวกับพวกสแปนนีช (ภูวนาถ, 2531)

ประโยชน์ของถั่วลิสง

คุณค่าที่โดดเด่นอีกประการในถั่ว คือ กากใยอาการ (fiber) ถั่วเมล็ดแห้งมีกาก ใยอาหารสูง ทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ กากใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำจะช่วยเพิ่มกากใยอาหารและอุ้มน้ำ เพิ่มกากอาหาร ช่วยให้อุจจาระนิ่มขับถ่ายได้คล่องเป็นปกติ กากใยอาหารชนิดละลายน้ำได้ จะทำปฏิกิริยา กับกรดในกระเพาะ ทำให้รู้สึกอิ่มเร็ว อิ่มนาน และกากใยนี้ยังช่วยในการลดคลอเรสเตอรอล ในเลือด เพราะว่าไปจับกับกรดน้ำดี เมื่อน้ำดีไม่พอใช้ ร่างกายก็สร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งการ สร้างน้ำดีนั้น ต้องใช้คลอเรสเตอรอลเป็นวัตถุดิบ ผลคือจะไปลดระดับ

คลอเรสเตอรอลใน เส้นเลือด ซึ่งลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ และโรคหลอดเลือดในสมองแตก นอกจาก นี้ร่างกายยังย่อยแป้งที่มีอยู่ในถั่ว และดูดซึมน้ำตาลไปใช้อย่างช้าๆ ทำให้มีกลูโคสลำเลียงเข้าไปในเลือดอย่างสม่ำเสมอ การกินถั่วเมล็ดแห้ง จึงจำเป็นต่อคนที่เป็นโรค เบาหวาน เพราะว่าจะทำให้สามารถควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้ดียิ่งขึ้น

ถั่วต่างๆ อุดมไปด้วยธาตุฟอสฟอรัสและเหล็กอีกทั้งแร่ธาตุอื่นๆ วิตามิน บี เกือบทุกชนิด โดยเฉพาะ วิตามิน บี 1 วิตามินนี้ช่วยในการย่อยแป้งและน้ำตาลให้เป็นประโยชน์ ต่อร่างกาย ผู้ที่ขาดวิตามินบี 1 มักจะเป็นโรคเบื่ออาหาร มือและเท้าบวม นอนไม่หลับ หงุดหงิด อ่อนเพลีย ถ้าเป็นรุนแรงก็ทำให้หัวใจโต กล้ามเนื้อ อ่อนแรง และเป็นโรคเกี่ยวกับระบบประสาทได้ (สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ, มปป.) คุณค่าทางอาหารถั่วลิสงดังตาราง 2.1

ตาราง 2.11 แสดงสารประกอบที่สำคัญของถั่วลิสง

องค์ประกอบ	ปริมาณที่ได้รับ (ร้อยละ)
โปรตีน	26
คาร์โบไฮเดรต	23
ไขมัน	45-50
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	52
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.9
กาก	1.9-3
ถั่วลิสง 100 กรัมให้พลังงาน	546 แคลอรี่

ที่มา : ภูวนาถ, 2531

ลูกเดือย

ลูกเดือย *Coix lachryma-jobi Linn* เป็นพืชตระกูลข้าว ชอบขึ้นในที่ชื้นๆ โดยทั่วไปนิยมใช้ทำอาหารหวาน โดยต้องทำให้สุกก่อน ในตำราจีนมักใช้ลูกเดือยบดผสมข้าว ต้มเป็นข้าวต้มกินทุกวันเพื่อบำรุงกำลัง หล่อลื่นกระเพาะอาหารและปวดข้อเรื้อรัง ในแง่การเป็นสารอาหาร ลูกเดือยมีฟอสฟอรัสในปริมาณสูง มีวิตามินบีหนึ่งมากกว่าข้าวกล้อง นอกจากนี้ สาร

โคเซนโนไลด์ (coxenolide) ในเมล็ดเดือยมีสรรพคุณในการยับยั้งเนื้องอก และพบว่าสารสกัดด้วยน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ จากรากหรือเมล็ดเดือยมีฤทธิ์ทำให้การหมุนเวียนโลหิตดีขึ้น ทำให้เส้นผมเจริญดีขึ้น (ลูกเดือยธัญพืชเพื่อสุขภาพ, มปป)

งา

งา *Seasamum indicum Linn.* เป็นพืชไร่ล้มลุกที่มีขนาดเมล็ดเล็กสีดำหรือสีขาว ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์

ไขมันงาจัดเป็นไขมันที่มีคุณภาพดีเพราะมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง และไม่เกิดการเหม็นหืนง่าย นอกจากนี้ยังช่วยลดคอเรสเตอรอลในเลือดด้วย

โปรตีนก็มีอยู่ไม่น้อยกว่า ร้อยละ20 เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง เพราะมีกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่ครบทุกชนิด โดยเฉพาะเมธิโอนิน ซึ่งมีอยู่น้อยในโปรตีนถั่วเหลือง แต่กลับมีมากในงา ดังนั้นผู้ที่บริโภคอาหารมังสวิรัติ ซึ่งร่างกายจะได้รับโปรตีนจากธัญพืชจึงต้องบริโภคเมล็ดงาร่วมกับเมล็ดถั่ว จึงจะได้รับกรดอะมิโนที่จำเป็นอย่างเพียงพอ

ในเมล็ดงาจะอุดมไปด้วยวิตามินบีทุกชนิด (ยกเว้นวิตามินบี 12) ซึ่งจะช่วยในการบำรุงสมอง ประสาท และป้องกันโรคเหน็บชา ส่วนเกลือแร่จะมีมากถึงร้อยละ4.1-6.5 ที่สำคัญ ก็คือ พวกธาตุเหล็ก ไอโอดีน สังกะสี แคลเซียม และฟอสฟอรัส โดยเฉพาะแคลเซียม และฟอสฟอรัสในงาจะมีอยู่มากกว่าผักชนิดอื่นๆถึง 40 และ 20 เท่าตามลำดับ (ชมรมเทคโนโลยีทางอาหารและชีวภาพคณะวิทยาศาสตร์จุฬาฯ, มปป)

ถั่วลันเตา

ถั่วลันเตา *Pisum satavim Linn* คุณประโยชน์ของถั่วลันเตาคือ มีโปรตีนสูง มีแคลเซียมและฟอสฟอรัส และอุดมด้วยใยอาหารที่ละลายในน้ำ ใยอาหารชนิดละลายน้ำนั้น มีสรรพคุณในการช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือด ทั้งนี้เป็นเพราะใยอาหารชนิดนี้จะจับตัวกับน้ำดี ซึ่งมีคอเลสเตอรอลเป็นส่วนประกอบ แล้วขับออกจากร่างกายมากขึ้น ทำให้ร่างกายต้องใช้คอเลสเตอรอลที่มีอยู่ มาสร้างน้ำดีเพื่อทดแทน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระดับคอเลสเตอรอลในเลือดลดลง สามารถลดความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและโรคหลอดเลือดในสมองแตกได้ด้วย

ถั่วลันเตา (sugar pea) ให้พลังงานต่ำและใยอาหารสูง ตัวฝักมีเบตาแคโรทีนที่ร่างกายเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ และยังมีเหล็ก ไนอาซิน และฟอสฟอรัสร้อยละ 15-20 ของปริมาณที่

แนะนำให้บริโภคในแต่ละวัน จึงเป็นอาหารที่ช่วยรักษาวิตามินซี ถั่วลันเตา 100 กรัม ให้แคลเซียม และกระดูกและฟันให้แข็งแรง (บริษัทฮานามิจำกัด, มปป.)

กระบวนการผลิตอาหารกระป๋อง

การผลิตอาหารกระป๋อง เป็นวิธีการถนอมอาหารแบบสเตอริไลซ์เซชั่น (sterilization) ค้นพบโดยนิโคลัส แอพเพิร์ต (Nicholus Appert) ชาวฝรั่งเศล ในปี พ.ศ. 2338 โดยบรรจุอาหารในขวดแก้วปากกว้าง ปิดฝาด้วยจุกไม้ก็อก แล้วนำไปต้มในน้ำเดือด และทำให้เย็น สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ได้ยาวนาน ต่อมาปี พ.ศ. 2353 ปีเตอร์ ดูแรนด์ (Perter Durand) ชาวอังกฤษ เริ่มใช้กระป๋องเหล็กฉาบดีบุกขึ้นเป็นครั้งแรก จึงเป็นจุดเริ่มต้นของการใช้กระป๋องโลหะแทนขวดแก้วจนเป็นที่นิยมแพร่หลายในปัจจุบัน (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2539)

อุตสาหกรรมการผลิตอาหารกระป๋องเป็นการผลิตอาหารบรรจุในภาชนะปิดผนึกอากาศซึมผ่านเข้าออกไม่ได้ ผ่านการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ด้วยความร้อนก่อน หรือหลังการบรรจุและปิดผนึกในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ที่อุณหภูมิเพียงพอที่จะทำลายจุลินทรีย์ที่เป็นต้นเหตุให้อาหารเสื่อมคุณภาพ เน่าเสีย และเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค เป็นการถนอมอาหารที่บรรจุภายในไม่ให้เน่าเสียหรือเปลี่ยนแปลงในสภาวะการเก็บรักษาปกติได้เป็นระยะเวลานาน (วิวัธน์, 2535)

วัสดุที่ใช้ทำกระป๋องบรรจุอาหาร

1. กระป๋องเคลือบดีบุก (plain can) ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก เหมาะสำหรับบรรจุผักและผลไม้ที่มีสีอ่อน มีความเป็นกรดต่ำ (pH สูงกว่า 4.5) มีโปรตีนต่ำ เช่น ลิ้นจี่ ลำไย เงาะ แห้ว สับปะรด ถ้าบรรจุในกระป๋องเคลือบดีบุก จะมีรสชาติดีกว่าบรรจุในกระป๋องเคลือบแลคเกอร์เพราะกรดในผลไม้ เมื่อทำปฏิกิริยากับดีบุก จะทำอาหารมีกลิ่นรสเฉพาะ

2. กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ (lacqured can) ทำจากแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกหรือแผ่นเหล็กเคลือบโครเมียม หรืออลูมิเนียม แล้วเคลือบแลคเกอร์ที่ผิวอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันไม่ให้คุณภาพของอาหารเสียไป เหมาะสำหรับบรรจุอาหารประเภทเนื้อสัตว์ ปลาที่มีสารประกอบกำมะถันสูง อาหารที่มีกรดค่อนข้างสูง รวมทั้งอาหารที่มีการเติมสารฟอกสีพวกเมตาไบซัลไฟต์ เมื่อกำมะถันทำปฏิกิริยากับดีบุกที่เคลือบกระป๋อง จะทำให้เกิดรอยดำ ถึงแม้ว่าจะไม่เป็นอันตราย แต่ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จึงควรใช้กระป๋องเคลือบแลคเกอร์

3. กระป๋องอลูมิเนียม (aluminium can) มีคุณสมบัติทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด มีน้ำหนักเบา ใช้บรรจุอาหารพวกปลากระป๋อง นมผง เป็นต้น (ดำรงค์ศักดิ์ และก่อเกียรติ, 2537)

ชนิดของแลคเกอร์ที่ใช้ในการเคลือบกระป๋อง

1. โอรีโอริเนียส เรซิน (oleoresinous resin) เป็นแลคเกอร์ที่ทำจากกัมธรรมชาติ (natural gums) และ เรซิน (resins) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ อาร์-อีนาเมล (R-enamel) คือ กระป๋องชนิดทนกรด (acid resisting) เป็นแลคเกอร์ที่ใช้เคลือบกระป๋องบรรจุผัก และผลไม้ที่มีสีตามธรรมชาติ จำพวกแอนโธไซยานินส์ เช่น เชอร์รี่ ผลไม้พวกนี้ถ้าบรรจุในกระป๋องเคลือบดีบุก ดีบุกจะละลายออกมาเกิดการฟอกสีทำให้ผลไม้มีสีซีด และ ซี-อีนาเมล (c-enamel) คือกระป๋องทนกำมะถัน (sulphur resisting) เป็นแลคเกอร์ที่มีส่วนผสมของ ซิงออกไซด์ (zinc oxide) ผสมกับสารประกอบที่คล้ายยางไม้ผสมอยู่ ซึ่งสามารถป้องกันการเกิด "black sulfide"ได้ ป้องกันการทำปฏิกิริยาระหว่างกำมะถันที่มีอยู่ในอาหารกับเหล็กที่เป็นโครงสร้างของกระป๋อง นิยมบรรจุ ผัก ผลไม้ที่มีกำมะถันและโปรตีนสูง เช่นถั่วต่างๆข้าวโพดหวาน เห็ด เป็นต้น

2. ฟีโนลิค เรซิน (phenolic resin) เป็นแลคเกอร์ที่ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารทะเลและเนื้อสัตว์ แลคเกอร์ชนิดนี้ทนต่อการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่า oleoresinous แต่มีความยืดหยุ่นต่ำกว่ามาก ทำให้สีและรสชาติเปลี่ยนแปลง

3. อีโพซี อะมิโน-แลคเกอร์ (epoxy amino-lacquer) เป็นแลคเกอร์ที่ทนต่อความร้อนสูง มีการยืดหยุ่นสูง ไม่ทำให้รสชาติผิดปกติในอาหาร โดยทั่วไปจะนำ อีโพซี (epoxy) กับ ฟีโนลิค (phenolic) ผสมกัน เพื่อให้ได้คุณสมบัติแลคเกอร์ที่มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น และมีความเหมาะสมต่อการใช้บรรจุอาหารได้หลายชนิด เช่น ปลา ผัก และผลไม้

4. ไวนิล เรซิน (vinyl resin) เป็นแลคเกอร์ที่ใช้เคลือบทับ หรือ โดยมีลักษณะเป็นมักใช้กับอาหารที่มีการกัดกร่อนสูง แต่ไม่ทนต่อความร้อน จึงเหมาะต่อกับผลิตภัณฑ์ที่มีการฆ่าเชื้อที่อุณหภมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส (พรรัตน์, 2541)

การใช้เครื่องฆ่าเชื้อในอาหารกระป๋อง

สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารกระป๋องประเภทกรดต่ำ (low acid canned foods : LACF) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH value) สูงกว่า 4.6 ได้แก่ผลิตภัณฑ์เนื้อ, ปลา, หน่อไม้ ผักต่างๆ เป็นต้น ซึ่งสภาพธรรมชาติของอาหารประเภทนี้มีความเหมาะสมต่อการเจริญของจุลินทรีย์ประเภททนร้อน (thermophiles) และสามารถสร้างสปอร์ เมื่อเกิดภาวะแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเจริญ ดังนั้นจึงต้องใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูง และระยะเวลาเหมาะสมในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์และสปอร์แบบการฆ่าเชื้อทางการค้า (commercial sterilization) ซึ่งนอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความปลอดภัยต่อการบริโภคแล้วยังจะช่วยรักษาคุณภาพลักษณะที่ดีและคุณค่าทางอาหารของผลิตภัณฑ์ด้วย (วิวัธน์, 2535)

ผักที่บรรจุกระป๋องมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย อาจมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบด้วย เช่น ถั่วต่างๆ เห็ด หน่อไม้ฝรั่ง ในขณะที่ผักผ่านขบวนการให้ความร้อน โปรตีนบางส่วนจะสลายตัวให้สารประกอบซัลเฟอร์ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับเหล็กหรือดีบุก เกิดเป็นสารประกอบของเหล็กซัลไฟด์และดีบุกซัลไฟด์ติดอยู่ที่กระป๋องเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าว จะต้องใช้กระป๋องเคลือบแลคเกอร์ที่นิยมใช้คือ oleoresinous ผสมกับสังกะสีออกไซด์ ซึ่งมีสีขาว หรือ epoxy phenolic lacquer ผสมกับสังกะสีออกไซด์เพื่อทำหน้าที่ป้องกันมิให้ซัลเฟอร์เข้าทำปฏิกิริยากับเหล็กหรือดีบุก แต่สังกะสีเข้ารวมตัวกับซัลเฟอร์เกิดเป็นสารประกอบสังกะสีซัลไฟด์ (มาลัย, 2535)

ในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องโดยเฉพาะอาหารกระป๋องที่มีความเป็นกรดต่ำ การกำหนดกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้บริโภคโดยตรง ดังนั้นผู้ที่ทำงานทางด้านนี้จำเป็นที่จะต้องทราบเทคนิคพื้นฐาน ปัจจัยที่สำคัญและที่ต้องควบคุมในการกำหนดกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนนั้น เพื่อที่จะได้สามารถทราบถึงสภาวะในการทำงานซึ่งอาจจะทำให้ไม่ได้กระบวนการที่ต้องการ

จุดมุ่งหมายของการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน คือ เพื่อทำให้อาหารนั้นอยู่ในสภาพปลอดเชื้อแบบเชิงการค้า (commercial sterility) หมายความว่าทำให้อาหารปราศจากเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค และไม่มีจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเน่าเสียของอาหารซึ่งสามารถที่จะเจริญเติบโตในอาหารภายใต้สภาวะอุณหภูมิในการเก็บรักษาปกติ นั่นคือเก็บไว้ได้นานที่อุณหภูมิห้องโดยไม่เน่าเสีย ถ้าเช่นนั้นก็จะมีคำถามว่า ทำไมไม่เลือกใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน เพื่อให้อาหารปราศจากเชื้อจุลินทรีย์ ในทางปฏิบัติเราจำเป็นที่จะต้องมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกอุณหภูมิและเวลาที่ใช้เพื่อให้ได้มาซึ่งสภาวะที่ดีที่สุด นั่นก็คือ ลงทุนไม่สูงเกินไป สามารถทำลาย

จุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคและทำให้เกิดการเน่าเสีย ขณะที่ยังคงรักษาคุณค่าของสารอาหารที่สำคัญไว้ได้ในระดับที่น่าพอใจ ทั้งให้ความพอใจกับผู้บริโภค (ให้ลักษณะเนื้อสัมผัส, สี, กลิ่น, รสที่ดีกับอาหาร) ดังนั้นแนวโน้มจึงเป็นการใช้อุณหภูมิในเวลาสั้น แต่จะต้องมีความระมัดระวังมากเพราะการผิดพลาดของเวลาไม่กี่นาทีหรืออุณหภูมิไม่กี่องศาจะทำให้เกิดอันตรายมากกว่าการใช้อุณหภูมิค่อนข้างต่ำ และเวลานาน (ทิพาพร, 2536)

การกำหนดกระบวนการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (Process Establishment)

การแทรกผ่านของความร้อน (heat penetration)

อัตราความเร็วที่ปริมาณความร้อนแทรกผ่านไปยังจุดที่ร้อนช้าที่สุด (cold point หรือ slowest-heating point) ของอาหารกระป๋อง ขึ้นกับลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอาหารแต่ละชนิดซึ่งเกิดไม่เท่ากันในอาหารเหลว การถ่ายเทความร้อนเป็นแบบการพาความร้อน (convection) ซึ่งเกิดได้รวดเร็วกว่าในอาหารแข็ง ที่เป็นแบบการนำความร้อน (conduction) ดังนั้น เวลาในการฆ่าเชื้อของอาหารกระป๋องประเภทของเหลวจึงสั้นกว่าอาหารกระป๋องประเภทของแข็ง การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาหารกระป๋องจะเกิดได้ ไม่เท่ากันทุกจุด ดังนั้น การกำหนดระยะเวลาในการฆ่าเชื้อต้องนานเพียงพอที่จะฆ่าเชื้อที่จุดที่ได้รับความร้อนช้าที่สุดของอาหาร นอกจากนี้ขนาดของกระป๋องก็มีผลต่อการฆ่าเชื้อเพราะว่าการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาหารกระป๋องขนาดใหญ่จะใช้เวลานานกว่ากระป๋องขนาดเล็ก ในการฆ่าเชื้ออาหารกระป๋องแต่ละครั้งจะต้องแน่ใจว่าอาหารทุกกระป๋องเป็นชนิดเดียวกันและมีขนาดเท่ากัน

ตำแหน่งของจุดที่ร้อนช้าที่สุด

1.อาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการนำความร้อน

อาหารในกระป๋องจะได้รับความร้อนในทุกทิศผ่านผนังกระป๋องแล้วผ่านจากโมเลกุลที่ร้อนช้าที่สุดของอาหาร ซึ่งอยู่ที่จุดกึ่งกลางกระป๋อง (geometric center) คือ พลังงานความร้อนจะถูกถ่ายเทจากบริเวณที่อุณหภูมิสูง (อาหารที่อยู่ติดกับผนังกระป๋อง) ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำคือจุดที่ร้อนช้าที่สุด (cold point) ผ่านโมเลกุลของอาหารที่ไม่เคลื่อนที่ เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนแบบนำนั้นอนุภาคอาหารสามารถเคลื่อนที่ การถ่ายเทความร้อนจึงไม่เร็วเหมือนกับแบบการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (natural convection)

2.อาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อน

ถ้าเป็นการพาความร้อนแบบธรรมชาติเกิดขึ้นโดยมีสาเหตุมาจากความแตกต่างของความหนาแน่นของตัวกลาง (อาหารเหลว) โมเลกุลของอาหารเหลวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าการเคลื่อนที่ขึ้นข้างบน ขณะที่โมเลกุลที่มีความหนาแน่นมากกว่า (หนักกว่า) จะเคลื่อนลงมาแทนที่ให้เกิดการไหลเวียนของอาหารเหลวภายในกระป๋อง ซึ่งจะทำให้สมมาตรของอาหารกระป๋องฆ่าเชื้อโดยวางเรียงในแนวตั้งจะอยู่ที่ประมาณ ¼ นิ้ว จากด้านล่างกระป๋องสำหรับกระป๋องขนาด 10 และสำหรับกระป๋องขนาดใหญ่ เช่น กระป๋องเบอร์ 10 จุดร้อนช้าที่สุดจะอยู่ที่ประมาณ หนึ่งนิ้วครึ่งจากด้านล่างกระป๋อง

ถ้าเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection) จะมีแรงภายนอกมาบังคับให้โมเลกุลอาหารเคลื่อนที่ เกิดการผสมของอากาศภายในกระป๋อง ทำให้การถ่ายเทความร้อนเป็นไปได้เร็วขึ้น เช่น การฆ่าเชื้ออาหารใน agitating cooker ซึ่งจะมีการหมุนของกระป๋องระหว่างการฆ่าเชื้อ มักไม่พบจุดที่ร้อนช้าที่สุด หรือถ้ามีก็จะอยู่ที่จุดกึ่งกลางของกระป๋อง

3.อาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบผสม

อาหารที่มีส่วนผสมของสารให้ความหนืด ซึ่งในช่วงแรกของการให้ความร้อนจะเป็นแบบการพา และเมื่อให้ความร้อนต่อไปอาหารจะข้นหนืดมากขึ้นจนเปลี่ยนเป็นแบบการนำจะได้กราฟลักษณะพิเศษที่เรียก "Broken heating curve" คือจะไม่เป็นเส้นตรงตลอดแนวแต่จะเป็นเส้นที่มีการเปลี่ยน slope เหมือนกับเส้นตรง 2 เส้น ที่มีความชันต่างกันมาต่อกัน อาหารพวกนี้ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ หรือผลิตภัณฑ์ที่บรรจุชิ้นอาหารใหญ่ๆ ในของเหลว เช่น ชิ้นผักใหญ่ๆ ในน้ำเกลือจุดที่ร้อนช้าที่สุดจะอยู่ที่ประมาณกึ่งกลางระหว่างจุดร้อนช้าที่สุดของอาหารที่มีการถ่ายเทความร้อนแบบการนำ (จุดกึ่งกลาง) และแบบการพา (ทิพาพร, 2536)

การคำนวณเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน (thermal process calculation)

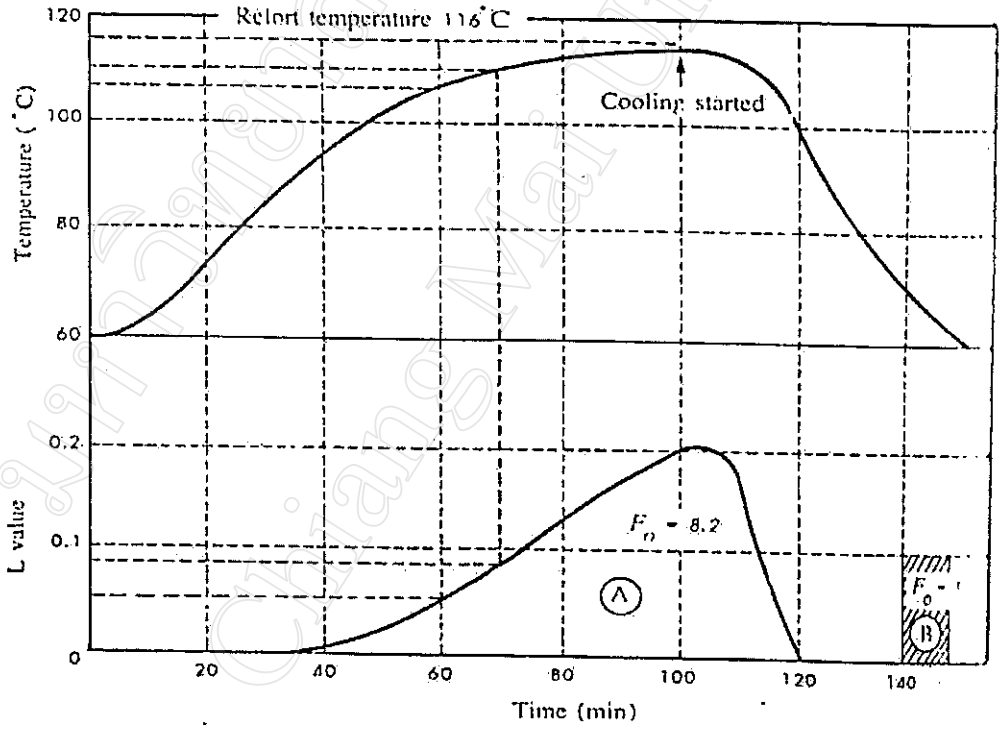
วิธีที่นิยมใช้มีดังนี้คือ General หรือ Graphical method

1.General หรือ Graphical method

1.1 เป็นการหาค่า lethality (F_0) ของกระบวนการฆ่าเชื้อที่สภาวะหนึ่งๆ ทำได้โดยคำนวณหาเวลาในการฆ่าเชื้อ (total process lethality) จากการวัดอุณหภูมิทุกๆ ช่วงระยะเวลาหนึ่ง ปกติมักใช้ทุกๆ 1 นาที เปิดตารางค่า lethal rate (หรือคำนวณจากสูตร (1)) ของอุณหภูมิเหล่านั้น แล้วบวกรวมค่า lethal rate ที่ได้เข้าด้วยกัน คือ ค่า total lethality หรือ F_0 ของ process นั้น นับเป็นวิธีง่ายๆ ในการหาค่า F_0 โดยคิดว่าอุณหภูมิเท่ากันตลอดในช่วงของเวลา 1 นาที ส่วนใน

ช่วงที่อุณหภูมิ ของผลิตภัณฑ์ยังร้อนไม่ถึง 200 องศาฟาเรนไฮน์ และในช่วงที่เว้นต่ำกว่า 200 องศาฟาเรนไฮน์ ลงไม่มีค่า เนื่องจากอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 200 องศาฟาเรนไฮน์ ไม่มีผลในการฆ่าเชื้อ

1.2 ใช้ lethal rate curve เป็นวิธีการหาค่า F_0 ที่ถูกต้องแม่นยำกว่า โดยการใช้ข้อมูลของอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปกับเวลา มาคำนวณหรือเปิดตารางหา lethal rate นำไปตลอดกับเวลา แล้วหาร F_0 รวมโดยการนับพื้นที่ใต้ curve แล้วหารด้วย factor เพื่อเปลี่ยนพื้นที่ใต้ curve มาเป็น F_0 ของกระบวนการฆ่าเชื้อนั้น factor ที่ใช้ ได้จากการนับพื้นที่ในกราฟที่ให้ค่า = 1 unit sterilization area ดังแสดงในรูป จากภาพ 2.2 คือพื้นที่ของ lethal rate curve ซึ่งเป็นสัดส่วนกับประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของกระบวนการ ซึ่งแสดงในรูปของเวลาที่ 250 องศาฟาเรนไฮน์ หรือ 121.1^{o}C คือ พื้นที่แสดงค่า F_0 = 1



ภาพ 2.2 กราฟแสดงการแทรกผ่านของความร้อนในอาหารประเภทของแข็ง ซึ่งบรรจุในกระป๋องขนาด 74x112.5 มม. พร้อมกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Lethal rate หรือค่า L กับเวลา สี่เหลี่ยมผืนผ้า B แสดงพื้นที่ที่ให้ค่า F_0 = 1

ที่มา : ทิพาพร, 2536

การหาค่าพื้นที่ใต้กราฟ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น นับช่องสี่เหลี่ยม (ของกระดาษกราฟ) ใต้ curve ใช้อุปกรณ์วัดพื้นที่ซึ่งเรียกว่า planimeter ใช้ Simpson's rule โดยแบ่งพื้นที่ใต้ curve เป็นส่วนๆ (segment) ตามแนวยืน ช่วงของแต่ละส่วนเท่ากัน และให้จำนวน segment เป็นเลขคู่ตามรูปใช้สเกล

เวลา = 10นาที และ L = 0.1 ดังนั้น 10*0.1 = 1 นั่นคือ พื้นที่ B ให้ค่า $F_0 = 1$

$$F = A / B$$

กรรมวิธีในการผลิตอาหารกระป๋อง

กรรมวิธีในการผลิตอาหารกระป๋องแบ่งได้หลายขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ คุณภาพของวัตถุดิบมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรง วัตถุดิบต้องมีความสะอาด มีการคัดขนาด และความแก่อ่อนให้สม่ำเสมอและอยู่ในสภาพสด การเตรียมวัตถุดิบมีขั้นตอนที่อาจแตกต่างกันไปบ้างแล้วแต่ชนิดของวัตถุดิบแต่มักจะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1.1 การทำความสะอาด มีวิธีการแตกต่างกันไปตามลักษณะของวัตถุดิบ มีการแยกสิ่งปลอมปนที่ติดมา เช่น หญ้า หิน เศษดิน โดยให้วัตถุดิบเคลื่อนไปตามสายพานหรือตะแกรงหมุน

1.2 การคัดขนาด และความอ่อนแก่ เพื่อความสะดวกในการบรรจุและได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่สม่ำเสมออาจใช้คนงานที่มีความชำนาญในการคัดเลือกหรือใช้เครื่องมือช่วย เช่น การคัดขนาดของผลไม้นิยมปล่อยให้วัตถุดิบผ่านตระแกรงที่มีรูขนาดต่างกัน ส่วนการวัดขนาดความแก่อ่อนของถั่วอาจแยกได้โดยใช้น้ำเกลือที่มีความเข้มข้นต่างกัน หรือใช้การวัดความถ่วงจำเพาะในการคัดหัวมัน

1.3 การตบแต่ง วัตถุดิบบางชนิดอาจต้องมีการเด็ดก้าน ตัดขั้ว ปอกเปลือก เจาะไส้ และแกะเมล็ดออกรวมทั้งการผ่าซีกตัดให้ได้รูปร่างและขนาดตามต้องการ หากพบตำหนิรอยช้ำหรือแตกหักต้องตัดแต่งส่วนที่ไม่ดีออก

2. การลวกด้วยน้ำร้อน (blanching) ทำได้หลายวิธี ง่ายที่สุดคือการจุ่มวัตถุดิบลงในน้ำที่เดือดตามระยะเวลาที่เหมาะสมแล้วยกขึ้นๆทำให้เย็นเหมือนการลวกผักในครัวเรือน หรือนึ่งด้วยไอน้ำ ในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารมักมีเครื่องมือสำหรับอาหารแต่ละชนิด เรียกว่า แบลนเชอร์ (blancher) โดยทั่วไปมักเป็นที่ปล่อยวัตถุดิบเคลื่อนผ่านถังน้ำร้อน หรืออุโมงค์น้ำที่สามารถควบคุมทั้งอุณหภูมิ และเวลาได้อย่างเหมาะสม การลวกทำให้เกิดผลดังนี้คือ

2.1 ช่วยทำลายเอนไซม์ในวัตถุดิบซึ่งจะทำให้สีหรือกลิ่นเปลี่ยนแปลง

2.2 ช่วยกำจัดอากาศออกจากผิวหน้าของวัตถุดิบ

2.3 ช่วยให้วัตถุดิบหดตัว และนิ่ม สะดวกในการบรรจุ

2.4 ช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์

3. การบรรจุ (filling) เมื่อวัตถุดิบผ่านขั้นตอนการเตรียมแล้วจะถูกส่งมาตามสายพานเข้าสู่แผนกบรรจุ ภาชนะบรรจุอาจเป็นขวดแก้วหรือกระป๋องก็ถูกส่งเข้า ซึ่งส่วนมากจะมีเครื่องบังคับให้เคลื่อนที่มาตามรางโดยอัตโนมัติ ผ่านการทำความสะอาดเข้าสู่แผนกบรรจุ การบรรจุอาจใช้แรงงานคนหรือเครื่องจักรก็ได้ การบรรจุมักจะบรรจุของแข็งก่อนแล้วจึงตามด้วยของเหลว

4. การทำให้เป็นสุญญากาศ (exhausting) คือ การไล่อากาศภายใน ภาชนะออกให้มากที่สุดเพื่อ

4.1 ช่วยรักษาส่วนฝา และก้นกระป๋องไม่ให้บวมในขณะผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ เพราะมีแรงดันภายในกระป๋องต่ำกว่า

4.2 ช่วยรักษาคุณภาพของอาหารเพราะออกซิเจนในอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนแปลง

4.3 ป้องกันการบวมของกระป๋อง เมื่อนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงและในที่สูงกว่าน้ำทะเลมากๆช่วยทำให้อาหารกระป๋องเก็บได้นานการทำให้เป็นสูญญากาศนี้อาจทำได้โดยการบรรจุส่วนที่เป็นของเหลวขณะร้อนแล้วปิดฝาภาชนะทันที หรือโดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า exhauster พ่นไอน้ำลงบนช่องว่างเหนืออาหาร แล้วปิดฝาทันที เมื่อกระป๋องนั้นเย็นลงไอน้ำจะรวมตัวเป็นหยดน้ำเกิดที่ว่างซึ่งเป็นสูญญากาศ

5. การผนึกฝาภาชนะ (seaming) ถ้าเป็นกระป๋องจะต้องผนึกฝาที่ออกแบบโดยเฉพาะเพื่อให้ฝา และขอบกระป๋องทับกับตะขอแนบสนิท double seam ถ้าการผนึกไม่ถูกต้องจะมีผลเสียในขั้นการทำลายจุลินทรีย์ทำให้เกิดการรั่วได้ หากเป็นขวดแก้วจะปิดด้วยฝาที่ทำจากเหล็กเคลือบดีบุกในแบบ ที่เป็นเกลียวหมุน หรือตะเข็บงอก็ได้

การทำลายจุลินทรีย์การหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการทำลายจุลินทรีย์ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผู้ผลิตอาหารกระป๋องจะมีจุดมุ่งหมายว่าความร้อนที่ใช้จะสามารถทำอาหารส่วนใหญ่ปราศจากเชื้อ แต่ในทางปฏิบัติผลที่ได้อาจไม่เป็นไปตามนั้น ดังนั้นแทนที่จะทำลายเฉพาะจุลินทรีย์ในอาหารให้ตายหมด เขาอาจทำลายเฉพาะจุลินทรีย์ที่สามารถทำให้อาหารเสียภายใต้สภาวะแวดล้อมปกติที่ใช้เก็บอาหารเท่านั้น โดยปล่อยให้มีจุลินทรีย์บางชนิดคงอยู่ในอาหารแต่ไม่สามารถเจริญได้ เรียกว่าการทำให้ปราศจากเชื้อแบบการค้า (commercially sterile)

กรรมวิธีในการให้ความร้อนที่จำเป็นต่อการถนอมอาหารประเภทอาหารกระป๋องนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการทนความร้อนของจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของการเสีย และปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการแผ่กระจายของความร้อนในหม้อนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าย่อมใช้เวลาสั้นกว่า และกรรมวิธีจะแตกต่างกันตามชนิดของอาหารกระป๋อง การปรุงอาหาร ขนาดและรูปร่างของกระป๋อง อุณหภูมิของส่วนผสมของอาหาร ถ้าอาหารมีลักษณะเป็นชิ้นส่วนเล็กๆในน้ำ หรือน้ำเกลือจะช่วยย่นเวลาในการให้ความร้อน แต่ถ้าอาหารข้น เช่นครีมจะต้องใช้เวลานานขึ้น อาหารที่เป็นกรดต้องการเวลาในการฆ่าเชื้อน้อยกว่าอาหารที่เป็นกลาง

6.การทำให้เย็น (cooling) หลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อนแล้ว จะต้องรีบทำให้อาหารกระป๋องเย็นลงทันทีโดยให้กระป๋องแช่ในน้ำเย็นจัด หรือโดยการพ่นน้ำเย็นจัดใส่กระป๋อง ถ้าภาชนะบรรจุเป็นแก้ว หรือกระป๋องขนาดใหญ่จะต้องใช้เวลาในการทำให้เย็นมากขึ้น การทำให้เย็นต้องทำอย่างระมัดระวังเพื่อหลีกเลี่ยงการแตกของภาชนะบรรจุและน้ำที่ใช้ต้องเป็นน้ำอุ่นก่อนแล้วค่อยๆปรับอุณหภูมิให้เย็นลงตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทำให้เย็นแล้วจะใช้ลมเป่าให้ภาชนะแห้งเพื่อป้องกันการเกิดสนิม ถ้าภาชนะบรรจุไม่สมบูรณ์ เช่นเกิดการรั่ว น้ำที่ใช้ในการทำให้เย็นอาจเข้าไปภายในภาชนะบรรจุได้ ซึ่งเป็นเหตุให้อาหารเกิดการเสียได้ (สุมาลี, 2527)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้าวกล้อง (brow rice) ได้จากข้าวเปลือกที่ผ่านการกะเทาะเปลือก โดยเอาส่วนที่เป็นแกลบ (hull) ซึ่งมีประมาณร้อยละ 20 ออกไป ในการขัดสีข้าวทำให้คุณค่าทางโภชนาการจะสูญเสียไปประมาณร้อยละ64 ยกเว้นคาร์โบไฮเดรต (สายสนม, 2539) ข้าวกล้องมีโปรตีนประมาณร้อยละ 7.2 (Sharp, 1991) มีปริมาณวิตามินบี 1 (thiamin) และไขมันสูงกว่าข้าวขัดขาว (white rice) ประมาณ 5 เท่า และมี เส้นใยอาหาร (fiber), ไนอะซิน (niacin), ฟอสฟอรัส (phosphorous), โพแทสเซียม (potassium), เหล็ก (iron), โซเดียม (sodium) และ วิตามินบี 2 (riboflavin) สูงกว่า 2-3 เท่า (Champagne, 1994) ข้าวกล้องมีปริมาณไขมันอยู่ร้อยละ 1.9 จัดเป็นน้ำมันที่มีคุณภาพสูง มีกรดไขมันอิ่มตัวเพียงร้อยละ 19 และมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึงร้อยละ 77 ไขมันประกอบไปด้วยกรดไขมันชนิด monounsaturated คือกรดโอเลอิกร้อยละ 41 ส่วนอีกร้อยละ 36 เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด polyunsaturated ได้แก่ กรดลิโนเลอิกร้อยละ 34.3 และกรดลิโนเลนิกร้อยละ 1.7 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 4 เป็นสารประกอบที่ไม่สามารถสปอนนิไฟน์ (unsaponifiable matter) ได้แก่ ไขข้าว (rice wax), เลซิทิน (lecithin), และ โอริซานอล

(oryzanol) โดยสารประกอบโอริซานอล เป็น เ อสเทอร์ของกรดเฟอร์ลิค (ferulic acid ester) ของไตรเทอร์พีนอยด์ แอลกอฮอล์ (triterpenoid alcohol) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น antioxidant ตามธรรมชาติ และมีความสามารถลดปริมาณ คลอเรสเตอรอล (cholesterol) ในเลือดได้ (สายสนม, 2539)

Semwal และคณะ (1996) แปรรูปข้าวโดยนำข้าวมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำไปให้ความร้อนด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน 1.08 kg/cm^2 เป็นเวลา 15 นาที แล้วจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

Kwang และคณะ (1996) ได้ศึกษาการใช้การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง(freeze dried) ในการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปสำหรับทารกอายุ 8-12 เดือน โดยแช่ข้าว ในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเป็น 1 ต่อ 10 เป็นเวลา 72 นาที และให้ความร้อนที่ 44 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 34 นาที

Zhang และคณะ (1997) ศึกษาวิธีผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูป โดยใช้ข้าว Japonica และข้าวเหนียวผสมในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 นำไปแช่น้ำเป็นเวลา 30 นาที และทำให้สุกโดยใช้สารละลายด่างของโซเดียมเข้มข้นร้อยละ 0-0.8 และผสมด้วยส่วนผสมของ sucrose ester ที่ผสมกับ glyceryl monosterate ในอัตราส่วน 0.5 ต่อ 0.5 0.7 ต่อ 0.3 และ 0.9 ต่อ 0.1 เป็นจำนวนร้อยละ 1 พบว่า การใช้ส่วนผสมของ sucrose ester ที่ผสมกับ glyceryl monosterate ในอัตราส่วน 0.5 ต่อ 0.5 ช่วยป้องกันการเกิด retrogradation ได้ดีกว่าที่ไม่ใช้ส่วนผสมนี้ และการทำให้สุกโดยใช้สารละลายด่างของโซเดียมที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 0.6% ช่วยคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสดี

Rizk และ Doss (1995) พบว่า ข้าวประเภทหุงสุกเร็ว (quick-cooking rice) สามารถที่จะปรับปรุงคุณสมบัติให้ดีขึ้นโดยการแช่ข้าว (แบบเมล็ดสั้น) ในน้ำในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 ที่มีส่วนผสมของสารละลายโซเดียมซิเตรท หรือแคลเซียมคลอไรด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1-3 เป็นเวลา 15 หรือ 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง และนำไปให้ความร้อนโดย autoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส (ที่ความดัน 0.147 Mpa) เป็นเวลา 3-8 นาที

Yau และ Huang (1996) ได้วิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวสุกโดยแยกออกเป็น 13 คุณลักษณะ ดังนี้ ความเป็นมันเงา (glossiness), ความขาว (whiteness), ความกระจายตัว (looseness), กลิ่นข้าวสุกขณะร้อน (hot-rice aroma), กลิ่นข้าวสุกขณะเย็น (cold-rice aroma), ความหวาน (sweetness), ความเป็นเม็ด (kernelness), ความแข็ง (hardness), ลักษณะการเกาะตัว (cohesiveness), ความยืดหยุ่น (stickiness), ความหยาบกระด้าง (roughness) และ ลักษณะหนึ่งที่ปรากฏคือ กลิ่นเฉพาะของข้าวกล้อง (brown-rice aroma) โดยกำหนดสเกลความเข้มข้นไว้ 15 จุด คือ 1=weakest, 7=moderate, 15=strongest และยังพบว่าอุณหภูมิในการทำให้สุก และสายพันธุ์ข้าวมีผลต่อลักษณะทางประสาทสัมผัสของข้าวสุก

Suzuki และคณะ (1977) ศึกษา การแช่ข้าวที่ 8-50 องศาเซลเซียส และการทำให้สุกที่ 70-98.5 องศาเซลเซียส พบว่าอัตราการทำให้สุกขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของข้าวกับน้ำ และค่า Equivalent value of the activation energy มีค่าเท่ากับ 20 Kcal/mol และในการแช่ข้าว อัตราการแพร่ของน้ำเข้าสู่เมล็ดข้าว ที่ 8-50 องศาเซลเซียส จะน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 110-150 องศาเซลเซียส

วุฒิชัย (2539) ได้ทำการศึกษากระบวนการแปรรูปโดยความร้อนของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง พบว่าปริมาณอะไมโลสมีอิทธิพลต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์คือ การเกาะติดกันของเมล็ดข้าว ความนุ่ม (firmness) และกลิ่น (aroma) อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ Fo มีอิทธิพลต่อลักษณะปรากฏ (appearance) และกลิ่น อย่างมีนัยสำคัญเท่ากัน โดยผู้ทดสอบชิมจะชอบข้าวหอมมะลิ ที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำมากกว่าข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าวบรรจุกระป๋อง (ขนาด 307 x 409) ที่ผ่านกระบวนการด้วยความร้อนภายใต้ความดันไอที่มีค่า Fo เท่ากับ 3 ซึ่งให้คะแนนความชอบโดยรวมดีที่สุด

ชัชวาล (2544) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตข้าวกล้องบรรจุกระป๋อง โดยทำการศึกษากระบวนการ preheat ข้าวกล้องก่อนการปิดผนึกและทำการฆ่าเชื้อ พบว่าการทำให้ข้าวกล้องสุกเพียงบางส่วนจากการนึ่ง (streaming) ให้คุณภาพการทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ผู้บริโภคชอบมากกว่าการต้ม (boiling) จากนั้นได้ศึกษาพันธุ์ข้าวที่มีระดับปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 (ร้อยละ 12-17) ข้าวกล้องหอมสุพรรณบุรี (ร้อยละ 19-26) และข้าวกล้อง ก ข. 7 (ร้อยละ 26-28) ปริมาณน้ำต่อข้าวใช้ระดับที่ 1 1.5 และ 2เท่า พบว่าที่ระดับน้ำ 1.5 เท่า และใช้ข้าวกล้องขาวดอกมะลิ105 มีความเหมาะสมในการดำเนินการผลิต

นงลักษณ์ (2543) ได้ทำการศึกษาสูตรผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องผสมธัญพืชและถั่วบรรจุกระป๋องโดยใช้ Linear programming โดยคำนวณร้อยละ 5 ของ RDA ของโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร วิตามินบีสอง ไนอะซีน โดยทำการทดลองแบบ Mixture design สามารถสรุปสูตรที่ได้คือ ข้าวกล้องร้อยละ 30 ข้าวโพดร้อยละ 15 ถั่วลันเตาร้อยละ 15 และน้ำร้อยละ 40 จากนั้นนำสูตรที่ได้มาศึกษากรรมวิธีการผลิตข้าวกล้องผสมธัญพืชและถั่วบรรจุกระป๋อง โดยศึกษาเวลาในการให้ความร้อนของข้าวกล้อง ข้าวโพด โดยไอน้ำที่เวลา 5 10 และ 15 นาที และศึกษาเวลาในการให้ความร้อนของถั่วลันเตาโดยไมโครเวฟ ที่เวลา 2 3 และ 4 นาที จากการทดลองพบว่าเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนของข้าวกล้อง ข้าวโพด และถั่วลันเตา คือ 5 5 และ 2 นาที ตามลำดับ