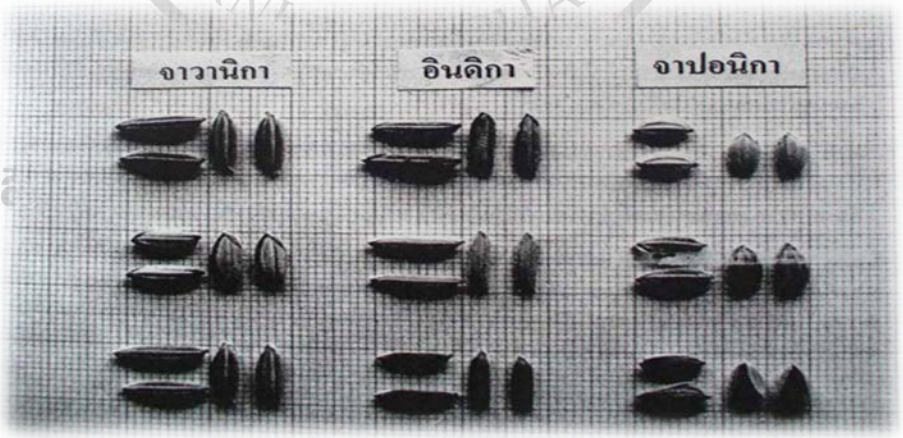
บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวพันธุ์พื้นเมืองของไทย

ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว วงศ์หญ้า (Family: Gramineae) สกุลออริซา (Genus: *Oryza*) เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและอบอุ่น สามารถขึ้นได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลจนถึงระดับสูง 3,000 เมตร และทนต่อสภาพดินที่หลากหลาย ตั้งแต่ดินที่มีน้ำท่วมสูงจนถึงพื้นที่สูงตามไหล่เขา ดินที่มีธาตุเหล็ก อะลูมิเนียม และดินเค็ม เป็นต้น ข้าวปลูกเพื่อบริโภคทั่วโลกมี 2 ชนิด คือ ข้าวปลูกเอเชีย (*Oryza sativa*) และข้าวปลูกแอฟริกา (*Oryza glaberrima*) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547ก) ข้าวปลูกเอเชียแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ จาปอนิคา (Japonica) เป็นข้าวเมล็ดป้อม เจริญเติบโตได้ดีในเขตอบอุ่น ได้แก่ จีน ญี่ปุ่น เกาหลี เป็นต้น อินดิคา (Indica) เป็นข้าวเมล็ดยาว เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อน ได้แก่ ไทย อินโดนีเซีย มาเลเซีย อินเดีย ฟิลิปปินส์ เป็นต้น และจาวานิคา (Javanica) เป็นข้าวต้นสูง เมล็ดป้อมใหญ่ ส่วนใหญ่ปลูกในอินโดนีเซีย (บุญหงส์ จงคิด, 2547) สำหรับพันธุ์ข้าวไทยเดิมเป็นพันธุ์ข้าวที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือจากเกษตรกรในท้องถิ่นปรับปรุงพันธุ์และพัฒนาขึ้น เนื่องจากปลูกข้าวหลายสายพันธุ์ในแปลงนาเดียวกันจึงเกิดการผสมข้ามสายพันธุ์ เกิดเป็นข้าวพันธุ์ใหม่ เรียกว่า ข้าวพันธุ์พื้นเมือง (มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2549) ข้าวพันธุ์พื้นเมือง เป็นแหล่งพันธุกรรมที่สำคัญของการต้านทานต่อแมลงศัตรูพืช โรคพืช และสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ซึ่งเป็นทางเลือกให้กับเกษตรกรในพื้นที่ที่ไม่สามารถปลูกข้าวพันธุ์ปรับปรุง หรือพันธุ์สมัยใหม่ได้ (นันทิยา พนมจันทร์ และวิจิตรา อมรวิริยะชัย, 2554)



ภาพที่ 2.1 ชนิดของเมล็ดข้าวปลูกเอเชียทั้ง 3 ชนิด
ที่มา: อรอนงค์ นัยวิกุลม, 2547

2.1.1 ชนิดข้าว (มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2549)

2.1.1.1 แบ่งออกตามสภาพพื้นที่เพาะปลูก

1) ข้าวไร่ (Upland Rice) เป็นข้าวที่ใช้ปลูกในพื้นที่ที่ไม่มีน้ำขัง ปลูกบนที่ราบและลาดชัน ไม่ต้องทำคันนากักเก็บน้ำเพราะไม่ชอบน้ำขัง มีสภาพเช่นเดียวกับการปลูกพืชไร่ ซึ่งได้แก่ที่ ๆ เป็นเนินสูง ภูเขา นิยมปลูกกันมากบริเวณที่ราบสูงของภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก เพราะข้าวไร่มีการแตกกอ และให้ผลผลิตสูงในสภาพดังกล่าว หรือปลูกแซมในสวนยางที่ปลูกใหม่ในช่วง 1 - 2 ปีแรก ข้าวไร่ส่วนใหญ่จะปลูกด้วยวิธีหยอด ผลผลิตเฉลี่ยไร่ละ 25 - 30 ถัง

2) ข้าวนาสวน หรือข้าวนาดำ (Lowland Rice) เป็นข้าวที่ปลูกอยู่ในพื้นที่ปลูกในที่ราบลุ่มทั่ว ๆ ไปในสภาพน้ำท่วมขังตั้งแต่ปลูกจนเก็บเกี่ยวที่มีระดับน้ำตั้งแต่ 5 - 10 เซนติเมตร จนถึงพื้นที่ที่มีระดับน้ำลึกไม่เกิน 80 เซนติเมตร ข้าวนาสวนส่วนใหญ่จะปลูกโดยวิธีปักดำ ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาสวนต้นสูงไร่ละ 30 ถัง ข้าวนาสวนต้นเตี้ยไร่ละ 50 ถัง นิยมปลูกทุกภาคในประเทศไทย

3) ข้าวนาเมือง ข้าวขึ้นน้ำ หรือข้างฟางลอย (Deep Water or Floating Rice) เป็นข้าวที่ปลูกอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับน้ำตั้งแต่ 50 เซนติเมตรขึ้นไป จนถึง 3 - 4 เมตร แต่พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีระดับน้ำประมาณ 1 - 2 เมตร ปลูกในพื้นที่ที่ไม่สามารถรักษาระดับน้ำได้ ต้องใช้ข้าวพันธุ์พิเศษที่เรียกว่า ข้าวขึ้นน้ำ ข้าวลอยน้ำ หรือข้าวฟางลอย ที่มีลักษณะพิเศษในการยืดตัวหนีน้ำได้ ปลูกมากในภาคกลาง ข้าวนาเมืองส่วนใหญ่จะปลูกโดยวิธีหว่านข้าวแห้ง หรือที่ชาวนาเรียกว่า หว่านสำรวย ผลผลิตเฉลี่ยไร่ละ 20 - 30 ถัง คุณภาพข้าวที่ได้จะต่ำกว่าข้าวนาสวน ทำให้ราคาข้าวเปลือกต่ำกว่าตันละ 100 - 200 บาท เพราะเมล็ดข้าวมีท้องไข่มาก

2.1.1.2 แบ่งตามฤดูกาล

1) ข้าวนาปี หรือข้าวไวต่อช่วงแสง (Photoperiod Sensitive Varieties) เป็นพันธุ์ข้าวที่ต้องการช่วงแสงสั้นในการเปลี่ยนแปลงการเจริญเติบโตทางลำต้นและใบมาเป็นการเจริญเติบโตทางการสืบพันธุ์ กล่าวคือ พันธ์ข้าวดังกล่าวจะออกดอกในระยะเวลาที่กลางวันสั้นกว่ากลางคืน ซึ่งข้าวแต่ละพันธุ์จะต้องการช่วงแสงสั้นที่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่จะสั้นกว่า 12 ชั่วโมง จึงมีการแบ่งพันธุ์ข้าวนาปีออกเป็นพันธุ์ข้าวเบา ข้าวกลาง และข้าวหนัก ข้าวเบา คือ ข้าวที่ออกดอกระหว่างเดือนกันยายน - ตุลาคม ข้าวกลางออกดอกระหว่างปลายเดือนตุลาคม - พฤศจิกายน ส่วนข้าวหนักออกดอกในระหว่างเดือนธันวาคม - มกราคม

2) ข้าวนาปรัง ข้าวนอกฤดู หรือข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง (Photoperiod Insensitive Varieties) เป็นพันธุ์ข้าวที่สามารถปลูกได้ตลอดปี เมื่อมีอายุครบตามกำหนดก็จะออกดอกออกรวงและเก็บเกี่ยวได้ แต่อายุของพันธุ์ข้าวเหล่านี้จะสั้น หรือยาวขึ้นก็ได้ตามช่วงวันที่ปลูก ถ้าปลูกในช่วงวันสั้นก็จะอายุสั้นลง และถ้าปลูกในช่วงวันยาวก็จะมีอายุยาวขึ้น

2.1.1.3 แบ่งตามอายุการเก็บเกี่ยว (มูลนิธิข้าวไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2549)

1) ข้าวเบา (Early Variety) คือ ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 90 - 100 วัน นับตั้งแต่เพาะกล้า หรือหว่านข้าวในนาจนเก็บเกี่ยว

2) ข้าวกลาง (Medium Variety) คือ ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 100 - 120 วัน นับตั้งแต่เพาะกล้า หรือหว่านข้าวในนาจนเก็บเกี่ยว

3) ข้าวหนัก (Late Variety) คือ ข้าวที่มีอายุการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 120 วันขึ้นไป

2.1.1.4 แบ่งตามประเภทการบริโภค

1) ข้าวเหนียว (Glutinous Rice or Waxy Rice) เป็นข้าวที่มีเมล็ดข้าวสารสีขาวขุ่น เมื่อนึ่งแล้วจะได้ข้าวสุกที่จับตัวติดกันเหนียวแน่นและมีลักษณะใส นิยมบริโภคกันมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบด้วยแป้งชนิดอะไมโลเพ็คติน (Amylopectin) 95 เปอร์เซ็นต์ เป็นส่วนใหญ่ มีแป้งอะไมโลส (Amylose) อยู่เพียงเล็กน้อย หรือไม่มีเลย เวลาหุงต้มจะเกาะเมล็ดกันไม่ร่วนซุย

2) ข้าวเจ้า (Nonglutinous Rice) เป็นข้าวที่มีเมล็ดข้าวสารใส ข้าวสุกมีสีขาวขุ่นและร่วนกว่าข้าวเหนียว ข้าวเจ้าแต่ละพันธุ์เมื่อหุงสุกแล้วมีความนุ่มเหนียวแตกต่างกัน นิยมบริโภคเป็นส่วนใหญ่ในภาคกลางและภาคใต้ ข้าวเจ้ามีปริมาณแป้งอะไมโลส ประมาณ 7 - 33 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นแป้งชนิดอะไมโลเพ็คตินประมาณ 60 - 90 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นข้าวจ้าว ที่มีอะไมโลสสูง เมื่อหุงต้มแล้วจะร่วนซุยแยกเมล็ดได้ดี เมล็ดไม่เกาะกันเหมือนข้าวเหนียว

2.1.2 ชื่อข้าวพันธุ์พื้นเมือง (โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย, 2558)

จากผลการสำรวจพันธุ์ข้าวพื้นเมืองของกรมส่งเสริมการเกษตร พ.ศ. 2524 ได้กล่าวถึงชื่อข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ปลูกในบริเวณต่าง ๆ ของประเทศไทยไว้หลายร้อยชื่อ สำหรับข้าวเจ้าแบ่งตามชื่อได้เป็น 3 พวก ใหญ่ ๆ คือ

1) ชื่อพันธุ์ข้าวที่ขึ้นต้นด้วย "ขาว" ได้แก่ ขาวตาแห้ง ขาวเศรษฐี ขาวตามล ขาวมะลิ ขาวอำไพ ขาวหลวง ขาวกอเดียว ขาวเพชรบูรณ์ ขาวสุพรรณ ขาวตารัตน์ ขาวคัด ขาวแก้ว ขาวตาแป๋ ขาวสูง ขาวนวลทุ่ง ขาวตาเจือ ขาวมานะ ขาวเสวย ขาวต่อ ขาวห้าร้อย ขาวกอเดียว ขาวสะอาดนัก ขาวหลุดหนี้ ขาวสะอาดหนัก ขาวเมล็ดเล็ก ขาวปากหม้อ ขาวอุทัย ขาวอากาศ ขาวตาโห ขาวใบลด ขาวตาไป่ ขาวปลาไหล ขาวประกวด ขาวดอกมะลิ ขาวลำไย ขาวประเสริฐ ขาวเม็ดยาว ขาวสงวน ขาวประทาน ขาวตาอ๊อด ขาวหมากแขก ขาวกาบแก้ว ขาวเหลือ ขาวเลือก ขาวละออ ขาวตาเพชร ขาวเกษตร ขาวงาช้าง ขาวเมืองมัน ขาวหลง ขาวขาวล่ม ขาวลอดช่อง ขาวตาโอ๊ต ขาวขวา ขาวพวง ขาวปลุกเสก ขาวมะนาว ขาวบุญมา ขาวน้ำค้าง ขาวนางจีน ขาวเก็บได้ ขาวไม้หลัก ขาวมาเอง เป็นต้น

2) ชื่อพันธุ์ข้าวที่ขึ้นต้นด้วยคำ "เหลือง" ได้แก่ เหลืองควายล้า เหลืองสร้อยทอง เหลืองปลากริม เหลืองสุรินทร์ เหลืองประทิว เหลืองเศรษฐี เหลืองพ่อ เหลืองระแหง เหลืองอ่อน เหลืองทอง

เหลืองสงวน เหลืองระยอง เหลืองร้อยเอ็ด เหลืองพวงล้า เหลืองหลวง เหลืองตากุย เหลืองมัน เหลืองตาน้อย เหลืองพานทอง เหลืองตาต๋อง เหลืองตาหวน เหลืองตาเอี่ยม เหลืองตาปิ้ง เหลืองพระ เหลืองสะแก เหลืองพวงหางม้า เหลืองเตี้ย เหลืองสะอิ้ง เหลืองใบลด เหลืองชะเอม เหลืองเจ็ด เหลืองทุเรียน เหลืองประทาน เหลืองหอม เหลืองสองคลอง เหลืองทน เหลืองกอเดียว เหลืองในถัง เหลืองควายปล้ำ เหลืองลาย เหลืองไร่ เหลืองเบา เหลืองอีด้วน เหลืองใหญ่ เป็นต้น

3) ชื่อพันธุ์ข้าวอื่น ๆ ได้แก่ แม่พัด เปลือกไข่ พานทอง พญาชม สามรวง ลูกผึ้ง ยาไฮ สายบัว งาช้าง หอมดง สองรวง ข้าวหอม แก่นประดู่ หลงมา รวงดำ พวงมาลัย แตงกวา ทองระย้า ข้าวใบตก ทุ่งแหลม หอมมะลิ เขียวหนัก ดอกไม้จีน พลายงาม สองทะนาน มะลิเลื้อย พระยาลืมแกง พวงเงิน พวงทอง พวงนาค พวงหนัก กระดูกช้าง หอมพระอินทร์ อบเชย ใบลด รากไผ่ หางหมาจอก นางระหงส์ เขียวนาง งามสำรวง เขียวนกกระลิง ตับบิ้ง วัดโบสถ์ ล้นครก แขนนาง จำปา นายยวน มะไฟ สาวงาม ตามน ดอนเมือง ช่อมะกอก กาบหมาก หลงประทาน เจ๊กเชย ทูลฉลอง จำปาแป๋ น้ำดอกไม้ ข้าวหาง หอมการเวก เขียวใหญ่ สามรวงวัฒนา บางกะปิ สายบัวหนัก แก่นจันทร์ นาสะแก รอดหนี้ ข้าวเขียว หอมแก่นจันทร์ นางงาม นางพญาเทวดา นครนายก พวงหวาย บางสะแก โป๊ะหมอ ปิ่นตัง บางเขียว รวงใหม่ ก้นจุด ล้นยุ้ง มะลิ เศรษฐีหนัก เหลือสะใต้ หลวงแจก จำปาขาว พวงพยอม พญาหยุดช้าง เจ๊กสะกิด ห้ารวง พวงหางหมู ลูกอ่อน จำปาเทียม ร้อยสุพรรณ ก้อนแก้ว เจ็ดรวงเบา เทโพ สระไม้แดง นางดม พันธุ์เบื่อน้ำ เจ็ดร่วง เก้ารวง ทองมาเอง เจ้ารวง นางมล ทองพยุง รีบกันตัง จำปาสัก ศรีนวล พญาเททอง ไทรพระตะบอง นางดำ กาบเขียว ขาวปลอด ห้ารวงเบา ก้อนทอง ยาดง บ้ากอ ก้นแก้ว ยาบูกูนิง จำปาหนัก รายทราย สาหร่าย ปิ่นแก้ว ข้าวทุ่ง พันธุ์ยะลา กลีบเมฆ ไทรขาว บูแม ท้องบะเอ็ง ไทรหอม นวลหมี เบาหอม ช่อมะลิ ข้าวมะตาด วัวเปียก กาเยาะ บุกหญ้า โย๊ะกูนิง ลูกแก้ว ยีอลาแป ดอกสน ทรายแดง ลูกขาว นางเอก รวงยาว เจ๊ะสัน จีนขาว เป็นต้น

การตั้งชื่อพันธุ์ข้าวพื้นเมืองจะตั้งชื่อตามชื่อคน สถานที่ และลักษณะตามธรรมชาติของข้าว ส่วนชื่ออื่น ๆ มักตั้งไปในทางดีและเป็นมงคล ทั้งนี้เพราะคนไทยส่วนมากมีอาชีพทำนาซึ่งข้าวเป็นทั้งอาหารหลักและพืชเศรษฐกิจที่สร้างรายได้ ถือว่าเป็นคุณประโยชน์ ชาวนาจึงรู้สึกสำนึกถึงบุญคุณของข้าวที่มีต่อวิถีชีวิต เมื่อต้องการตั้งชื่อพืชจึงตั้งชื่อที่ดีและเป็นมงคล เพื่อผลผลิตจะได้ดีตามไปด้วยการตั้งชื่อพันธุ์ข้าวพื้นเมืองสามารถจำแนกรูปแบบการตั้งชื่อได้ดังนี้

1) ตั้งตามชื่อชาวนาหรือชาวบ้าน เช่น ขาวตาแห้ง ขาวตาเจือ ขาวตารัตน์ ขาวตาเป๋ นายยวน เหลืองตากุย เป็นต้น

2) ตั้งตามสถานที่ เช่น ขาวเพชรบูรณ์ ขาวสุพรรณ เหลืองร้อยเอ็ด สันป่าตอง เป็นต้น

3) ตั้งตามลักษณะเด่นของเมล็ดข้าว เช่น ขาวอำไพ ขาวมะลิ ขาวเม็ดยาว ขาวเมล็ดเล็ก ขาวคัด เป็นต้น

4) ตั้งตามธรรมชาติของการได้ผลผลิต คือ ข้าวหนัก ซึ่งได้ผลผลิตช้ากว่าข้าวเบาก็เรียกชื่อตามนั้น เช่น ขาวสะอาดหนัก เศรษฐีหนัก จำปาหนัก ห้าเหลืองเบา เบาหอม เป็นต้น

5) ตั้งตามชื่อที่มีความหมายในทางที่ดีเป็นสิริมงคล บ่งบอกถึงความร่ำรวย หรือการได้ผลผลิตมาก ๆ เช่น ขาวเศรษฐี ล้นยุ้ง ก้อนแก้ว ขาวหลุดหนี้ เกวียนหัก เหลืองควายล้า ขาวทุ่งทอง เป็นต้น

6) ตั้งตามชาติของพันธุ์ข้าว เช่น ขาวสูง เหลืองพวงล้า ข้าวใบตก เหลืองเตี้ย ขาวพวงเจ็ดรวงเบา พันธุ์เบื่อน้ำ หางหมาจอก สามรวง เป็นต้น

7) ตั้งตามสีที่เกี่ยวข้องกับพันธุ์ข้าวหรือเมล็ดข้าว เช่น เขียวนางงาม เขียวหนัก แก้วลายรวงดำ เหลืองปลากริม เป็นต้น

8) ตั้งตามชื่อพืชชนิดอื่น เช่น ขาวดอกมะลิ จำปา ดอกพุด ขาวมะนาว จำปาทอง แตงกวา ดอกจันทร์ ไทรขาว อบเชย เป็นต้น

9) ตั้งตามชื่ออื่น ๆ เช่น ข้าวจังหวัด ขาวห้าร้อย ขาวเกษตร เหลืองสองคลอง เหลืองไร่นางงาม นางเอก ตับบิ้ง หลวงแจก เป็นต้น

2.2 ข้าวพันธุ์พื้นเมืองในจังหวัดจันทบุรี (วิไลลักษณ์ สมมุติ, 2545)

จังหวัดจันทบุรี พบการปลูกข้าวพันธุ์พื้นเมืองในพื้นที่ปลูกอำเภอต่าง ๆ ได้แก่ อำเภอแหลมสิงห์ ขลุง มะขาม ท่าใหม่ และอำเภอนายายอาม พันธุ์ข้าวพื้นเมืองที่พบ ได้แก่ ข้าวพันธุ์ ล้นยุ้ง พวงเงิน ขาวตั๊ว ขาวตาหวิน ขาวกลิ่น ยายฉิม นางขาว และข้าวพันธุ์หมากแขก เป็นต้น

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเพียง 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ข้าวพันธุ์พวงเงิน หมากแขก และข้าวพันธุ์ล้นยุ้ง

2.2.1 ข้าวพันธุ์พวงเงิน

ชื่อไทย : ข้าว

ชื่อสามัญ : Rice

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Oryza sativa* L.

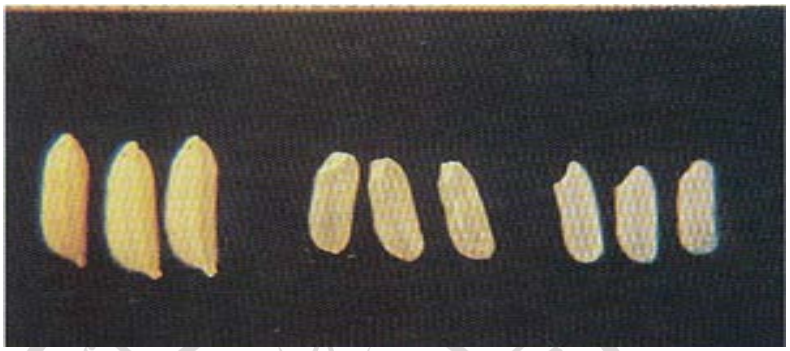
ชื่อวงศ์ : Poaceae

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ชื่อพื้นเมือง : ข้าวพวงเงิน

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ข้าวพันธุ์พวงเงินเป็นข้าวเจ้า มีทรงกอแบะ ปล้องสีเหลืองอ่อน แผ่นใบสีเขียวเข้ม กว้าง 1.7 เซนติเมตร ยาว 54.6 เซนติเมตร กาบใบสีเขียว ลิ้นใบสีขาวมี 2 แฉก ยาว 20.56 มิลลิเมตร หูใบมีสีเขียว มีขนบนแผ่นใบ ยอดเกสรเพศเมียสีขาว ยอดดอกสีฟาง กลีบรองดอกสีฟาง ความยาวของกลีบรองดอกสั้น (<1.5 มิลลิเมตร) ขนบนเปลือกเมล็ดสั้น เปลือกเมล็ดสีฟางกว้าง 2.69 มิลลิเมตร ยาว 8.61 มิลลิเมตร ข้าวกล้องมีสีน้ำตาลอ่อน ค่อนข้างป้อม กว้าง 2.34 มิลลิเมตร ยาว 6.33 มิลลิเมตร มีท้องไข่ค่อนข้างมาก



ภาพที่ 2.2 เมล็ดข้าวพันธุ์พวงเงิน
ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2541

2.2.2 ข้าวพันธุ์หมากแขก

ชื่อไทย : ข้าว

ชื่อสามัญ : Rice

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Oryza sativa* L.

ชื่อวงศ์ : Poaceae

ชื่อพื้นเมือง : ข้าวหมากแขก

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ข้าวพันธุ์หมากแขกเป็นข้าวเจ้า มีทรงกอแผ่ ปล้องสีเขียว แผ่นใบสีเขียว กว้าง 1.2 เซนติเมตร ยาว 45 เซนติเมตร กาบใบสีเขียว ลิ้นใบแหลมมีสีขาว ยาว 15.00 มิลลิเมตร หูใบมีสีน้ำตาลดำ ไม่มีขนบนแผ่นใบ ยอดเกสรเพศเมียสีน้ำตาลดำ ยอดดอกสีฟาง กลีบรองดอกสีฟาง ความยาวของกลีบรองดอกปานกลาง (<1.6 - 2.5 มิลลิเมตร) ขนบนเปลือกเมล็ดสั้น เปลือกเมล็ดสีฟางออกน้ำตาล กว้าง 2.57 มิลลิเมตร ยาว 9.44 มิลลิเมตร ข้าวกล้องมีสีขาว ลักษณะเรียว กว้าง 2.14 มิลลิเมตร ยาว 6.33 มิลลิเมตร มีท้องไข่ค่อนข้างมาก

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

ภาพที่ 2.3 เมล็ดข้าวพันธุ์หมากแขก

2.2.3 ข้าวพันธุ์ล้นยุ้ง

ชื่อไทย : ข้าว

ชื่อสามัญ : Rice

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Oryza sativa* L.

ชื่อวงศ์ : Poaceae

ชื่อพื้นเมือง ล้นยุ้ง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ข้าวพันธุ์ล้นยุ้งเป็นข้าวเจ้า มีทรงกอตั้ง ปล้องสีเขียว แผ่นใบสีเขียว กว้าง 1.6 เซนติเมตร ยาว 41 เซนติเมตร กาบใบสีเขียว ลิ้นใบแหลมมีสีขาว ยาว 10.00 มิลลิเมตร หูใบมีสีเขียว ไม่มีขนบนแผ่นใบ ยอดเกสรเพศเมียสีขาว ยอดดอกและกลีบรองดอกสีฟาง ความยาวของกลีบรองดอกสั้น (<1.52 มิลลิเมตร) ไม่มีขนบนเปลือกเมล็ด เปลือกเมล็ดสีฟาง กว้าง 2.66 มิลลิเมตร ยาว 9.29 มิลลิเมตร ข้าวกล้องมีสีน้ำตาลอ่อน ลักษณะเรียว กว้าง 2.25 มิลลิเมตร ยาว 6.83 มิลลิเมตร มีท้องไข่ปานกลาง

ภาพที่ 2.4 เมล็ดข้าวพันธุ์ล้นยุ้ง
ที่มา: ฐานข้อมูลข้าวพื้นเมืองไทย, ม.ป.ป.

2.3 การสีข้าว (งามชื่น คงเสรี, 2547)

2.3.1 การสีข้าว (Rice milling) หมายถึง การทำให้เปลือก รำ และคัพภะออกจากเมล็ดข้าวการสีประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอน ได้แก่

1) การทำความสะอาด (Cleaning) เพื่อกำจัดระแง้ ใบข้าว เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืช และสิ่งเจือปน อื่น ๆ ออกจากข้าวเปลือก

2) การกะเทาะ (Shelling หรือ Hulling) เป็นการทำให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ดข้าว สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้คือ แกลบและข้าวกล้อง

3) การขัดขาว (Whitening) เพื่อทำให้รำหลุดจากเมล็ดข้าวกล้อง สิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้ คือ รำและข้าวสาร

4) การคัดแยก (Grading) เพื่อแยกข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักขนาดต่าง ๆ ออกจากกัน จากขั้นตอนการสีดังกล่าว สิ่งที่ได้จากการสีข้าว ได้แก่

4.1) แกลบ (Hull หรือ Husk) เป็นผลพลอยได้จากการสีข้าว เป็นส่วนของเปลือกเมล็ด กลีบเลี้ยง ฟางและขั้วเมล็ด ประมาณ 20 - 24 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเปลือก องค์ประกอบส่วนใหญ่ของแกลบ ได้แก่ เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสประมาณ 68 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน 19.2 - 24.5 เปอร์เซ็นต์ เถ้า 13.2 - 29.0 เปอร์เซ็นต์ (ประกอบด้วยซิลิก้า 86.9 - 97.3 เปอร์เซ็นต์)

4.2) รำ (Bran) เป็นประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล (Pericarp) เยื่อหุ้มเมล็ด (Tegmen) เยื่อหุ้มเมล็ด (Aleurone Layer) คัพภะ (Embryo) และผิวนอกของข้าวสาร ประมาณ 8 - 10 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเปลือก รำมีคุณค่าทางอาหารสูงเพราะมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์มาก เช่น โปรตีน 10.6 - 13.4 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 10.1 - 22.4 เปอร์เซ็นต์ ไนโตรเจนอิสระ 38.7 - 44.3 เปอร์เซ็นต์ และวิตามินบี 0.54 เปอร์เซ็นต์

4.3) ข้าวสาร (Milled Rice) ประมาณ 68 - 70 เปอร์เซ็นต์ของข้าวเปลือก ประกอบด้วยแป้งประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีนบ้างเล็กน้อย ข้าวสารที่ได้จากการขัดขาวจะถูกนำไปคัดแยกเป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว และข้าวหัก ปริมาณมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณภาพข้าวเปลือกก่อนสี หากข้าวเปลือกมีคุณภาพดีก็จะได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง ข้าวหักน้อย เป็นต้น

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพการสี

คุณภาพการสีของข้าวจะแปรปรวนมาก หรือน้อยขึ้นกับลักษณะของพันธุ์ สภาพแวดล้อม และการดูแลรักษา ทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว ดังนี้

1) พันธุ์ (Rice Variety) คุณภาพการสีของข้าวอาจแปรปรวนได้ตามลักษณะพันธุ์ข้าว เช่น พันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดยาวมาก มีท้องไข่มากจะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวต่ำ หรือพันธุ์ข้าวที่มีเปลือกสีอ่อน เปลือกบาง เมื่อนำไปสีให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง เป็นต้น

2) การปฏิบัติดูแลก่อนเก็บเกี่ยว ควรระบายน้ำออกจากแปลงนาก่อนการเก็บเกี่ยว 7 - 10 วัน เพื่อให้เมล็ดข้าวสุกอย่างสม่ำเสมอ พื้นนาไม่แฉะขณะเก็บเกี่ยวทำให้การเก็บเกี่ยวและการตากอย่างสะดวกได้ข้าวแห้งสม่ำเสมอ เมื่อนำไปสีจะได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

3) ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม การเก็บเกี่ยวข้าวเร็ว หรือช้าเกินไปจะทำให้ข้าวมีปริมาณและคุณภาพการสีต่ำกล่าวคือ ข้าวที่เก็บเกี่ยวในขณะที่เมล็ดยังเขียวการสร้างแป้งยังไม่เต็มเมล็ด เมื่อตากแห้งและนำไปสี ข้าวเมล็ดเขียว หรือเมล็ดอ่อนเหล่านี้จะหักปนไปรวมอยู่กับส่วนรำ แกลบ และข้าวหัก ทำให้ได้เนื้อของข้าวสาร ข้าวเต็มเมล็ด และต้นข้าวน้อย ในทำนองเดียวกันหลังจากเมล็ดแก่ หรือแห้งแล้วหากปล่อยทิ้งไว้ในนา เมล็ดจะถูกแดดในตอนกลางวัน และได้รับสภาพชื้นจาก

น้ำค้างในตอนกลางคืนสลับกันเป็นเวลานาน ๆ ทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นในเมล็ด เมื่อนำไปสีข้าวจะหักมากได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อย การเก็บเกี่ยวข้าวควรกระทำหลังจากข้าวออกดอกแล้วประมาณ 30 - 35 วัน ขณะที่เมล็ดมีความชื้นประมาณ 22 - 26 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะรวงข้าวจะโน้มลง เมล็ดในรวงมีสีฟาง หรือเหลือง โคนรวงอาจมีเมล็ดเขียวบ้างเล็กน้อย ระยะเวลาดังกล่าวนี้เมล็ดจะสุกแก่พอเหมาะการเก็บเกี่ยวในระยะนี้จะได้น้ำหนักเมล็ดสูง ได้ข้าวปริมาณมากและมีคุณภาพการสีดี

ส่วนวิธีการเก็บเกี่ยวนั้นทำได้หลายวิธี เช่น เกี่ยวด้วยมือโดยใช้เคียว หรือแกระซึ่งไม่ค่อยมีผลกระทบต่อคุณภาพการสี หรือเกี่ยวด้วยเครื่องจักร เป็นต้น

4) การตากข้าว เป็นการลดความชื้นในเมล็ดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม เมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวมีคุณภาพ การสีสูงและเก็บรักษาไว้ได้นาน เสื่อมคุณภาพช้า การตากข้าวทำได้ทั้งก่อนและหลังการนวด แต่ควรคำนึงถึงคุณภาพของข้าวที่ตาก คือ ต้องทำให้ข้าวแห้งอย่างสม่ำเสมอความชื้นในเมล็ด 12 - 14 เปอร์เซ็นต์ สะอาด ไม่มีสิ่งเจือปน แต่ไม่ควรตากนานเกินไป

5) การนวดข้าว เป็นการทำให้เมล็ดข้าวหลุดจากรวง ในแต่ละท้องถิ่นมีวิธีปฏิบัติแตกต่างกัน เช่น นวดโดยการฟาด ใช้สัตว์ย่ำ นวดโดยรถไถ และนวดด้วยเครื่องจักร เป็นต้น การนวดนี้อาจทำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าวซึ่งมีผลต่อคุณภาพการสี ข้าวหักมากขึ้น

6) การเก็บรักษา เป็นขั้นตอนการปฏิบัติหลังจากการเก็บเกี่ยว การนวด และการตาก เกษตรกรจะเก็บรักษาข้าวไว้รอให้ราคาดีจึงจะขาย หรือเก็บไว้บริโภค การเสื่อมคุณภาพในระยะนี้สาเหตุสำคัญส่วนใหญ่เกิดจากการทำลายของเชื้อรา การเกิดข้าวเมล็ดเหลือง หรือเมล็ดเสีย ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพการสีทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อยลง

7) กระบวนการขัดสี ขั้นตอนสำคัญในการสีข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการสี คือ การกะเทาะเปลือกและการขัดขาวใน 2 ขั้นตอนนี้ข้าวจะหักมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

7.1) การตั้งระยะห่างระหว่างลูกยาง หรือหินกากเพชรในเครื่องกะเทาะและระหว่างหินกากเพชรกับแท่นยาง หรือแท่งเหล็กในเครื่องขัดขาว ถ้าตั้งชิดเกินไปจะทำให้ข้าวหักมากขึ้น

7.2) อัตราการหมุนของลูกยาง หรือหินการเพชร ถ้าหมุนเร็วมากข้าวจะหักมาก

7.3) อัตราการไหลของข้าวสู่เครื่องกะเทาะ ถ้าอัตราการไหลสูงข้าวจะหักมาก

7.4) ระยะเวลาในการขัดสี ถ้าขัดสีนานข้าวจะหักมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

2.3.3 คุณภาพการซื้อขาย

การประเมินคุณภาพข้าวในการซื้อขายนั้น สิ่งที่กำหนดราคาข้าว ได้แก่

1) ความชื้น มีบทบาทสำคัญในการกำหนดราคาข้าว ข้าวที่เก็บเกี่ยวในระยะเวลาที่เหมาะสม และนำมาลดความชื้นให้เหลือปริมาณ 13 - 15 เปอร์เซ็นต์ จะมีราคาสูงกว่าข้าวที่มีความชื้นสูง เนื่องจากข้าวแห้งที่มีความชื้นเหมาะสม สามารถทำการสีได้ทันที โดยไม่ต้องนำมาลดความชื้นอีก

แต่หากรับซื้อข้าวที่มีความชื้นสูงจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลดความชื้น ดังนั้นหากข้าวมีความชื้นเกินกว่าที่กำหนดจะถูกตัดราคา

2) ลักษณะทางกายภาพของข้าว โดยการกะเทาะเปลือกและขัดสี เพื่อประเมินสีข้าวกล้องท้องไข่ ความใสขุ่นของเมล็ด และสิ่งเจือปนอื่น ๆ เช่น ข้าวแดง ข้าวเหลือง ข้าวเสีย หรือข้าวชนิดอื่น ๆ เจือปน เป็นต้น ซึ่งลักษณะเหล่านี้ในปริมาณต่าง ๆ กัน จะเป็นตัวกำหนดราคาข้าว

3) คุณภาพการสี เพื่อประเมินผลของการแปรสภาพจากข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร ปริมาณข้าวรวม ข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวขนาดต่าง ๆ และปลายข้าว ซึ่งผลได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อจะเป็นค่าที่โรงสีใช้ประเมินผลได้จากการแปรสภาพในโรงสีจริง โดยทั่วไปโรงสีจะตั้งเกณฑ์ขั้นต่ำของผลได้จากการขัดสีของข้าวที่รับซื้อ หากข้าวที่เกษตรกรนำมาจำหน่ายมีผลได้จากการขัดสีต่ำกว่าเกณฑ์จะถูกตัดราคา

4) ประเภทของข้าว ข้าวคุณภาพดี ตามความต้องการของตลาดและเป็นที่นิยมของผู้บริโภคมักมีราคาดีกว่าข้าวคุณภาพต่ำจากปัจจัยต่าง ๆ ที่กำหนดราคาดังกล่าวแล้วในการซื้อขายยังมีการแบ่งชนิดของข้าวเป็นชั้นต่าง ๆ เช่น ข้าว 100 เปอร์เซ็นต์ ข้าว 5 เปอร์เซ็นต์ ข้าว 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

2.4 ข้าวกล้อง

ข้าวกล้อง คือ ข้าวที่ผ่านกระบวนการกะเทาะเปลือก (แกลบ) ออกเพียงเท่านั้น ไม่ได้ผ่านกระบวนการขัดสี ยังคงมีจมูกข้าวและเยื่อหุ้มเมล็ดข้าว หรือรำข้าวอยู่ ส่วนสีของข้าวกล้องจะแสดงออกที่เยื่อหุ้มผล โดยจะมีสีต่างกัน ตั้งแต่น้ำตาลเข้ม น้ำตาลเทา และม่วงเกือบดำ ข้าวกล้องที่มีสีแดงและม่วงจะมีสารแอนโทไซยานินอยู่ จึงทำให้มีคุณค่าทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายสูงกว่าข้าวกล้องทั่ว ๆ ไป (นิดดา หงส์วิวัฒน์, 2552) และถือเป็นสุดยอดอาหารเพื่อสุขภาพชนิดหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก (ผาณิต รุจิรพิสิฐ และคณะ, 2555)

2.4.1 ส่วนประกอบของข้าวกล้อง

ข้าวกล้องมีส่วนประกอบดังนี้ (วีระศักดิ์ หอมสมบัติ, 2543)

1) เยื่อหุ้มผล (Pericarp หรือ Fruit Coat) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น คือ เนื้อเยื่อชั้นนอก (Epicarp) เนื้อเยื่อชั้นกลาง (Mesocarp) และเนื้อเยื่อชั้นใน (Endocarp) เยื่อหุ้มผลมีลักษณะเป็นเส้นใย ผนังเซลล์ประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส และยังมีรงควัตถุ หรือที่เรียกว่า สารสีปนอยู่ ทำให้ข้าวกล้องมีสี เช่น สีน้ำตาลอ่อน น้ำตาลแดง เป็นต้น

2) เยื่อหุ้มเมล็ด (Tegmen หรือ Seed Coat) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มผลเข้าไป เยื่อหุ้มเมล็ดประกอบด้วย เนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถว ภายในเนื้อเยื่อสองชั้นนี้ประกอบด้วย เซลล์ที่มีโปรตีน แร่ธาตุ แพนโตเซน เซลลูโลส และไขมัน นอกจากนี้ยังมีสารสี หรือรงควัตถุเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

3) เยื่อแอลิวโรน (Aleurone Layer) อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเมล็ดเป็นเนื้อเยื่อที่มีชีวิต ห่อหุ้มส่วนของเนื้อเมล็ดของข้าวสารและคัพภะ (Embryo) เยื่อแอลิวโรนมีโปรตีนสูง นอกจากนี้ยังประกอบด้วยน้ำมัน เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ธาตุฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโพแทสเซียม

4) เนื้อเมล็ด หรือเนื้อข้าว (Endosperm) อยู่ชั้นในสุดของเมล็ดข้าว มีมากที่สุดประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักเมล็ดข้าวทั้งหมด ซึ่งมีอะไมโลสและอะไมโลเพ็คตินเป็นส่วนประกอบหลัก อยู่รวมกันอัดแน่นรวมเป็นกลุ่มเม็ดแป้ง และยังคงมีโปรตีนอยู่บ้าง

5) คัพภะ (Embryo) อยู่ติดกับเนื้อเมล็ดด้านเลมมา เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นต่อไป คัพภะประกอบด้วย ต้นอ่อน (Plumule) รากอ่อน (Radicle) เยื่อหุ้มต้นอ่อน (Coleoptile) เยื่อหุ้มรากอ่อน (Coleorhiza) ท่อน้ำท่ออาหาร (Epiblast) และใบเลี้ยง (Scutellum) คัพภะประกอบด้วย โปรตีน วิตามิน ลิพิด และแร่ธาตุสูง

2.4.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวกล้อง (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

เมล็ดข้าวจะมีคาร์โบไฮเดรตอยู่เป็นองค์ประกอบหลัก โดยจะอยู่ในรูปของแป้ง (Starch) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน แร่ธาตุ และวิตามินต่าง ๆ ดังนี้

1) แป้ง (Starch) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคส ประกอบด้วยโมเลกุลของ Anhydroglucose Unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (Glucosidic Bone) ของคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 แป้งประกอบด้วยโพลิเมอร์กลูโคส 2 ชนิด

1.1) อะไมโลส (Amylose) เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย มีการจัดโครงสร้างลักษณะแนวยาว (Linear Fraction) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - 1, 4 - Glucosidic พบอะไมโลสมากในส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) แต่ก็มีบางส่วนที่กระจายอยู่ในส่วนของอสัณฐาน (Amorphous)

1.2) อะไมโลเพคติน (Amylopectin) เป็นพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยกลูโคส มีการจัดโครงสร้างลักษณะที่เป็นกิ่งก้าน (Branched Fraction) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - 1, 6 - Glucosidic โดยส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - 1, 4 - Glucosidic และส่วนที่เป็นกิ่งก้านที่เป็นพอลิเมอร์ กลูโคสสายสั้นมีระดับของการเชื่อมสายยาวอยู่ในช่วง 10 - 60

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2) ปริมาณความชื้น (Moisture Content) เมล็ดข้าวควรมีความชื้นประมาณ 14 เปอร์เซ็นต์ หากความชื้นน้อยกว่านี้จะมีผลต่ออายุการเก็บรักษา คือ จะส่งผลให้ไม่สามารถเก็บรักษาได้นานและจะมีผลต่อคุณภาพแป้งในการทำผลิตภัณฑ์ ถ้ามีความชื้นสูงจะทำให้เม็ดแป้งสามารถดูดซับน้ำได้เพิ่มขึ้น ทำให้มีลักษณะเป็นก้อน มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ เมื่อนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์อาหารจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพไม่ดีเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547ข)

3) แร่ธาตุ (Minerals) ในเมล็ดข้าว แร่ธาตุต่างๆ ส่วนใหญ่อยู่บริเวณผิวนอกของเมล็ด และจะแตกต่างกันไปตามความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ที่ใช้ปลูก (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538)

4) เส้นใยอาหาร (Fiber) เส้นใยอาหารเป็นส่วนของอาหารจากพืชที่ไม่สามารถถูกย่อยด้วยน้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารของคนได้ แต่อาจถูกย่อยได้ด้วยแบบแบคทีเรียบางชนิดในลำไส้ใหญ่ เส้นใยของพืชยังคงอยู่ในลำไส้หลังจากที่อาหารอื่น ๆ ถูกดูดซึมหมดแล้ว เส้นใยไม่จัดว่าเป็นสารอาหารเพราะจะไม่ถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดเหมือนคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และเกลือแร่ เส้นใยอาหารแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

4.1) เส้นใยอาหารประเภทที่ละลายในน้ำ เส้นใยอาหารกลุ่มนี้เช่น เพคติน กัม พบในผักผลไม้ต่าง ๆ และอาหารประเภทถั่วบางชนิด และวุ้นจากพืชก็จัดอยู่ในประเภทใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เส้นใยกลุ่มนี้มีประโยชน์ต่อร่างกาย คือ ช่วยให้ระดับไขมันและน้ำตาลในเลือดอยู่ในระดับปกติ

4.2) เส้นใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายในน้ำ เส้นใยอาหารกลุ่มนี้เช่น ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส พบในพืชและธัญพืชต่าง ๆ รวมทั้งผิวของผลไม้ เส้นใยอาหารกลุ่มนี้จะช่วยให้ลำไส้ใหญ่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำนี้จะพบได้ในข้าวกล้องมากกว่าข้าวขาว

5) โปรตีน (Protein) โปรตีนเป็นสารองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญและมีปริมาณมากรองจากคาร์โบไฮเดรต โดยไม่คิดปริมาณน้ำในเมล็ดข้าว ปริมาณโปรตีนจะแตกต่างกันไปตามชนิดพันธุ์ข้าว และโดยทั่วไปข้าวจะมีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าธัญชาติชนิดอื่น ๆ โปรตีนจะมีมากในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ดและเนื้อเมล็ดด้านนอก ซึ่งจะมีโปรตีนมากกว่ากลางเมล็ด (อรอนงค์ วินัยกุล, 2547) โปรตีนชนิดอัลบูมินและโกลบูลินจะพบมากในข้าวกล้อง (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

6) กรดอะมิโน (Amino Acid) กรดอะมิโนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่โมเลกุลประกอบด้วยหมู่อะมิโน (- NH_4) และหมู่คาร์บอกซิล (- COOH) และมีสายแขนง (R) ต่ออยู่กับอะตอมคาร์บอน ซึ่งหมู่ R จะแตกต่างกันตามหมู่กรดอะมิโน ในข้าวกล้องงอกจะมีไลซีนสูง แต่มีกลูตามิกต่ำกว่าในข้าวขาว (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

7) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ (Bioactive Compound) สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพเป็นสารที่มีอยู่ในธรรมชาติสามารถพบได้ในอาหารทั่วไป มีคุณสมบัติเชิงออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ เสริมสร้างระบบคุ้มกัน สารออกฤทธิ์ที่พบในเมล็ดข้าว ได้แก่ สารประกอบฟีนอลลิค วิตามินอี แกมมาออริซานอล (Azrina et al., 2008)

เมล็ดข้าวกล้องมีองค์ประกอบคุณค่าทางด้านอาหารและโภชนาการ เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ใยอาหาร และเถ้า นอกจากนี้ยังมีวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และวิตามินบี 5 แร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แมกนีเซียม แมงกานีส สังกะสี โคบอลต์ ทองแดง ซิลีเนียม ไอโอดีน กรดแพนโธธินิค และกรดโฟลิค (เยาวภา สิริวัฒนากุล และวราพร พิชัยโรจน์รุ่ง, 2542; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538)

2.4.3 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้อง

เมล็ดข้าวกล้องมีองค์ประกอบที่มีคุณค่าทางด้านอาหารและโภชนาการอยู่มากมาย เช่น โปรตีน ช่วยเสริมสร้างซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวให้พลังงานและให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย คาร์โบไฮเดรต ให้พลังงานแก่ร่างกาย ใยอาหาร ช่วยล้างสิ่งที่ตกค้างอยู่ในลำไส้ ทำให้ขับถ่ายสะดวก ป้องกันอาการท้องผูก และช่วยป้องกันการเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ เป็นต้น คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องงอก เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวขาว แสดงดังตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ยังมีวิตามินชนิดต่าง ๆ ซึ่งวิตามินที่พบในข้าวกล้องงอก ได้แก่ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และวิตามินบี 5 แร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แมกนีเซียม แมงกานีส สังกะสี โคบอลต์ ทองแดงซิลีเนียม ไอโอดีน กรดแพนโธธินิค และกรดโฟลิค เป็นต้น (เยาวภา สิริวัฒนากุล และวราพร พิชัยโรจน์รุ่ง, 2542; อรอนงค์ วินัยกุล, 2538)

1) คาร์โบไฮเครต ที่พบในข้าวกล้องแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ แป้ง เฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส และน้ำตาลอิสระ โดยที่แป้งมีปริมาณสูงสุดประมาณ 77 - 78 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส พบมากในรำละเอียด รำข้าวขาว และจมูกข้าว ส่วนในข้าวขาวพบปริมาณเล็กน้อย ข้าวกล้องมีเฮมิเซลลูโลส 1.43 - 2.08 เปอร์เซ็นต์ รำละเอียดมี 8.59 - 10.90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบแพนโตแซนในจมูกข้าว 4.80 - 7.40 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลสส่วนใหญ่อยู่ในชั้นที่เป็นรำ ปริมาณที่พบในชั้นรำละเอียด 62 เปอร์เซ็นต์ จมูกข้าว 4 เปอร์เซ็นต์ รำข้าวขาว 7 เปอร์เซ็นต์ และข้าวขาว 27 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำตาลอิสระพบมากในจมูกข้าวและเนื้อแป้ง ประกอบด้วยน้ำตาลซูโครส ราฟิโนส กลูโคส มอลโตส และฟรุคโตสเล็กน้อย ในข้าวกล้องมีน้ำตาลอิสระ 0.83 - 1.36 เปอร์เซ็นต์ และข้าวขาวมี 0.09 - 0.13 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรตมีหน้าที่ให้ความอบอุ่นแก่ร่างกาย ส่วนใยอาหาร เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ช่วยป้องกันท้องผูกและโรคมะเร็งลำไส้

2) โปรตีน ในข้าวกล้องจะมีโปรตีนอยู่หนาแน่นบริเวณชั้นนอกของเมล็ดและบริเวณคัพภะ (Embryo) มากกว่าที่ส่วนอื่น ๆ โปรตีนมีหน้าที่ช่วยเสริมสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ โดยปกติข้าวกล้องจะมีปริมาณโปรตีนตั้งแต่ 4.3 - 18.2 เปอร์เซ็นต์ หรือประมาณ 9.5 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ย แม้ข้าวกล้องจะมีโปรตีนน้อยกว่าธัญชาติชนิดอื่น ๆ แต่โปรตีนที่มีอยู่ก็มีคุณค่าทางชีวภาพ และมีค่า Net Protein Utilization (NUP) สูงกว่าโปรตีนของธัญชาติชนิดอื่น ๆ และสามารถย่อยได้อย่างสมบูรณ์ การที่โปรตีนของข้าวย่อยได้ดี อาจเนื่องจากข้าวมีแทนนินต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

3) ไขมัน ข้าวกล้องมีไขมันประมาณ 1.6 - 2.8 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของไขมันนี้ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในรำข้าว ไขมันจากทุกส่วนของเมล็ดจะมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกัน ไม่ว่าจะสกัดจากข้าวเหนียว หรือข้าวเจ้า กรดไขมันส่วนใหญ่ในข้าวกล้องเป็นกรดโอเลอิก (Oleic) ลิโนเลอิก (Linoleic) และพาล์มมิติก (Palmitic) ไขมันของข้าวมีสารแอนติออกซิแดนซ์อยู่ คือ โอรีซานอล (Oryzanol) และโทโคฟีรอล (Tocopherol) ซึ่งช่วยระงับปฏิกิริยาการเติมออกซิเจน ทำให้น้ำมันที่สกัดได้มีความคงตัวหรืออยู่ได้นานโดยไม่เกิดการเหม็นหืน นอกจากนี้โอรีซานอลและโทโคฟีรอลยังช่วยเร่งการเจริญเติบโต

การไหลเวียนของโลหิต และการหลั่งฮอร์โมนของร่างกาย

4) วิตามิน ส่วนใหญ่จะพบบริเวณเยื่อหุ้มเมล็ดชั้นในสุดและบริเวณคัพภะ จึงเป็นสาเหตุให้ข้าวสารทที่ขัดสีจนขาวมีวิตามินเหลืออยู่เพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับข้าวกล้องซึ่งมีวิตามินอยู่ในปริมาณที่สูงกว่ามาก วิตามินที่พบในข้าวกล้อง ได้แก่ กรดนิโคตินิก (Nicotinic Acid) หรือไนอะซิน (Niacin) ไทอะมิน (Thiamine) หรือวิตามินบี 1 ซึ่งจะมีมากกว่าข้าวขาวประมาณ 4 เท่า
ดังนั้น ถ้ารับประทานข้าวกล้องเป็นประจำจะสามารถป้องกันโรคเหน็บชาได้ ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) หรือวิตามินบี 2 ช่วยป้องกันโรคปากนกกระจอก วิตามินซี (Ascorbic Acid) วิตามินดี (Vitamin D) และวิตามินบี 12 (Cobalamin) วิตามินในเมล็ดข้าวอาจสูญเสียไปได้ง่าย เมื่อเก็บข้าวไว้ในรูข้าวสารในโรงเก็บที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงควรเก็บไว้รูปของข้าวเปลือกในโรงเก็บที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี หรือมีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้การหุงข้าวก็ยังเป็นองค์ประกอบสำคัญในการทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินด้วย พบว่า การซาวข้าวทำให้สูญเสียวิตามินบี 1 ไป 20 เปอร์เซ็นต์

5) แร่ธาตุ แร่ธาตุส่วนใหญ่จะพบบริเวณผิวนอกของเมล็ด ปริมาณแร่ธาตุของเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในดิน ปุ๋ย และสภาพแวดล้อมซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว ชนิดของแร่ธาตุที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวค่อนข้างมาก ได้แก่ ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม และโพแทสเซียม สำหรับฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในเมล็ดข้าวนั้นส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ยาก นอกจากนี้ยังมีแร่ธาตุอื่น ๆ อีก ได้แก่ แคลเซียม คลอรีน ซิลิคอน เหล็ก อะลูมิเนียม แมงกานีส โซเดียม และสังกะสี ในปริมาณเล็กน้อย

2.4.4 โรคที่เกิดจากการไม่บริโภคข้าวกล้อง (วิไล อุ่นบรรเทิง, ม.ป.ป.)

1) โรคเหน็บชา เพราะขาดวิตามินบี 1

2) โรคปากนนกกระจอก เพราะขาดวิตามินบี 2 มากกว่าข้าวขาว 66 เปอร์เซ็นต์

3) โรคโลหิตจาง เพราะขาดธาตุเหล็ก เนื่องจากข้าวกล้องมีธาตุเหล็กมากกว่าข้าวขาว 2 เท่า

4) โรคนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ พบมากทางภาคเหนือและภาคอีสาน โดยเฉพาะในเด็กอายุต่ำกว่า 6 ปี เกี่ยวเนื่องจากการขาดธาตุฟอสฟอรัส และอื่น ๆ ซึ่งมีในข้าวกล้อง นอกจากนี้ฟอสฟอรัสยังช่วยในการเจริญเติบโตของกระดูกและฟัน

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

5) โรคท้องผูก เพราะมีกากอาหารน้อย ข้าวกล้องช่วยป้องกันท้องผูกและมะเร็งลำไส้ใหญ่

6) โรคทางระบบประสาทบางชนิดและโรคปลายประสาทอักเสบ เพราะขาดวิตามินบีรวม ซึ่งมีมากในข้าวกล้อง วิตามินบีรวม ช่วยบำรุงสมองและทำให้เจริญอาหาร ถ้าขาดวิตามินบีรวมจะหงุดหงิดและอารมณ์เสียง่าย เนื่องจากวิตามินบีรวมเป็นวิตามินเสริมสร้างระบบประสาทของร่างกาย ซึ่งข้าวกล้องมีมากกว่าข้าวขาว

7) โรคขาดโปรตีน ข้าวกล้องมีโปรตีน 7 - 12 เปอร์เซ็นต์ เด็กไทย 40 - 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นโรคขาดโปรตีนและพลังงาน ข้าวกล้องมีโปรตีนมากกว่าข้าวขาว 20 - 30 เปอร์เซ็นต์

8) โรคผิวหนังบางชนิด เนื่องจากขาดเพราะขาวิตามินบีรวม

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องและข้าวขาว

สารอาหาร	ข้าวกล้อง (100 กรัม)	ข้าวขาว (100 กรัม)
โปรตีน (กรัม)	7.60	6.4
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	75.1	79.4
ไขมัน (กรัม)	2.0	0.8
วิตามินบี 2 (มิลลิกรัม)	0.34	0.07
วิตามินบี 3 (มิลลิกรัม)	0.05	0.03
ไนอะซีน (มิลลิกรัม)	0.62	0.62
กรดเพนโธธินิค (มิลลิกรัม)	1.5	0.22
กรดโฟลิค (มิลลิกรัม)	20	0.36
เหล็ก (มิลลิกรัม)	1.6	0.8
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	32	24
แมกนีเซียม (มิลลิกรัม)	52	14
แมงกานีส (มิลลิกรัม)	1.5	0.9
สังกะสี (ไมโครกรัม)	1.9	1.5
โคบอลต์ (ไมโครกรัม)	4.2	0.9
ทองแดง (ไมโครกรัม)	360	230
ซิลีเนียม (ไมโครกรัม)	38.8	31.8
ไอโอดีน (ไมโครกรัม)	2.2	2.0

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ที่มา: กองโภชนาการ, 2535

2.5 ข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องงอก (Germinated Brown Bice หรือ “GABA - Rice”) ถือเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากข้าวกล้องงอกได้จากการนำข้าวกล้องมาผ่านกระบวนการงอก ซึ่งโดยปกติแล้วในตัวข้าวกล้องเองประกอบด้วยสารอาหารจำนวนมากมาย เช่น ใยอาหาร (Fiber) กรดไฟติก (Phytic Acid) วิตามินซี (Vitamin C) วิตามินอี (Vitamin E) ธาตุเหล็ก (Iron) สังกะสี

(Zinc) แมกนีเซียม (Magnesium) และสารกาบา (GABA) ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ ช่วยป้องกันโรคต่าง ๆ เช่น โรคมะเร็ง เบาหวาน ช่วยควบคุมน้ำหนักตัว และสามารถป้องกันการทำลายสมอง ซึ่งเป็นสาเหตุของโรคสูญเสียความทรงจำ เป็นต้น (สุวิมล โต่นวุธ, 2552) เมื่อนำเมล็ดข้าวแช่น้ำจะมีการเจริญเติบโตและการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยจะเริ่มขึ้นเมื่อน้ำแทรกเข้าไปในเมล็ดข้าว โดยจะกระตุ้นให้เอนไซม์ภายในเมล็ดข้าวเกิดการทำงาน เมื่อเมล็ดข้าวเริ่มงอกสารอาหารที่ถูกเก็บไว้ในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยสลายไปตามกระบวนการทางชีวเคมีจนเกิดเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่มีโมกุลเล็กลง (Oligosaccharide) และน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) นอกจากนี้โปรตีนในเมล็ดข้าวก็จะถูกย่อยให้เป็นกรดอะมิโนและเปปไทด์ อีกทั้งยังพบการสะสมสารเคมีที่สคัญชนิดต่าง ๆ เช่น ใยอาหาร (Fiber) แกมมาออริซานอล (Gamma Oryzanol) สารประกอบฟินอลิก (Phenolic Compound) กรดเฟอร์รูลิก (Ferrulic Acid) กรดไฟติก (Phytic Acid) อินโนซิทอล (Inositol) โคไตรอีนอล (Tocotrienols) แมกนีเซียม (Magnesium) โพแทสเซียม (Potassium) สังกะสี (Zine) และสารกาบา (GABA) (Tian et al., 2004; วรรณา ตั้งเจริญชัย และคณะ, 2549) การงอกนอกจากจะทำให้ได้ประโยชน์จากสารอาหารที่เพิ่มขึ้นแล้ว ยังทำให้ข้าวกล้องงอกที่หุงสุกมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มรับประทานได้ง่ายกว่าข้าวกล้องธรรมดา จึงง่ายแก่การหุงรับประทานได้โดยไม่ต้องผสมกับข้าวขาวตามความนิยมของผู้บริโภค (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2552)

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีระหว่างการงอก

เมื่อเมล็ดข้าวได้รับน้ำเข้าไปส่งผลให้ขบวนการสังเคราะห์ต่าง ๆ ภายในเซลล์เริ่มทำงาน โดยสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ สารที่ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นจะถูกขบวนการย่อยสลายและขบวนการลำเลียงสารอาหาร นำสารสังเคราะห์ที่สังเคราะห์และเก็บสะสมไว้ไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ ให้สามารถเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าที่ปกติ ซึ่งขบวนการต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) การสังเคราะห์สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์

สารที่จำเป็นต่อการทำงานของเซลล์ ได้แก่ เอนไซม์ ดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสร้างโปรตีนจะถูกชักนำในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้นด้วย เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องได้มาจาก 2 แหล่ง คือ เอนไซม์ที่ถูกสร้างขึ้นขณะเมล็ดกำลังเจริญเติบโต จะถูกกระตุ้นให้ทำงานเนื่องจากการเข้าไปของน้ำ เช่น อะไมเลส (Amylase) และกลูโคซิเดส (Glucocidase) เอนไซม์ 2 ตัวนี้พบทันทีหลังจากเมล็ดดูดซึมน้ำ แหล่งที่สองได้จากการเริ่มสังเคราะห์ขึ้นใหม่ โดยผ่านการควบคุมของกรดนิวคลีอิก (Nucleic Acid) โดยพบในเซลล์อะลิวโรน (Aleulone) ของเมล็ดข้าว เอนไซม์ที่สังเคราะห์ขึ้น ได้แก่ อะไมเลส (Amylase) ไรโบนิวคลิเอส (Ribonuclease) โปรทิเอส (Protease) และ ไลเปส (Lipase) เป็นต้น พลังงานที่ต้องใช้ในการสังเคราะห์โปรตีนต่าง ๆ ได้มาจาก เอทีพี (ATP) ซึ่งผลิตในไมโทคอนเดรียที่ตื่นตัวภายหลังจากเมล็ดได้รับน้ำเข้ามา (วันชัย จันทร์ประเสริฐ, 2538)

2) การย่อยสลายสารอาหารที่สะสมในเมล็ด

สารอาหารที่เมล็ดเก็บสะสมไว้ในส่วนเนื้อเยื่อสะสมอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมา คาร์โบไฮเดรตจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ไฮโดรเลส (Hydrolase) เช่น อะไมเลส (Amylase) และฟอสฟอริเลส (Phosphorylase) จากรูปน้ำตาลที่ไม่ละลายเป็นรูปน้ำตาลที่ละลายได้ ทำให้ข้าวกล้องงอกมีรสหวาน โปรตีนถูกย่อยโดยเอนไซม์โปรทิเอส (Protease) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สร้างขึ้นมาใหม่ระหว่างเมล็ดงอก จะได้กรดอะมิโนเกิดขึ้นหลายชนิด และที่สำคัญ คือ กรดแกมมาอะมิโนบิวทิริก (Gamma Amino Butyric Acid) หรือกาบา (GABA) (พัชรี ตั้งตระกูล และคณะ, 2549) ส่วนการย่อยสลายไขมันจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ไลเปส (Lipase) จะได้กรดไขมันและกลีเซอรอล (วันชัย จันทร์ประเสริฐ, 2538)

จากการสลายตัวของสารพอลิเมอร์ที่มี โมเลกุลขนาดใหญ่ต่าง ๆ เหล่านี้จึงทำให้เกิดสารชีวภาพที่มีคุณค่าต่อร่างกาย อีกทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสของข้าวกล้องงอกให้มีความนุ่มมากขึ้น นอกจากนี้ในข้าวกล้องยังมีใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน ซึ่งใยอาหารนี้ไม่ถูกย่อยในระบบทางเดินอาหารของคน จึงช่วยดูดซับสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) ซึ่งอาจเกิดขึ้นกับทางเดินลำไส้ อันเนื่องมาจากการกินอาหาร และช่วยป้องกันการดูดซึมน้ำตาลเข้าสู่เส้นเลือด จึงมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยโรคเบาหวาน และยังพบสารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิด เช่น วิตามินอี สารประกอบฟินอลิค โอไรซานอล ช่วยลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้ วิตามินที่พบได้แก่ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และไนอะซีน แร่ธาตุต่าง ๆ เช่น แมกนีเซียม แมงกานิส สังกะสี โคบอล ทองแดง ซิลิเนียมและ ไอโอดิน (พัชรี ตั้งตระกูล และคณะ, 2549)

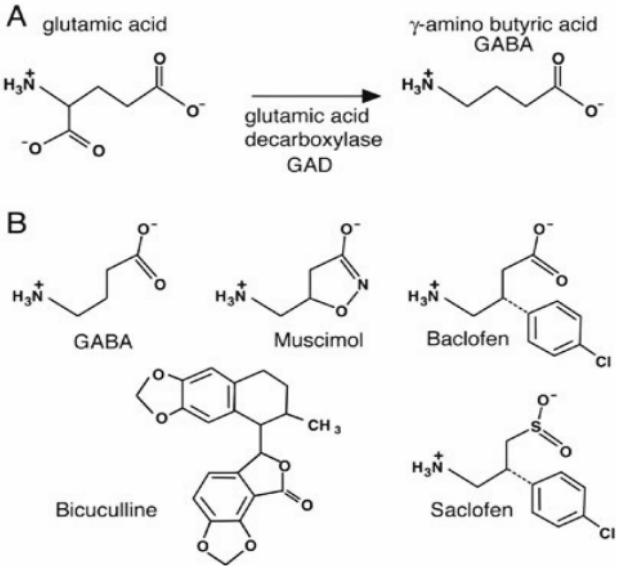
วรัมพร วงศ์สุดิน และคณะ (2555) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารสำคัญในข้าวกล้องงอก 3 ชนิด ได้แก่ ข้าวหอมนิล ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวดำที่ผ่านกระบวนการงอกที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลางอก 48 ชั่วโมง พบว่า ข้าวทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ผ่านกระบวนการงอกมีปริมาณวิตามินบี 1 สารพอลิฟีนอล และแกมมาอะมิโนบิวทาริคเพิ่มขึ้น 1 - 4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับธัญพืชที่ไม่ผ่านกระบวนการงอก นอกจากนี้ธัญพืชงอกยังมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ โดยข้าวกล้องงอกขาวดอกมะลิ 105 มีสมบัติการต้านอนุมูลอิสระสูงสุด

ยุพกนิษฐ์ พ่วงวีระกุล และวาสนา กล้าหาญ (2551) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณ วิตามินบี 1 และแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (สารกาบา) ในการผลิตข้าวงอกนึ่งขาวดอกมะลิ 105 ระดับโรงงานต้นแบบ พบว่า ในการผลิตข้าวงอก ปริมาณของวิตามินบี 1 และแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (สารกาบา) ขึ้นกับระยะเวลาของการแช่และการงอก ในการผลิตข้าวงอก การแช่ข้าวในน้ำที่มีค่าพีเอช 7.0 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้ข้าวมีปริมาณวิตามินบี 1 และสารกาบาเท่ากับ 0.619 และ 11.16 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ และระยะเวลาการงอกที่เหมาะสม คือ 72 ชั่วโมง ข้าวงอกมีปริมาณวิตามินบี 1 และสารกาบาเท่ากับ 1.264 และ 23.85 มิลลิกรัม/100 กรัม สำหรับการผลิตข้าวกล้องงอก หรือข้าวกาบา

โดยการทำการแช่ข้าวด้วยโซเดียมแอซีเทตบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 50 มิลลิโมลาร์ พีเอสเท่ากับ 6.0 พบว่า การแช่แบบข้าวมีเปลือกและแบบกะเทาะเปลือกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ข้าวมีปริมาณวิตามินบี 1 เท่ากับ 0.594 และ 0.477 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ และมีปริมาณกาบาเท่ากับ 10.73 และ 16.03 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่า ระยะการงอกที่เหมาะสมสำหรับการผลิตข้าวกาบาทั้งสองรูปแบบ คือ ที่ระยะเวลาการเพาะงอก 48 ชั่วโมง มีปริมาณกาบาสูงสุดเท่ากับ 19.75 และ 22.83 มิลลิกรัม/100 กรัม และมีวิตามินบี 1 เท่ากับ 1.005 และ 0.933 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ และพบว่า ความร้อนจากการแปรรูปและหุงต้มไม่มีผลในการลดปริมาณวิตามินบี 1 และสารกาบาอย่างมีนัยสำคัญ

2.6 สารกาบา

สารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (Gamma Aminobutyric Acid) หรือ “สารกาบา” (GABA) ถือว่าเป็นหัวใจของ “ข้าวกล้องงอก” (สุนัน ปานสาคร และจตุรงค์ ลังกาพินธุ์, 2556) จัดเป็นสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่พบได้ในข้าว นอกจากนี้ยังพบในพืชตระกูลถั่วและธัญพืชอื่น ๆ โดยในธัญพืชที่เริ่มงอกจะพบสารกลุ่มนี้มากขึ้น เนื่องจากสารกาบาเป็นเป็นกรดอะมิโนที่มีเกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายสสารอาหารในเมล็ดและถูกสังเคราะห์จากกระบวนการดีคาร์บอกซิเลชัน (Decarboxylation) ของกรดกลูตามิค (Glutamic Acid) ด้วยเอนไซม์กลูตาเมทคาร์บอกซิเลส (Glutamate Decarboxylase) ซึ่งจะเปลี่ยนจากกรดแอลกลูตามิก (L - Glutamic Acid) เป็นสารกาบา แสดงดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างสาร GABA

ที่มา: Jorgensen, 2005

สารกาบามีความสำคัญในการทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท (Neurotransmilter) ประเภทยับยั้ง (Inhibitor) ในระบบประสาทส่วนกลาง โดยทำหน้าที่รักษาสมดุลของสมองที่ได้รับการกระตุ้น หลักการทำงานของสารกาบา คือ เมื่อสมอง หรือระบบประสาทของมนุษย์เกิดความเครียด โดยอาจเกิดจากนอร์เอพิเนฟริน (Norepinephrine) หรืออิพิเนฟริน (Epinephrine) สารจำพวกนี้เป็นสารที่ทำให้ตื่นเต้น เกิดความเครียด วิตกกังวล หรือเกิดความกลัว และเพื่อลดอาการเหล่านี้ สมองจึงผลิตสารสื่อประสาท ซึ่งเป็นหนึ่งในสารกาบามีผลยับยั้งการกระตุ้นระบบของประสาท โดยจะทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมอง ทำให้สามารถต้านทานคลื่นกระตุ้นประสาทได้ดี ช่วยทำให้สมองผ่อนคลาย และนอนหลับสบาย หากในสมองมีสารกาบาน้อยเกินไปสมองจะคิดปรุงแต่งมากขึ้น ทำให้เกิดอาการวิตกกังวล เพราะหยุดคิด หรือควบคุมความคิดของตนเองไม่ได้ (ภคินี อัครเวสสะพงศ์ และคณะ, 2556; Miller, 2008) สารกาบายังช่วยกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนหน้าให้ผลิตฮอร์โมนในการเจริญเติบโต ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อกระชับ และเกิดสารไลโปรโทรบิค ช่วยย่อยและป้องกันการสะสมไขมัน (Ito and Ishikawa, 2004) จากการศึกษาและวิจัย พบว่า การบริโภคข้าวกล้องงอกซึ่งมีสารกาบามากกว่า ข้าวกล้องปกติถึง 15 เท่า สามารถป้องกันการทำลายสมองและโรคสูญเสียความทรงจำได้ ดังนั้นจึงได้มีการนำสารกาบามาใช้ในวงการแพทย์ เพื่อการรักษาโรคเกี่ยวกับระบบประสาทหลายโรค เช่น โรควิตกกังวล นอนไม่หลับ และโรคลมชัก เป็นต้น อีกทั้งผลการวิจัยด้านสุขภาพระบุว่า ข้าวกล้องงอกที่ประกอบด้วยสารกาบา ช่วยกระตุ้นต่อมไร้ท่อ ซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนในเจริญเติบโต ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อ ทำให้กล้ามเนื้อกระชับ ช่วยป้องกันการสะสมไขมัน ช่วยลดความดันโลหิต ช่วยลดไลโปรตีนโคเลสเตอรอลชนิดความหนาแน่นต่ำในเลือด ช่วยลดน้ำหนัก และทำให้ผิวพรรณดี (ภคินี อัครเวสสะพงศ์ และคณะ, 2556)

ระบบประสาทถูกสร้างขึ้นจากเซลล์ประสาท เซลล์ประสาทของแต่ละบุคคล ซึ่งทำหน้าที่เป็นสายไฟของร่างกาย สัญญาณประสาทจะถูกส่งผ่านตามความยาวของเซลล์ประสาทในรูปแรงกระตุ้นไฟฟ้า เมื่อแรงกระตุ้นเส้นประสาทที่มาถึงจุดสิ้นสุดของเซลล์ประสาทที่จะไม่สามารถกระโดดข้ามไปยังเซลล์ถัดไปได้ สารเคมีที่เรียกว่า สารสื่อประสาท ในระบบประสาทส่วนกลางประกอบด้วยสมองและเส้นประสาทไขสันหลัง สารสื่อประสาทผ่านจากเซลล์ประสาทไปยังเซลล์ประสาทในระบบประสาท ซึ่งถูกสร้างขึ้นจากเส้นประสาทที่วิ่งออกมาจากระบบประสาทส่วนกลางกับส่วนที่เหลือของร่างกายสัญญาณทางเคมีผ่านระหว่างเซลล์ประสาทและกล้ามเนื้ออยู่ติดกัน หรือเซลล์ต่อมกลูตาเมตและกาบาเป็นสารสื่อประสาทที่มีมากที่สุดในระบบประสาทส่วนกลางและโดยเฉพาะในเปลือกสมอง ซึ่งเป็นที่ที่ความคิดและความรู้สึกที่เกิดขึ้นจะถูกตีความ (Denver naturopathic clinic, 2013)

ชนิดของข้าวกล้องมีผลกับปริมาณสารกาบาในเมล็ดข้าวด้วยเช่นกัน โดยหากจะซื้อข้าวกล้องมาเพาะเป็นข้าวกล้องงอกเอง หรือแม้แต่การเลือกซื้อข้าวกล้องงอกสำเร็จรูปที่บรรจุถุงขายก็ตามท้องตลาด ควรคำนึงถึงชนิดของข้าวกล้องเหล่านั้นด้วย เพื่อให้ได้ข้าวกล้องงอกที่มีปริมาณสารกาบามากที่สุด เพราะข้าวกล้องทุกชนิดที่ไม่ผ่านการขัดสีจนขาว ทั้งข้าวกล้องที่เมล็ดเป็นสีดำ สีน้ำตาล หรือสีแดงจะมี

สารกาบาสูงอยู่แล้วเกือบทุกชนิด แต่จากผลการวิจัยเปรียบเทียบปริมาณสารกาบาในข้าวกล้องหลายสายพันธุ์พบว่า ข้าวกล้องแต่ละชนิดมีปริมาณสารกาบาแตกต่างกัน โดยจากเอกสารประกอบความเข้าใจเกี่ยวกับปริมาณกาบาในพันธุ์ข้าวไทยจากกรมการข้าวเปรียบเทียบความแตกต่างของสารกาบาในข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ เอาไว้ โดยระบุว่าในปริมาณ 100 กรัม ข้าวในหลากหลายสายพันธุ์ให้สารกาบาต่างกันดังนี้ ปริมาณ 100 กรัม แสดงดังตารางที่ 2.2 (ทีมข่าวเฉพาะกิจ, 2552; เธียรจรัส (นามแฝง), 2552; มณีรัตน์ ปัญญพงษ์, 2552; สุวิมล โต่นวุธ, 2552)

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของสารกาบาในข้าวสายพันธุ์ต่าง ๆ

ชนิดข้าว	สายพันธุ์	ปริมาณสารกาบา/ข้าว 100 กรัม
ข้าวกล้องข้าวเหนียว	สายพันธุ์ กข. 10	65.0 มิลลิกรัม
	สายพันธุ์สกลนคร	34.6 มิลลิกรัม
	สายพันธุ์ข้าวขาวโป่งไคร้	58.4 มิลลิกรัม
ข้าวกล้องข้าวเจ้า	สายพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105	37.3 มิลลิกรัม
	สายพันธุ์ข้าวขาวปทุมธานี 1	31.0 มิลลิกรัม
	สายพันธุ์ข้าวชัยนาท 1	28.8 มิลลิกรัม
	สายพันธุ์ข้าวสุพรรณบุรี	21.4 มิลลิกรัม
	สายพันธุ์ข้าวเหลืองประทิว 123	22.6 มิลลิกรัม
	พันธุ์ข้าวพลายงาม	23.4 มิลลิกรัม

มีการตรวจสอบผลกระทบจากการทำงานของสารกาบาที่มีต่อการผ่อนคลายและภูมิคุ้มกันในระหว่างที่มนุษย์มีอาการเครียด โดยศึกษา 2 แบบ คือ แบบที่ 1 จะประเมินผลกระทบจากสารกาบากับคลื่นสมองในผู้ทดสอบ 13 คน โดยทำการเก็บภาพคลื่นกระแสไฟฟ้าในแต่ละอาสาสมัคร หลังจากผ่านการทดสอบ 3 อย่าง คือ ดื่มน้ำเปล่า สารกาบา และแอลธีอะนีน ภายหลังจากทดสอบ 60 นาที ผู้ที่ทดสอบดื่มสารกาบาทำให้คลื่นอัลฟ่าเพิ่มขึ้นและคลื่นเบต้าลดลงเมื่อเทียบกับผู้ที่ดื่มเฉพาะน้ำเปล่าหรือ แอลธีอะนีน (L - Theanine) การทดสอบพบว่า สารกาบาไม่เพียงแต่ทำให้มีการผ่อนคลายเพิ่มขึ้นแต่ยังทำให้ความวิตก กังวลลดน้อยลง และแบบที่ 2 ศึกษาผลกระทบของสารกาบาที่มีต่อความผ่อนคลายและความกังวล ในการสร้างภูมิคุ้มกันในอาสาสมัครที่มีความเครียด 8 ผู้ทดสอบที่เป็นโรคกลัวความสูงถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ให้ทานยาหลอกกับใช้สากาบาจริง ผู้ทดสอบทุกคนสามารถระงับความเครียดได้ดีในระดับหนึ่ง ส่วนกลุ่มที่ได้รับยาหลอกพบว่า ระดับความเครียดไม่ลดลง สรุปได้ว่าสารกาบามีผลชัดเจนต่อความผ่อนคลายตามธรรมชาติ ซึ่งจะเห็นผลภายในหนึ่งชั่วโมง และจะทำให้เกิดความผ่อนคลายและลดความกังวลได้ (Pharma Foods International, 2006)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

จากการวิจัยต่าง ๆ พบว่า สารกาบาในข้าวกล้องงอกเป็นหนึ่งในกรดแอมิโนบิวทิริกที่ช่วยในการบำรุงประสาทได้จริง เมื่อสมอง หรือระบบประสาทของมนุษย์มีความเครียดมาก ๆ จะมีสารที่ทำให้ตื่นเต้น เกิดความเครียด ความวิตกกังวล หรือความกลัว ดังนั้น สารกาบาจะเข้าไปยับยั้งระบบประสาท โดยจะทำหน้าที่รักษาสมดุลในสมอง ทำให้สมองสามารถต้านทานคลื่นกระตุ้นประสาทได้ ช่วยทำให้สมองเกิดการผ่อนคลาย นอนหลับสบาย และยังเพิ่มภูมิคุ้มกันโรคภายใต้ความเครียดได้ (ชนากานต์ คามี และคณะ, ม.ป.ป.)

2.7 โยเกิร์ต

โยเกิร์ตเป็นภาษาตุรกี มีหลักฐานปรากฏว่าโยเกิร์ตมีต้นกำเนิดในราชสำนักของกษัตริย์ฟรานซิสแห่งฝรั่งเศส ตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 16 จนเมื่อ ค.ศ. 1907 นักวิทยาศาสตร์ ชื่อดังของโลกเขียนถึงโยเกิร์ตโดยกล่าวว่าโยเกิร์ต คือ ยาอายุวัฒนะสำหรับ คนยุโรปจึงหันมารับประทานโยเกิร์ตกันมากขึ้นเรื่อย ๆ จนมีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ในปี ค.ศ. 1919 ในกรุงบาร์เซโลนา ประเทศสเปน ปัจจุบันมีประชาชนทั่วโลกรับประทานโยเกิร์ตเป็นประจำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ (ภัคนางค์ ทองสุก, 2542) โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์นมหมักจากจุลินทรีย์ (Culture Product) ผลิตจากน้ำนมสด นมพร่องมันเนย หรือนมคืนรูป จุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักส่วนใหญ่จะมีบทบาทในระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ *Lactobacillus bulgaricus* และ *Streptococcus thermophiles* โดยจุลินทรีย์จะใช้น้ำตาลแลคโตสที่มีอยู่ในน้ำนม เพื่อการเจริญเติบโตและสร้างกรดแลคติกออกมา ทำให้โปรตีนในน้ำนมตกตะกอน มีลักษณะเป็นลิ่ม ลักษณะนุ่ม มีเนื้อสัมผัสกึ่งแข็งกึ่งเหลว ตะกอนที่ได้มีสีขาวถึงสีขาวนวล มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว รสชาติค่อนข้างเปรี้ยว ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตจะมีจุลินทรีย์ที่มีชีวิตอยู่ในปริมาณมากและมีปริมาณกรดค่อนข้างสูง (Tamine and Robinson, 1999) โดยมีความเป็นกรดอยู่ระหว่าง 3.8 - 4.6 (สุวรรณนา กิจภากรณ์, 2530) โยเกิร์ตที่ผลิตจากนมสดจะมีคุณค่าทางโภชนาการเทียบเท่านมสด โปรตีนที่ได้จากโยเกิร์ต คือ เคซีน เป็นโปรตีนที่มีคุณภาพสูง เพราะมีสารจำเป็นที่ร่างกายไม่สามารถสร้างเองได้หลายชนิด ได้แก่ กรดอะมิโนที่จำเป็น ซึ่งมีความสำคัญต่อระบบต่าง ๆ ในร่างกาย มีสารอาหารที่มีคุณค่ามากมายทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินเอ วิตามินบี แร่ธาตุสำคัญ ๆ เช่น แคลเซียม เหล็ก ฟอสฟอรัส และเชื้อจุลินทรีย์ *Lactobacillus spp.* ซึ่งช่วยให้ระบบทางเดินอาหารทำงานเป็นปกติ ดังงานวิจัยในหลายประเทศพบว่า โยเกิร์ตสามารถป้องกันอาการท้องอืด อาหารไม่ย่อย หรือท้องเดินเมื่อดื่มนม ซึ่งเกิดจากการขาดน้ำย่อยที่ใช้ในการย่อยน้ำตาลแลคโตสในนมสด ในโยเกิร์ตมีจุลินทรีย์ *Lactobacillus spp.* ช่วยย่อยน้ำตาลให้เปลี่ยนเป็นกรด จึงช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ สำหรับผู้ที่หยุดดื่มนมเป็นระยะเวลานาน ๆ (โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา, 2543) มีการศึกษาทั้งในญี่ปุ่น อิตาลี และสวิตเซอร์แลนด์พบว่า การรับประทานโยเกิร์ต หรือนมเปรี้ยวเป็นประจำจะช่วยกระตุ้นการทำงานของระบบภูมิคุ้มกันโรคในร่างกาย เนื่องจากช่วยเพิ่มการสร้างสารอินเตอร์เฟอรอนถึง 3 เท่า ปกติสารตัวนี้เป็นสารเคมีที่ร่างกายสร้างขึ้นเองได้ ช่วยต่อสู้กับเชื้อโรคหลายชนิด ควบคุมคอเลสเตอรอล

ในเลือด และยังอุดมไปด้วยไขมันธรรมชาติที่มีฤทธิ์คล้ายฮอร์โมน ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันผนังกระเพาะอาหารจากสารกระตุ้น เช่น แอลกอฮอล์ บุหรี่ เป็นต้น ช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคมะเร็งและเนื้องอกในลำไส้ใหญ่ (จารุวรรณ์ ศิริพรรณพร และคณะ, 2543ก)โยเกิร์ตสามารถบริโภคได้ทุกเพศทุกวัยโดยเฉพาะเพศหญิง เพื่อให้ได้รับแคลเซียมในปริมาณที่เหมาะสมและยังมีประโยชน์สำหรับกลุ่มคนที่ไม่สามารถดื่มนมได้ตามปกติ เนื่องจากร่างกายคนเหล่านั้นไม่มีน้ำย่อยแลคเตสสำหรับย่อยน้ำตาลแลคโตสในนมได้ เมื่อน้ำตาลแลคโตสไม่ถูกย่อยสลายผ่านไปลำไส้ใหญ่ จุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่จะสร้างน้ำย่อยเกิดเป็นกรดและแก๊ส ทำให้มีอาการไม่สบายท้องและท้องเสียได้ จึงให้รับประทานนมเปรี้ยวและโยเกิร์ตแทน อย่างไรก็ตามก็มีข้อควรระวังในกลุ่มเด็กเล็ก เพราะการรับประทานโยเกิร์ต ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลค่อนข้างสูงและมีสารอาหารจากนมน้อยกว่าชนิดครีมที่ไม่ผสมผลไม้ จะทำให้เด็กได้รับปริมาณน้ำตาลมากเกินพอทำให้มีภาวะน้ำหนักเกินได้ การรับประทานที่เหมาะสมจะส่งผลดีต่อร่างกาย ควรรับประทานในปริมาณใกล้เคียงกับการดื่มนม คือ วันละ 2 ถ้วย ซึ่งจะทำให้ได้แคลเซียม 400 - 500 มิลลิกรัม และเมื่อได้รับแคลเซียมจากอาหารอื่น ๆ ด้วยก็จะเพียงพอกับความต้องการแคลเซียมของร่างงกายในแต่ละวัน (Health Medicare, 2013) ในระยะแรก ๆ ไม่มีมาตรฐานที่แน่นอนในการกำหนดคุณภาพโยเกิร์ต ต่อมามีการแบ่งชนิดโยเกิร์ตเป็นโยเกิร์ตชนิดคงตัว และโยเกิร์ตชนิดคนขึ้น หรืออาจแบ่งออกตามลักษณะของปริมาณ ไขมัน เช่น ไขมันเต็ม, ไขมันปานกลาง และไขมันต่ำ โยเกิร์ตทุกชนิดจะต้องมีปริมาณกรดและจุลินทรีย์ดังนี้ ค่าความเป็นกรด - ด่าง ต้องต่ำกว่า 4.5 ไม่มีน้ำย่อยฟอสฟาเทสเหลืออยู่เลย ไม่มีเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ใน 0.1 มิลลิลิตรและจำนวนยีสต์ รา และแบคทีเรียต้องต่ำกว่า 100 โคโลนี/100 CFU มาตรฐานกฎหมายของโยเกิร์ตขึ้นกับองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ เช่น ค่าเปอร์เซ็นต์ของไขมัน ปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (Solid - Not - Fat; SNF) หรือปริมาณของแข็งทั้งหมดตามที่มาตรฐานของ FAO/WHO กำหนดให้แบ่งชนิดของโยเกิร์ตตามปริมาณไขมันดังนี้ โยเกิร์ตไขมันเต็มมีปริมาณไขมันสูงกว่า 3.0 เปอร์เซ็นต์ โยเกิร์ตไขมันปานกลางมีปริมาณไขมัน 0.5 - 3.0 เปอร์เซ็นต์ และโยเกิร์ตไขมันต่ำมีปริมาณไขมันต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ (FAO/WHO, 1984)

2.7.1 ชนิดโยเกิร์ต

ชนิดของโยเกิร์ตสามารถแบ่งได้หลายแบบ ไม่ว่าจะเป็นการแบ่งตามกรรมวิธีการผลิตและการแบ่งตามกลิ่นรส ดังนี้

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

1) แบ่งตามกรรมวิธีการผลิต

การผลิตโยเกิร์ตในอุตสาหกรรมมี 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ โยเกิร์ตชนิดคงตัวและโยเกิร์ตชนิดคน (อุราภรณ์ เรืองวัชรินทร์, 2547)

- โยเกิร์ตชนิดคงตัว (Set Yogurt)

เป็นการผลิตโยเกิร์ต โดยเพาะเชื้อในน้ำนม แล้วบรรจุลงในภาชนะบ่มจนมีลักษณะแข็งเป็นก้อน ถ้าคนจะกลายเป็นของเหลวไประยะหนึ่งและในที่สุดจะแข็งตัวตามเดิม เป็นผลิตภัณฑ์ที่

เกิดจากการหมักขึ้นในภาชนะบรรจุ (สำหรับจำหน่ายปลีก) ลักษณะของมวลตะกอน ที่ได้เป็นมวลเนื้อเดียวกันที่ต่อเนื่องและมีลักษณะเป็นของแข็งกึ่งเหลว

ขั้นตอนการผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัว เริ่มจากทำการพาสเจอร์ไรซ์นมแล้วทำให้เย็นลงที่ 45 องศาเซลเซียส โดยไม่มีฟองอากาศเติมหัวเชื้อลงไปทันที (เท่ากับ 2.5 ลิตร/นม100 ลิตร) คนให้เข้ากันแล้วจึงบรรจุในถ้วยพลาสติกขนาด 110 มิลลิลิตร ถึง 250 มิลลิลิตร เก็บไว้ 2.5 ชั่วโมงถึง 3 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ค่าความเป็นกรด - ด่างที่ 4.6 แล้วทำให้เย็นที่ 4 องศาเซลเซียสตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแยกตัวออกจากโครงสร้างของโปรตีน และเพื่อให้ได้ค่าความหนืดสูงสุด ภายหลังที่ผลิตแล้วควรจะเก็บไว้ 24 ชั่วโมง ก่อนนำออกจำหน่าย เพื่อให้โยเกิร์ตที่ได้มีความแน่นเนื้อที่ดี

- การผลิตโยเกิร์ตชนิดคน (Stirred Yogurt)

เป็นการผลิตโยเกิร์ตโดยเติมเชื้อในนมแล้วบ่มในถังหมักเมื่อนมแข็งตัวเป็นก้อนแล้วทำการปั่น เพื่อทำลายในโครงสร้างตะกอนนม แล้วจึงบรรจุลงในภาชนะทำให้โยเกิร์ตที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลว ถ้าคนมากความหนืดจะลดลง เมื่อตั้งทิ้งไว้ในอุณหภูมิต่ำความหนืดจะกลับคืนมา โยเกิร์ตชนิดคนนี้เทได้ง่าย ลักษณะของมวลตะกอนที่ได้จะแตก หรือแยกกันก่อนที่จะนำไปให้ความเย็น หรือบรรจุ ตัวอย่างเช่น นมเปรี้ยว หรือโยเกิร์ตชนิดเหลวซึ่งมีปริมาณของแข็งเพียง 11 เปอร์ณซ็นต์ หรือน้อยกว่า เป็นต้น (Rousseav, 1974) โยเกิร์ตชนิดคนจะใช้เชื้อในการหมักน้อยกว่าโยเกิร์ตชนิดคงตัว (25 มิลลิลิตร/นม100 ลิตร) โดยทำการหมักที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส หลังจากเติมเชื้อในการหมักแล้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 16 - 18 ชั่วโมง เพื่อให้ได้ค่าความเป็นกรดที่ระดับ 4.6 จะได้มวลตะกอน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเวย์ ไขมัน แลคโตส และอื่น ๆ ในระหว่างการทำเย็น หรือทำให้เย็นควรคนเบา ๆ ไปเรื่อย ๆ พวกโพลีแซคคาไรด์จะเกิดขึ้นในระหว่างที่เติมเชื้อในการหมัก และจะรวมกับโครงสร้างของโปรตีนทำให้ได้โครงสร้างของโยเกิร์ตที่มีความหนืดและเนื้อเนียนเรียบ ในระหว่างการบรรจุควรควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 25 องศาเซลเซียส และเก็บไปไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส ถ้าสูงกว่านี้โยเกิร์ตจะมีรสเปรี้ยว ควรผลิตภายใน 48 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำออกไปจำหน่าย เพื่อให้ได้ความหนืดที่พอเหมาะ

2) แบ่งตามกลิ่นรสและการปรุงแต่ง

โยเกิร์ตสามารถแบ่งตามกลิ่นรสและการปรุงแต่งได้เป็น 4 แบบ คือ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

- โยเกิร์ตแบบธรรมดา (Plain หรือ Natural Yoghurt) เป็นโยเกิร์ตที่ผลิตได้ตามวิธีดั้งเดิมมีรสชาติเปรี้ยว ไม่มีการเติมกลิ่นรส หรือผลไม้ลงไป

- โยเกิร์ตรสผลไม้ (Fruit หรือ Flavored Yoghurt) เป็นโยเกิร์ตแบบหนึ่ง ซึ่งมีการเติมผลไม้และสารให้ความหวาน หรือมีการเติมกลิ่นรสและสีแทนส่วนของผลไม้ แบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบสวิส (Swiss Style) ซึ่งเป็นโยเกิร์ตที่มีเนื้อผลไม้ผสมรวมกระจายอยู่ในเนื้อโยเกิร์ต อีกแบบ คือ แบบซันเดย์ (Sundae Style) ซึ่งมีเนื้อผลไม้อยู่บริเวณก้นภาชนะ เช่น ส้ม สับปะรด สตรอเบอร์รี่ เป็นต้น การเติมผลไม้ชนิดต่าง ๆ นอกจากเป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคแล้ว ยังทำเป็นการเพิ่มปริมาณแร่ธาตุ

ให้กับโยเกิร์ต ซึ่งโดยทั่วไปพบ ทองแดง เหล็ก และแมงกานีส (Segarra et al., 2000)

- โยเกิร์ตที่ผสมน้ำตาล (Sweetened Yoghurt) เป็นโยเกิร์ตที่มีน้ำตาลผสมอยู่ด้วย เพื่อให้เกิดรสหวานชวนรับประทาน

- โยเกิร์ตพร้อมดื่ม (Drinking Yoghurt) เป็นโยเกิร์ตผสมกับน้ำผลไม้ในอัตราส่วน 1 : 1 แล้วนำมาผ่านการฆ่าเชื้อ โยเกิร์ตชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นน้ำสะดวกต่อการดื่ม มีรสเปรี้ยวตามธรรมชาติ ส่วนสีและกลิ่นจะเป็นไปตามน้ำผลไม้ที่ผสม

3) แบ่งตามองค์ประกอบทางเคมี

ชนิดของโยเกิร์ตอาจขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์นั้น เช่น ปริมาณไขมัน (Fat) ปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่น้ำมัน (Solid-Non-Fat หรือ SFN) หรือปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid หรือ TS) ตามมาตรฐาน FAO/WHO ซึ่งกำหนดให้แบ่งชนิดของโยเกิร์ตตามปริมาณไขมัน (FAO/WHO, 1984; Tamine and Robinson, 1999) คือ

- Full Yoghurt/Yoghurt หมายถึง โยเกิร์ตที่มีปริมาณไขมันสูงกว่า 3.0 เปอร์เซ็นต์

- Medium Youghurt/Partially Skimmed Yoghurt หมายถึง โยเกิร์ตที่มีปริมาณไขมันประมาณ 3.0 - 5.0 เปอร์เซ็นต์

- Low Yoghurt/Skimmed Yoghurt หมายถึง โยเกิร์ตที่มีปริมาณไขมันต่ำกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์

2.7.2 กรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ต

กรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ตนั้นในขั้นต้มน้ำนมดิบจะต้องทำการปรับมาตรฐานเสียก่อน เพื่อให้ได้เปอร์เซ็นต์ไขมันและของแข็งไม่รวมไขมันได้ตามต้องการ ถ้ามีเปอร์เซ็นต์ของไขมันสูงจะทำให้กลิ่นและรสชาติดีขึ้น ตามกฎหมายค่าเปอร์เซ็นต์ของของแข็งไม่รวมไขมันจะต้องมีอย่างน้อย 8.1 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้มีความหนืดพอเหมาะจะต้องเพิ่มของแข็งไม่รวมไขมันของน้ำนมประมาณ 12 - 16 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้จากการระเหยเอาน้ำออกจากน้ำนม หรือเติมนมผง 3 - 4 เปอร์เซ็นต์ หรือนมผงเวย์ 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ หรือผงเคซีน 1 - 2 เปอร์เซ็นต์ นมผงเหล่านี้ต้องเป็นนมผงที่มีคุณภาพดี และละลายในน้ำนมได้ดี ในการทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยกรรมวิธีกรผลิตโยเกิร์ตทั่วไปมีดังนี้ (Tamine and Robinson, 1999)

1) การเตรียมส่วนผสมเบื้องต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื่องจากองค์ประกอบของน้ำนมแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำมาผ่านการหมักจะทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีคุณภาพแตกต่างกัน เช่น เมื่อไขมันในนมมีปริมาณสูงกว่า จะให้โยเกิร์ตที่มีความเป็นครีมสูงตามไปด้วย เป็นต้น นอกจากนี้แล้วน้ำตาลแลคโตสที่มีอยู่ในนมจะถูกใช้เป็นแหล่งอาหารของหัวเชื้อโยเกิร์ต ส่วนโปรตีนก็เป็นสาเหตุที่ทำให้การเกิดการตกตะกอนเป็นมวลตะกอน ซึ่งมีผลต่อความหนืดของผลิตภัณฑ์ สัดส่วนของปริมาณของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน ได้แก่ น้ำตาลแลคโตส โปรตีน และเกลือแร่ในนมที่ใช้ในกระบวนการผลิตโยเกิร์ต จะมีผลโดยตรงต่อคุณสมบัติทางกายภาพและกลิ่นรสของโยเกิร์ต โดยเฉพาะความหนืดของมวลตะกอน โดยทั่วไปปริมาณของแข็งในของผสมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ตสูงใน

ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้จะมีความหนืดสูงตามไปด้วย โยเกิร์ตที่มีคุณภาพดีได้จากนมที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 15 - 16 เปอร์เซ็นต์ ถ้าปริมาณของแข็งทั้งหมดในของผสมที่เตรียมโยเกิร์ตสูงกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปจะทำให้ความชื้นลดลงและมีผลต่อกิจกรรมของเชื้อลดลง การเพิ่มปริมาณของแข็งอาจจะกระทำได้โดยอาศัยวิธีการต่าง ๆ เช่น การให้ความร้อน เพื่อเพิ่มความเข้มข้น การเติมนมผง เคซีนอีน ผงเวย์ หรือผงเนยจากนม เป็นต้น

นอกจากนี้อาจจะมีการเติมสารให้ความคงตัวและสารให้ความหวานในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต วัตถุประสงค์หลักในการเติมสารคงตัว (Stabilizers) ในส่วนผสมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ต คือ เพื่อรักษาให้ลักษณะเฉพาะตัวที่ต้องการในโยเกิร์ตให้คงอยู่ หรือเพิ่มขึ้น เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ความหนืด ลักษณะปรากฏด้านโครงสร้างของเจลและช่วยลดปัญหาการแยกชั้นของหางนม เป็นต้น นอกจากนี้สารคงตัวยังช่วยเพิ่มอายุการเก็บรักษาและทำให้ผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ โดยทำให้เจลในน้ำมีปริมาณน้ำอิสระสำหรับการเกิดการแยกชั้นของหางนมลดลง (นิตยกานต์ บุญหมั้น, 2544) คุณสมบัติที่ดีของสารคงตัว คือ ไม่มีมีกลิ่น มีประสิทธิภาพสูงในช่วงความเป็นกรดต่ำ และกระจายตัวได้ดีในอุณหภูมิที่ใช้ในการหมักนม สำหรับสารคงให้ความตัวที่นิยมใช้ เช่น เจลาติน กัมจากธรรมชาติ ได้แก่ คาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส โลคัสบีนกัม กัวร์กัม และซีวีดกัม ได้แก่ อัลจิเนตและคาราจีแนน เป็นต้น สารคงตัวเหล่านี้อาจใช้เพียงสารประกอบชนิดเดียว หรือสารประกอบผสมหลายชนิด ซึ่งสารประกอบแบบหลายชนิดจะเป็นที่นิยมในการค้า เนื่องจากสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตหลายชนิด สารให้ความคงตัวที่ใช้ (Sayed et al., 2002; Younus et al., 2002) ได้แก่

- โซเดียมอัลจิเนต (Sodium Alginate) เป็นสารประกอบคอลลอยด์อีกชนิดหนึ่งที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดงมักใช้ร่วมกับสารคงตัวชนิดอื่นโดยใช้ประมาณ 0.02 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ในการใช้ควรให้ความร้อนส่วนผสมจนถึง 68.3 - 71.1 องศาเซลเซียส เพื่อให้ละลาย (De Ruiter and Rudolph, 1997)

- โซเดียมคาร์บอกซีเมทธิลเซลลูโลส (Sodium Carboxyl Methyl Cellulose) ใช้กันมากในปัจจุบัน สามารถละลายได้ง่ายในน้ำเย็น ซึ่งการใช้สารดังกล่าวจะมีผลให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีลักษณะเหนียว (Marshall and Arbuckle, 1996) ปริมาณที่ใช้ผันแปรระหว่าง 0.15 - 0.20 เปอร์เซ็นต์ นิยมใช้ร่วมกับคาราจีแนน โลคัสบีนกัม กัวกัม (Fedderson and Trop, 1993)

- สารให้ความคงตัวประเภทกัม (Gum -Type Stabilizers) เช่น โลคัสบีนกัม (Locust Bean Gum) และกัวกัม (Guar Gum) เป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ที่ได้จากพืช โดยกัวกัมจะมีข้อได้เปรียบกว่า คือ ละลายได้ดีในน้ำเย็น แต่โลคัสบีนกัมนั้นจะต้องให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส 15 นาที จึงจะละลาย

- เจลาติน (Gelatin) เป็นสารให้ความคงตัวชนิดแรกที่ผลิตขึ้นในทางการค้า ปริมาณของเจลาตินที่ใช้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น แหล่งที่มาของเจลาติน ความแข็งแรงของเจล ค่าความหนืด เป็นต้น (Duchene and Jones, 2005)

- วุ้น (Agar) เป็นสารประกอบไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากสาหร่ายสีแดง มักใช้เป็นสารให้ความคงตัวในไอศกรีมเชอร์เบทและไอซ์ โดยใช้ร่วมกับกัมและเจลาติน ปกติจะไม่ละลายในน้ำเย็นแต่ละลายได้ดีในน้ำร้อนอุณหภูมิตั้งแต่ 85 องศาเซลเซียสขึ้นไป (Marshall and Arbuckle, 1996)

Belgin et al. (2003) ได้ทำการศึกษาการใช้โลคัสบีนกัม (Locust Bean Gum) ในโยเกิร์ตไขมันต่ำชนิดคงตัวพบว่า ช่วยลดค่าการแยกตัวของน้ำในโยเกิร์ต เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ใช้นมผงเป็นส่วนผสมหลังการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน

Fiszman et al. (1999) ทำการทดลองเติมเจลาตินลงในส่วนผสมน้ำนมสำหรับผลิตโยเกิร์ตทำให้ได้โยเกิร์ตที่มีลักษณะเป็นเจลแข็งแรงปานกลาง ระดับการแยกชั้นของน้ำหางนมลดลง แต่เนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตที่ได้นี้ค่อนข้างแข็งกว่าโยเกิร์ตที่ไม่เติมเจลาติน

2) การทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

หลังการปรับส่วนผสมของนมที่ใช้ในการเตรียมโยเกิร์ต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการแล้ว จะต้องนำมาผ่านกระบวนการที่ทำให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยให้เกิดระบบอิมัลชัน ทั้งนี้กระบวนการดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยการให้นมผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ด้วยความเร็วสูงโดยผ่านช่องเปิดเล็ก ๆ ภายใต้ความดันสูง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของนมด้านเคมีและกายภาพที่จะนำไปเตรียมโยเกิร์ต การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายหลังการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันมีผลทำให้เนื้อสัมผัสที่ได้หลังการหมักมีเนื้อเนียนมากขึ้น มีกลิ่นรสที่เป็นครีม และช่วยลดการเกิดครีมที่ผิวหน้า หรือการแยกชั้นของน้ำหางนม

3) การให้ความร้อน

การให้ความร้อนเป็นขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่ง นอกจากเพิ่มความเข้มข้นของนมแล้วยังมีผลต่อส่วนผสมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ตดังต่อไปนี้ (นิตยกานต์ บุญหมั่น, 2544)

- ทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคหรือจุลินทรีย์อื่น ๆ ที่ไม่ต้องการ ซึ่งความร้อนที่ใช้มักเพียงพอต่อการทำลายเซลล์จุลินทรีย์ที่อยู่ในนมดิบเท่านั้น แต่สปอร์ หรือเอนไซม์ที่ทนความร้อนได้ยังคงมีเหลืออยู่ในนม อย่างไรก็ตามนมที่ผ่านความร้อนจะเป็นแหล่งเจริญเติบโตที่ดีของหัวเชื้อโยเกิร์ต

- กำจัดอากาศที่มีอยู่ในนม เพื่อทำให้สภาวะแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อแลคติคแอซิดแบคทีเรียมากยิ่งขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ชนิดนี้ต้องการอากาศปริมาณน้อย

- เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของนม โดยทำให้โปรตีนของน้ำหางนมที่มีอยู่ในนม ซึ่งได้แก่ พวกอัลบูมินและโกลบูลินที่เสียสภาพแล้วตกตะกอน นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดการรวมตัวของโมเลกุลเคซีนเกิดเป็นร่างแหในลักษณะสามมิติขึ้นมา โดยร่างแหนี้จะจับโปรตีนของน้ำ

หางนมแล้วทำให้โยเกิร์ตที่ได้มีความหนืดมากกว่าเดิม

- มีความเหมาะสมสำหรับการเจริญของหัวเชื้อแลคติคแบคทีเรีย ที่มีกิจกรรมหมักที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง 40 - 50 องศาเซลเซียส

- ทำให้โปรตีนในนมถูกทำลาย เกิดสารที่เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง ซึ่งอาจเป็นสารที่เร่งกิจกรรมของหัวเชื้อแลคติคแอซิดแบคทีเรีย

การให้ความร้อนแก่นมสามารถเร่ง หรือยับยั้งกิจกรรมของหัวเชื้อแลคติคแอซิดแบคทีเรียได้ ทั้งนี้ขึ้นกับช่วงของอุณหภูมิและเวลาดังนี้ (Tamine and Robinson, 1999)

- นมที่ผ่านการให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 62 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีและ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที จะช่วยเร่งการเจริญของหัวเชื้อแลคติคแอซิดแบคทีเรีย

- นมที่ผ่านการให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 72 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที 82 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 - 120 นาที และที่ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 45 นาที จะส่งผลยับยั้งการเจริญของหัวเชื้อแลคติคแอซิดแบคทีเรีย

- นมที่ผ่านการให้ความร้อนถึง 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 - 180 นาที หรือภายใต้ความดันที่ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 - 30 นาที จะช่วยเร่งการเจริญของหัวเชื้อแลคติคแอซิดแบคทีเรีย

- นมที่ผ่านการให้ความร้อนภายใต้ความดันที่ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลานานกว่า 30 นาที จะส่งผลยับยั้งการเจริญของหัวเชื้อแลคติคแอซิดแบคทีเรีย ปกติอุณหภูมิในการให้ความร้อนแก่นมโยเกิร์ต อาจใช้ตั้งแต่ระดับอุณหภูมิพาสเจอร์ไรซ์ 72 องศาเซลเซียส 15 วินาที จนถึงอุณหภูมิยูเอชที 133 องศาเซลเซียส 1 วินาที

4) กระบวนการหมัก

นมที่ผ่านการให้ความร้อน จะต้องทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วจึงส่งไปยังถังหมัก เพื่อทำการหมักด้วยหัวเชื้อที่เตรียมขั้นต่อไป หัวเชื้อโยเกิร์ตจะประกอบด้วยหัวเชื้อสายพันธุ์ผสมของ *L. bulgaricus* และเชื้อ *S. thermophilus* ในอัตราส่วนที่เท่ากัน โดยทั่วไปหัวเชื้อใช้ประมาณ 0.5 - 2 เปอร์เซ็นต์ หลังการถ่ายเชื้อแล้วจะทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 - 44 องศาเซลเซียส 4 - 6 ชั่วโมง หรือที่ 32 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง สภาพที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของหัวเชื้อสายพันธุ์ผสม คือ การหมักที่อุณหภูมิ 40 - 45 องศาเซลเซียส (วราวุฒิ ครูส่ง และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2532)

ขั้นตอนของการหมักจะเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ ในกรณีที่ผลิตโยเกิร์ตชนิดคงตัวจะเกิดการหมักในภาชนะบรรจุที่จะจำหน่ายปลีก หรือในกรณีของโยเกิร์ตชนิดคนจะเกิดการหมักขึ้นในถังหมักใหญ่ จนกระทั่งการหมักเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้วจึงนำไปบรรจุ เพื่อวางจำหน่ายต่อไป ไม่ว่าลักษณะการผลิตโยเกิร์ตจะเป็นลักษณะใดก็ตาม การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของการเกิดเจลของมวลตะกอนจะมีลักษณะเหมือนกัน จะแตกต่างกันเพียงคุณสมบัติของการไหลของมวลตะกอน ซึ่ง

ลักษณะเนื้อของโยเกิร์ตที่ได้จากโยเกิร์ตชนิดคงตัวจะไม่ถูกรบกวน เจลที่ได้จึงเป็นมวลของแข็งกึ่งเหลวตลอดทั้งภาชนะบรรจุ ในขณะที่โยเกิร์ตชนิดคนจะเป็นเจลที่มีลักษณะแตกจากกัน เมื่อสิ้นสุดการหมักก่อนที่จะทำให้เย็น (อุราภรณ์ เรืองวัชรินทร์, 2547)

5) การทำให้เย็น

เนื่องจากการผลิตโยเกิร์ตเป็นกระบวนการทางชีวภาพ การทำให้เย็นจึงเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการควบคุมกิจกรรมของหัวเชื้อและเอนไซม์ การให้ความเย็นแก่มวลตะกอน จะเริ่มตั้งแต่ผลิตภัณฑ์มีระดับความเป็นกรดตามต้องการประมาณ 4.6 หรือความเข้มข้นของกรดแลคติกประมาณ 0.9 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของโยเกิร์ตที่ผลิต วิธีให้ความเย็น และประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อน ประกอบกับจุดประสงค์หลักของการทำให้มวลตะกอนเย็นลงทันทีจากอุณหภูมิ 30 - 45 องศาเซลเซียส ให้เหลือต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เพื่อควบคุมระดับความเป็นกรดสุดท้ายในผลิตภัณฑ์ เนื่องจากที่อุณหภูมิประมาณ 10 องศาเซลเซียส สามารถยับยั้งกิจกรรมของหัวเชื้อโยเกิร์ตได้ (วันเพ็ญ จิตรเจริญ, 2542)

6) การเติมองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสและสี

การเติมองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสและสี เพื่อเพิ่มความนิยมให้แก่ผู้บริโภคขึ้นกับชนิดของโยเกิร์ตที่ต้องการ สารที่ใช้เติมเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าว ในอุตสาหกรรมการผลิตโยเกิร์ต ได้แก่ ผลไม้ สารให้กลิ่น สี และสารประกอบอื่น ๆ เช่น น้ำผึ้ง ถั่วต่าง ๆ มะเขือเทศ กาแฟ เป็นต้น ในทางอุตสาหกรรมนิยมทำให้โยเกิร์ตเย็นลงที่อุณหภูมิ 15 - 20 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะนำไปผสมกับผลไม้หรือกลิ่นรส จากนั้นจึงบรรจุเก็บไว้ห้องเย็นเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป อย่างไรก็ตามแม้ว่ากรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ตจะมีผลต่อคุณภาพของโยเกิร์ตแต่ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกัน คือ จุลินทรีย์ที่ใช้ในโยเกิร์ต (นิตยกานต์ บุญหมั้น, 2544)

2.7.3 จุลินทรีย์ในโยเกิร์ต

จุลินทรีย์ในโยเกิร์ต (Microbiology of Natural Yogurt) การเจริญของจุลินทรีย์เป็นปัจจัยหนึ่งในกรรมวิธีการผลิตโยเกิร์ต ซึ่งจะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับการเจริญของเชื้อ ตลอดจนเรียนรู้หาอัตราการเจริญ และเข้าใจถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญของเชื้อ สิ่งเหล่านี้เป็นความรู้เบื้องต้นที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต (ภาคจุลชีววิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542) ในการผลิตโยเกิร์ต หัวเชื้อเป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ลักษณะที่ต้องการของหัวเชื้อโยเกิร์ต คือ ปลอดจากการปนเปื้อน เจริญได้ดีในส่วนผสมของนมที่ใช้เตรียมโยเกิร์ต ให้กลิ่นรสที่ต้องการโครงสร้างลักษณะเนื้อดี โดยทั่วไปนิยมใช้หัวเชื้อผสมของ *L. bulgaricus* และเชื้อ *S. thermophiles* การเจริญของจุลินทรีย์ในหัวเชื้อโยเกิร์ตมีการเจริญแบบพึ่งพากัน (Meyer et al., 1975) คือ ที่อุณหภูมิการหมัก 40 องศาเซลเซียส เชื้อ *Streptococcus* จะเจริญได้ดีและสร้างไดอะเซทิล (Diacetyl) และสารประกอบที่คล้ายกัน ซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของโยเกิร์ต เชื้อ *S. thermophilus* จะเติบโตได้ดีในระยะ แรกของการหมัก จะมีการสร้าง

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

กรดแลคติกขึ้น และยังสร้างกรดฟอร์มิกเพื่อกระตุ้นการเติบโตของเชื้อ *L. bulgaricus* (Walstra et al., 1999) โดยเชื้อ *L. bulgaricus* จะนำกรดฟอร์มิกนี้ไปใช้ในการสร้างสารให้กลิ่น รส ได้แก่ ไดอะเซทิล และอะเซทิลดีไฮด์ ซึ่งเป็นสารที่ให้กลิ่น รส เฉพาะของโยเกิร์ต (Murti et al., 1992) นอกจากนั้นเชื้อ *S. thermophiles* ยังช่วยกำจัดออกซิเจนออกจากนม ซึ่งหากเหลืออยู่จะก่อให้เกิดไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ซึ่งจะไปยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตได้ การเจริญของเชื้อ *S. thermophilus* จะดำเนินต่อไปจนกระทั่ง pH เท่ากับ 5.5 จะผลิตสารอาหารที่เหมาะสำหรับการเจริญของเชื้อ *Lactobacillus* spp. เช่น กรดอะมิโนและกรดฟอร์มิก เป็นต้น ไปช่วยในการเจริญของเชื้อ *Lactobacillus* ให้เจริญต่อจาก *S. thermophiles* ในช่วงหลังของการผลิตโยเกิร์ต เชื้อ *Lactobacillus* spp. มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่ 45 องศาเซลเซียส และผลิตกรดแลคติกในปริมาณที่มากพอที่จะสร้างอะเซทิลดีไฮด์ ซึ่งให้กลิ่นรสเฉพาะตัวของโยเกิร์ตได้ โยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสดีจะมีปริมาณของอะเซทิลดีไฮด์ เท่ากับ 23 - 41 ส่วนในล้านส่วน (ppm) คิดเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ ของสารประกอบที่ให้กลิ่นทั้งหมด อย่างไรก็ตามเชื้อ *S. thermophiles* ก็สามารถสร้างสารให้กลิ่นรสพวกอะซิตัลดิไฮด์ได้เช่นกัน แต่ปริมาณที่ได้จากเชื้อ *S. thermophilus* แต่จะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อ *Lactobacillus* spp. (วราวุฒิ ครูส่ง และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2532)

2.7.4 การเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีของการหมักโยเกิร์ต (Tamine and Robinson, 1999)

แนวทางการเปลี่ยนแปลง (Metabolic Pathway) ที่เกิดขึ้นภายในจุลินทรีย์ ประกอบด้วยปฏิกิริยาหลายชนิด ซึ่งควบคุมโดยเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ กัน การย่อยสลายสารอาหารในอาหารเลี้ยงเชื้อจำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และสารอื่น ๆ ให้มีขนาดโมเลกุลที่เล็กลง จัดว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว องค์ประกอบของอาหารเลี้ยงเชื้อจึงมีส่วนสำคัญต่อการเจริญและแบ่งตัวของหัวเชื้อ *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* รวมทั้งกลิ่น รส และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ได้

ดังนั้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีที่เกิดขึ้น โดยหัวเชื้อทั้งสองชนิดนี้ย่อมนำไปสู่การผลิตโยเกิร์ตที่มีคุณภาพสูง ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการเปลี่ยนแปลงชองคาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นเท่านั้น

1) แนวการเปลี่ยนแปลง (Metabolic Pathway)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

จุลินทรีย์กลุ่มแบคทีเรียกรดแลคติกรับพลังงานจากการหมักคาร์โบไฮเดรต ซึ่งได้แก่ น้ำตาลแลคโตสที่มีอยู่ในนม ซึ่งย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสจะเกิดขึ้นภายในเซลล์ของหัวเชื้อทั้งสอง ในกรณีนี้สันนิษฐานว่าจะอาศัยเอนไซม์กาแลคโตไซดเปอร์มีเอส (Galactoside Permease) จากนั้นเอนไซม์บีตาดีกาแลคโตซิเดส (β - D - Galactosedase) น้ำตาลดีกลูโคสนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นนกรดแลคติคภายในเซลล์ของหัวเชื้อทั้ง 2 ชนิด นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์อีกชนิดหนึ่ง คือ บีตาดีฟอสโฟกาแลคโตซิเดส (β - D - Phospho Galactosidase) ก็จะย่อยน้ำตาลแลคโตสให้น้ำตาลดีกลูโคสด้วยเช่นเดียวกัน (Tamine and Robinson, 1999)

2) การสร้างกรดแลคติก

หัวเชื้อ *S. thermophiles* และ *L. bulgaricus* จะย่อยสลายน้ำตาลแลคโตสให้เป็นกรดแลคติกได้ดังสมการที่ 1

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \longrightarrow 4C_3H_6O_3 \qquad \text{สมการที่ 1}$$

น้ำตาลแลคโตส น้ำ กรดแลกติก

กรดแลกติกที่ได้มีความสำคัญต่อโยเกิร์ต คือ ย่อยสลายนุภาคเคซีอีนและตกตะกอนเคซีนที่พีเอส 4.6 - 4.7 รวมทั้งทำให้เกิดเจลของโยเกิร์ต กรดแลคติกจะให้รสชาติที่เฉพาะ คือ รสชาติเปรี้ยวและแหลม (Sharp and Acidic Taste) ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ทำให้ได้กลิ่นรสที่หอม เชื้อแลคติกจะมีเอนไซม์แลคเตท ดีไฮโดรจีเนส (Lactate Dyhydrogenase : LDH) สำหรับสร้างกรดแลคติกจากกรดไพรูวิคที่ได้ในระหว่างการหมักนม กรดแลคติกที่ได้จะมีรูป (Isomers) ที่แตกต่างกัน คือ เป็น L (+) หรือ D (+) ซึ่งมีโครงสร้างของอะตอมแตกต่างกันเฉพาะอะตอมคาร์บอนที่สอง

โดยทั่วไปในการหมักโยเกิร์ต *S. thermophilus* ให้กรดแลคติกในรูป L (+) ซึ่งจะเจริญได้รวดเร็วกว่าเชื้อ *L. bulgaricus* ดังนั้นกรดแลคติกในรูปของ L (+) จะเกิดขึ้นก่อน แล้วจึงเกิดกรดแลคติกในรูป D (+) ภายหลัง ถ้าโยเกิร์ตมีกรดแลคติกในรูป L (+) มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า หัวเชื้อโยเกิร์ตส่วนใหญ่เป็นพวก *S. thermophilus* หรืออุณหภูมิการหมักเกิดขึ้นที่ต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิการหมักที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ *S.thermophilus* หรือโยเกิร์ตจะถูกทำให้เย็นในขณะที่ความเป็นกรดต่ำประมาณ 0.8 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่า ซึ่งอาจเกิดจากการหมักเป็นเวลานานเกินไปทำให้ได้โยเกิร์ตที่ความเป็นกรดสูง หรือมีหัวเชื้อ *L. bulgaricus* มากกว่า *S. thermophiles* โดยทั่วไปโยเกิร์ตมักจะมีกรดแลคติกอยู่ในรูป L (+) ประมาณ 45 - 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราส่วนของ L (+) : D (-) จะใช้ในการประเมินคุณภาพของโยเกิร์ต ในการผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่จำหน่ายในท้องตลาดพบว่า มีค่าตั้งแต่ 0.35 เปอร์เซ็นต์ (เปรี้ยวมาก) ถึง 8.28 (กรดแลคติกในรูป L (+) เด่น) แต่โยเกิร์ตที่ดีควรมีอัตราส่วนดังกล่าวประมาณ 2.0 ทั้งนี้ยังขึ้นกับความต้องการของผู้บริโภคแต่ละท้องถิ่นด้วย นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักสามารถแบ่งเป็นส่วนประกอบที่เพิ่มขึ้นและลดลงได้แสดงดังตารางที่ 2.3

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบในระหว่างการหมักโยเกิร์ต

ส่วนประกอบที่ลดลง	ส่วนประกอบที่เพิ่มขึ้น
แลคโตส	กรดแลคติก กาแลคโตส กลูโคส โพลีแซคคาไรด์
โปรตีน	เพปไทด์ กรดอะมิโนอิสระ
ยูเรีย	แอมโมเนีย
ไขมัน	กรดไขมันอิสระ
วิตามินต่าง ๆ (เช่น วิตามินบี 12 วิตามินซี)	วิตามินบางชนิด เช่น กรดโฟลิก
กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น ฮิบพูริก ไอโรติก	กรดอินทรีย์บางชนิด เช่น ซักซินิก ฟูมาริก เบนโซอิก นิวคลีโอไทด์บางชนิด เช่น CMP AMP UMP GMP NAD สารประกอบในกลิ่นรส เช่น อะซิตัล ดีไฮด์ อะซิ โตน ไดอะซิติล เอนไซม์ เช่น บีตา-กาแลกโตซิเดส โปรติเอส มวลแบคทีเรีย (ซึ่งประกอบด้วยกรดนิวคลีอิก ลิปิด คาร์โบไฮเดรต โปรตีน)

ที่มา: วราวุฒิ ครูส่ง และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2532

2.7.5 การเก็บรักษาคุณภาพของโยเกิร์ต

ปกติโยเกิร์ตจะมีอายุการเก็บประมาณ 10 วัน เมื่อเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 5 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปริมาณกรดในโยเกิร์ตจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของหัวเชื้อที่มีอยู่ในโยเกิร์ต แม้กิจกรรมดังกล่าวจะต่ำมากก็ตาม ปริมาณกรดที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้กลิ่นรสของโยเกิร์ตเปลี่ยนแปลงไป และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค สุดท้ายหัวเชื้อแบคทีเรียจะถูกทำลายและโยเกิร์ตจะเกิดการแยกชั้นของไขมันและเวย์ซึ่งมีผลทำให้เชื้อจุลินทรีย์อื่น ๆ เช่น ยีสต์และราเจริญได้ ดังนั้นในการผลิตจึงควรระมัดระวังในเรื่องการปนเปื้อนของเชื้อราและยีสต์ในหัวเชื้อโยเกิร์ต รวมทั้งในระหว่างการบรรจุด้วย (วราวุฒิ ครูส่ง และรุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, 2532)

ในปัจจุบันโยเกิร์ตที่ผลิตขึ้นล้วนมีการพัฒนาปรับปรุงรสชาติ และเนื้อสัมผัสเพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคมากขึ้น ดังนั้นในการใช้วัตถุดิบต่าง ๆ ที่มีคุณภาพ การควบคุมกรรมวิธีการผลิตให้เป็นไปตามที่กำหนด รวมทั้งการใช้หัวเชื้อที่มีคุณภาพ ล้วนมีผลให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่ยอมรับและเพิ่มความนิยมในโยเกิร์ตด้วย

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ในระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ตมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงค่า pHและการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ จากกิจกรรมของเอนไซม์อย่างช้า ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาแม้ว่าจะเก็บในตู้เย็นก็ตาม (Walstra et al., 1999) การเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษามีดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบที่ให้กลิ่นที่ดีของโยเกิร์ต เช่น เอธิลอะซีเตต อะซิทัลดีไฮด์ ไดอะซิติล และเมธานอล โดยปริมาณอะซิทัลดีไฮด์ เอทธิลอะซีเตต และไดอะซิติล ซึ่งในโยเกิร์ตน้ำนมแพะจะลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น อย่างไรก็ตามโยเกิร์ตที่ผลิตจากน้ำนมวัวจะมีเพียงปริมาณอะซิทัลดีไฮด์เท่านั้นที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษานาน 10 วัน ที่อุณหภูมิ 4 หรือ 10 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปริมาณอะซีติลและเมธานอลเพิ่มขึ้น (Tamine and Robinson, 1999)

2) อัตราการย่อยสลายโปรตีนเพิ่มขึ้น โยเกิร์ตอาจมีรสขมเนื่องจากเกิดการย่อยสลายของโปรตีนมากเกินไป (Tamine and Robinson, 1999)

3) ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ต โดย 5 วันแรกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะคงที่ แม้ว่าจะเก็บไว้นานถึง 35 วันก็ตาม (Dave and Shah, 1997)

4) ค่าความเป็นกรด - ด่าง หรือค่า pH ลดลง ตามปกติค่า pH ของน้ำนมวัวมีค่าเท่ากับ 6.55 - 6.62 จากนั้นจะลดลงเป็น 4.33 - 4.64 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักโยเกิร์ต และจะค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ตเป็นเวลา 35 วัน ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยที่เวลาการเก็บรักษา 35 วัน โยเกิร์ตมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.16 - 4.40 โยเกิร์ตจะมีรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้น (Dave and Shah, 1997)

5) จำนวนแบคทีเรียที่สร้างกรดแลกติกที่รอดชีวิตลดลง จำนวนเชื้อ *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *S. thermophilus* จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ต โดยหลังจากการผลิตโยเกิร์ตที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3.5 - 4.0 ชั่วโมง ปริมาณของเชื้อ *S. thermophilus* จะเพิ่มขึ้นประมาณ 25 - 38 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเก็บรักษา 5 วันแรกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และยังคงมีกิจกรรมอยู่ตลอดช่วงระยะเวลาดังกล่าว แต่ภายหลังจากนั้นจำนวนเชื้อ *S. thermophilus* ที่รอดชีวิตจะลดลงประมาณ 9.5 - 61.8 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลาการเก็บอีก 30 วันที่เหลือ ส่วนจำนวนของ *L. bulgaricus* จะเพิ่มขึ้นจากจำนวนเริ่มต้น 1.20 - 3.00×10^7 โคโลนี/มิลลิลิตร ประมาณ 12 - 22 เท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการหมักโยเกิร์ต และระหว่างการเก็บรักษาพบว่า จำนวน *L. bulgaricus* ลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างการเก็บรักษา 5 วันแรกที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และหลังจากนั้นจะมีปริมาณลดลงอีกเล็กน้อยในช่วง 5 วันถัดไป และอีก 5 วันต่อมาจะมีจำนวนลดลงอย่างรวดเร็ว จนในที่สุดเมื่อเก็บรักษาครบ 35 วัน พบว่า จำนวนเชื้อ *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* มีจำนวนน้อยกว่า 105 โคโลนี/มิลลิลิตร จึงกล่าวได้ว่า จำนวน *S. thermophilus* ที่รอดชีวิตมีมากกว่า *L. bulgaricus* เนื่องจากจำนวน *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ที่รอดชีวิตมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วและลดลงมากกว่า 4 Log Cycle (Dave and Shah, 1997)

6) เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ (Off - Flavors) เนื่องจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะยีสต์และรา จุลินทรีย์จะทำให้เกิดกลิ่นยีสต์ กลิ่นผลไม้ กลิ่นอับ กลิ่นหืน กลิ่นเนย หรือรสชาติขม โดยผู้บริโภคจะสามารถรับรู้กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้เมื่อยีสต์และรามีจำนวนประมาณ 10^4 โคโลนี/มิลลิลิตร ขึ้นไป นอกจากนั้นจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เมื่อมีออกซิเจนอยู่ในบรรจุภัณฑ์ ฉะนั้นการบรรจุควรให้มีช่องว่างภายในภาชนะบรรจุน้อยที่สุดและวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุควรมีคุณสมบัติให้อากาศผ่านได้น้อย ข้อบกพร่องนี้อาจมีสาเหตุจากการใช้อุณหภูมิในการหมักต่ำ หรืออาจเกิดจากน้ำนมดิบที่ใช้มีการปนเปื้อนของเพนนิซิลิน จึงทำให้จุลินทรีย์เริ่มต้นไม่สามารถเจริญเติบโต และผลิตกรดได้ รวมไปถึงอาจเกิดจากน้ำนมดิบที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ จึงทำให้มีกลิ่นดังกล่าวในผลิตภัณฑ์สุดท้ายก็ได้ (สุมาลี เหลืองสกุล, 2541; Harrigan, 1998; Walstra et al., 1999)

นวลนภา อัคสินธวังกูร (2546) ศึกษาอายุการเก็บรักษาของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า สีผลิตภัณฑ์มีสีคล้ำและเข้มขึ้นเมื่อเก็บนานขึ้น และโยเกิร์ตมีรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้น ไม่พบเชื้อยีสต์และราตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และผู้บริโภคให้การยอมรับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่เก็บไว้ได้นานเป็นเวลา 21 วัน

Katsiari et al. (2002) ศึกษาคุณภาพของโยเกิร์ตที่ผลิตจากน้ำนมแกะที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 เดือน พบว่า คุณภาพทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต ด้านลักษณะปรากฏ สี โครงสร้างเจล เนื้อสัมผัส กลิ่น รส และการยอมรับโดยรวมของโยเกิร์ตที่ผลิตจากน้ำนมแกะแช่เยือกแข็ง ไม่แตกต่างทางสถิติกับโยเกิร์ตตัวอย่างควบคุมที่ผลิตจากน้ำนมสด

2.7.6 ประโยชน์ของโยเกิร์ต

โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่มีลักษณะพิเศษ คือ มีจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นกล้าเชื้อในการผลิตในผลิตภัณฑ์หลังเสร็จสิ้นกระบวนการผลิต เชื้อจุลินทรีย์ในโยเกิร์ตต้องยังคงมีชีวิตอยู่และสามารถดำเนินกิจกรรมต่อไปได้ (FAO/WHO, 1984) ในสภาวะที่เหมาะสมจุลินทรีย์โยเกิร์ตสามารถทำหน้าที่และก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสุขภาพร่างกายของผู้บริโภค จึงทำให้โยเกิร์ตได้การเรียกชื่อว่า “อาหารมหัศจรรย์ (Miracle Food)” สำหรับเด็กวัยรุ่น ผู้สูงอายุ ผู้รักสุขภาพ หรือผู้ที่สนใจอาหารธรรมชาติ (Fuller,1995) ข้อดีของแบคทีเรียกรดแลคติก คือ ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ การย่อยสลายแลคโตส ลดอาการท้องร่วงรุนแรง ปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ ต่อต้านมะเร็งบางชนิด เพิ่มภูมิคุ้มกัน และการลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด (Gilland, 1990)

1) คุณค่าทางโภชนาการ

โยเกิร์ตเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีพลังงานและปริมาณไขมันต่ำ จำแนกได้ตามปริมาณไขมันนม นอกจากนี้ยังโยเกิร์ตอุดมไปด้วยแคลเซียมและโปรตีนนม คือ เคซีน (Casein) และโปรตีนเวย์ (Whey Protein) ซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นและกรดอะมิโนอิสระหลายชนิด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำนม พบว่า โยเกิร์ตมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าน้ำนม เนื่องจากส่วนประกอบที่เติมลงใน

น้ำนมที่ใช้ผลิต หรือในโยเกิร์ตโดยตรง และผลอันเกิดจากการหมักของจุลินทรีย์โยเกิร์ต (Deeth and Tamine, 1981) คุณค่าทางโภชนาการของโยเกิร์ตแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 คุณค่าทางโภชนาการของโยเกิร์ต

สารอาหาร (หน่วย/100 กรัม)	โยเกิร์ต		
	ไขมันเต็ม	ไขมันต่ำ	ผลไม้/ไขมันต่ำ
ความชื้น (กรัม)	81.9	84.9	77.0
พลังงาน (กิโลแคลอรี)	79	56	90
โปรตีน (กรัม)	5.7	5.1	4.1
ไขมัน (กรัม)	3.0	0.8	0.7
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	7.8	7.5	17.9
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	200	190	150
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	170	160	120
โซเดียม (มิลลิกรัม)	80	83	64
โพแทสเซียม (มิลลิกรัม)	280	250	210
สังกะสี (มิลลิกรัม)	0.7	0.6	0.5

ที่มา: Tamine and Robinson, 1999

2) ความสามารถในการย่อย

การบริโภคโยเกิร์ตแล้วพบว่า ย่อยได้ง่ายกว่าน้ำนม เนื่องมาจากอนุภาคของเคิร์ดจะไปกระตุ้นการหลั่งเอนไซม์ในการย่อยของต่อมน้ำลาย อีกทั้งในโยเกิร์ตมีปริมาณเปปไทด์ (Peptide) และกรดอะมิโนอิสระมากกว่าในน้ำนม เนื่องจากมีการย่อยของแบคทีเรียแลคติกและมีการให้ความร้อน นอกจากนี้ ในระหว่างกระบวนการผลิตแบคทีเรียแลคติกได้ย่อยแลคโตสไปก่อนแล้วเกือบครึ่งหนึ่งของปริมาณทั้งหมดให้เป็นกรดแลคติก ส่วนที่เหลือจุลินทรีย์ก็ทำการย่อยน้ำตาลแลคโตสต่อเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว หรือน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลกาแลคโตส ซึ่งจะสามารถดูดซึมเข้าสู่ลำไส้เล็กต่อไปได้ (Deeth and Tamine, 1981)

3) การใช้ทางด้านโภชนาบำบัด

การนำโยเกิร์ตมาใช้ในการบำบัดมีได้หลายกรณี เช่น

3.1) การปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้

แบคทีเรียแลคติกมีส่วนช่วยปรับสมดุล โดยการลดแบคทีเรียที่ให้โทษ ซึ่งเป็นผลจากสารเมแทบอไลซ์ การผลิตสารยับยั้ง และการปรับปรุงการเคลื่อนที่ของลำไส้ (Alander et al., 1999;

Holzapfel et al., 1998) โดยกรดแลคติกจะลดและทำลายแบคทีเรีย ที่ไม่ทนกรดและแบคทีเรียก่อโรค เช่น *E. coli*, *Mycobacterium tuberculosis* และ *Salmonella* spp. ซึ่งเติบโตได้ดีที่ระดับความเป็นกรด - ด่าง เป็นกลาง และผลิตสารที่ก่อให้เกิดอันตราย ได้แก่ ฟีนอล เอมีน อินโดล และไฮโดรเจนซัลไฟต์ เป็นต้น การสร้างสารยับยั้งจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ของโยเกิร์ต เช่น บัลการิน ซึ่งผลิตจาก *L. bulgaricus* และ *S. thermophilus* สามารถผลิตเมธานอลและอะซีโตน ซึ่งยับยั้งการเจริญของ *E. coli*, *Salmonella* spp., *Shigella* spp. และ *Pseudomonas* spp. ช่วยส่งเสริมการแก่งแย่งและยึดติดกับผนังลำไส้ได้ดีกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่น (Yukuchi et al., 1992)

3.2) บำบัดระบบทางเดินอาหารผิดปกติ

โยเกิร์ตมีผลป้องกันและรักษาโรคทั้งในคนและสัตว์ที่มีความผิดปกติในระบบทางเดินอาหาร เช่น ท้องร่วง ท้องผูก ระบบทางเดินอาหารอักเสบของเด็กทารก เนื่องจากโยเกิร์ตเป็นอาหารที่ย่อยง่ายและเป็นผลมาจากการปรับสมดุลของจุลินทรีย์ในลำไส้ (Deeth and Tamine, 1981)

3.3) บำบัดโรคแพ้น้ำตาลแลคโตส

ผู้ที่ขาดน้ำย่อยแลคเตสมาแต่กำเนิด หรือผู้ที่ไม่ได้ดื่มนมมาเป็นเวลานาน เมื่อดื่มนมทำให้เสี่ยงต่ออาการท้องแน่น (Fluctulence) ท้องเสีย (Diarrhea) แต่เมื่อบริโภคโยเกิร์ตแล้วอาการเหล่านี้จะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากหลังจากบริโภคโยเกิร์ตแล้วจุลินทรีย์โยเกิร์ตยังคงทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลแลคโตสต่อไป เมื่อเข้าถึงส่วนของลำไส้เล็กปริมาณแลคโตสที่เหลืออยู่จึงมีปริมาณน้อยและลักษณะลิ่มนมของโยเกิร์ตยังอยู่อย่างสมบูรณ์หลังจากบริโภคแล้วทำให้การกระจายตัวของแลคโตสเข้าสู่ผนังลำไส้เป็นไปอย่างช้า ๆ ผลเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากการย่อยแลคโตสจึงเกิดขึ้นน้อย ถ้ามีก็ไม่รุนแรงมากนัก โยเกิร์ตจึงเป็นอาหารที่เหมาะกับกลุ่มคนที่แพ้น้ำตาลแลคโตส (Suarez and Savaiano, 1997) รวมถึงผู้ป่วยที่มีน้ำตาลในเลือดสูงด้วยแต่โยเกิร์ตนั้นต้องไม่มีน้ำตาลเป็นส่วนประกอบในปริมาณที่สูงมาก หรือมีรสหวานจัด (จารุวรรณ์ ศิริพรรณพร, 2543)

3.4) บำบัดโรคกระดูกพรุน

โยเกิร์ตเป็นอาหารที่อุดมด้วยคุณค่าทางโภชนาการสูงเป็นแหล่งที่ดีของแคลเซียม ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคกระดูกพรุน โรคกระดูกเสื่อมในหญิงวัยหมดประจำเดือน และผู้สูงอายุ (Deeth and Tamine, 1981) โดยเฉพาะแคลเซียมที่อยู่ในโยเกิร์ตจะถูกดูดซึมไปใช้ได้ดีกว่าในรูปอื่น ๆ เนื่องจากการรับประทานโยเกิร์ตเป็นการเพิ่มกรดแลคติกเพื่อแทนที่กรดในกระเพาะอาหารที่ขาดไป ทำให้การย่อยอาหารดีขึ้นและช่วยให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้สูงขึ้น และยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับกระดูกและฟันอีกด้วย

3.5) ลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด

เชื้อ *Lactobacillus* spp. ซึ่งเป็นเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตโยเกิร์ต สามารถลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือดและลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจที่เกิดจากระดับของ

โคเลสเตอรอลสูง ซึ่งเป็นผลจากสารไฮดรอกซีเมทิลกลูทาเรต (Hydroxy Methylglutarate) ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นมีคุณสมบัติในการยับยั้งการสังเคราะห์โคเลสเตอรอลในร่างกาย (O'Sullivan et al., 1992)

3.6) ต่อต้านมะเร็ง

สารในโยเกิร์ตที่ทำหน้าที่ต่อต้านมะเร็งสามารถแยกได้จากโยเกิร์ตส่วนที่เป็นของแข็งด้วยวิธีแยกลำดับส่วน (Fractionation) (Ayebo et al., 1981) บนเรซินแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ionexchange Resin) ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างการผลิต หรือการเก็บโยเกิร์ต (Reddy et al., 1983) ซึ่งมีผลยับยั้งการเติบโตของมะเร็งในระยะเริ่มต้น

2.7.7 ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ไม่ได้ผลิตจากน้ำนมวัว

ปกติโยเกิร์ตทำจากนมวัวเพียงอย่างเดียว แต่ในช่วงหลังพบว่าธัญชาติมีประโยชน์ต่อร่างกายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของใยอาหาร (Dietary Fiber) ซึ่งนมวัวไม่มี จึงมีการใช้ธัญชาติชนิดต่าง ๆ เป็นส่วนผสมในการทำโยเกิร์ต ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง ข้าวโพด และข้าวโอ๊ต เป็นต้น เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคและเพิ่มชนิดของผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดให้หลากหลายขึ้น

จารุวรรณ์ ศิริพรรณพร และคณะ (2543ข) ศึกษาการผลิตโยเกิร์ตจากกะทิ โดยใช้มะพร้าวทึนทึกมาคั้นน้ำกะทิ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นเก็บที่อุณหภูมิ 4 - 10 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง แล้วตักไขส่วนผิวหน้าออก นำมาผสมกับหางนมความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ในอัตราส่วนของน้ำกะทิกับสารละลายหางนมเท่ากับ 1/1.25 เติมเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตซึ่งเป็นเชื้อผสมระหว่าง *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* ในอัตราส่วน 1/1 ปริมาณ 4 เปอร์เซ็นต์แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 43 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ได้โยเกิร์ตกะทิที่มีเนื้อสัมผัสเนียนมีความข้นหนืดสูง และมีปริมาณไขมันต่ำ โยเกิร์ตกะทิที่ได้สามารถเก็บรักษาได้อย่างน้อย 14 วัน ที่อุณหภูมิ 4 - 10 องศาเซลเซียส

จิรากร ประเสริฐชีวะ (2546) ทำการผลิตโยเกิร์ตจากน้ำนมข้าวโพด โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตชนิดผงที่จำหน่ายในทางการค้า ซึ่งเป็นเชื้อผสมระหว่าง *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* ในอัตราส่วน 1/1 ปริมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมงพบว่า โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ได้มีคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในด้านสีความเรียบเนียน การแยกตัวของน้ำ ความข้นหนืด กลิ่นนมผง กลิ่นข้าวโพด กลิ่นกรด รสเปรี้ยว รสหวาน และการยอมรับรวม โดยใช้วิธีประเมินแบบ Mean Ideal Ratio Scores มีจำนวนจุลินทรีย์ โยเกิร์ต เท่ากับ 7.10×10^{9} โคโลนี/กรัม ค่าความเป็นกรดโดยคำนวณเป็นกรดแลกติก 1.11 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก ความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 3.97 ปริมาณของแข็งทั้งหมดเท่ากับ 20.56 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก และค่าความหนืดเท่ากับ 17,500 เซนติพอยส์ เมื่อทำการวัดด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer ใช้เข็มวัดเบอร์ 4 ที่ความเร็วรอบ 2.5 รอบ/นาที

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

อำพรรณ ชัยกุลเสรีวัฒน์ และอรชูล กอสะเกด (2552) ผลิตนมเปรี้ยวพร้อมดื่มจาก ข้าวกล้อง โดยเตรียมโยเกิร์ตจากน้ำนมข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ พันธุ์มันปู และเสาไห้ ใช้อัตราส่วนข้าว/น้ำ 1 : 3, 1 : 4 และ 1 : 5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) พบว่า สูตรที่เหมาะสมในการผลิตโยเกิร์ตแล้วได้เคิร์ตเนื้อเนียนที่สุด ได้แก่ ข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ พันธุ์มันปู และเสาไห้ ในอัตราส่วน 1 : 3 1 : 4 และ 1 : 5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) ตามลำดับ มาผลิตเป็นนมเปรี้ยวแล้วนำมาทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่า นมเปรี้ยวที่ได้รับการยอมรับมากที่สุด คือ นมเปรี้ยวพร้อมดื่มจากน้ำนมข้าวกล้องพันธุ์หอมมะลิ จากนั้นนำมาศึกษาปริมาณคาร์ราจีแนนที่เหมาะสมต่อความคงตัวของนมเปรี้ยวพร้อมดื่มพบว่า ที่ระดับ 0.60 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) ให้ผลดีที่สุดนอกจากนี้ในการผลิตโยเกิร์ตจากธัญชาติ ได้แก่ น้ำนมถั่วเหลืองมีการใช้จุลินทรีย์ในการหมักโยเกิร์ตเช่นเดียวกับที่ใช้ในน้ำนมวัว คือ *S. thermophilus* และ *L. bulgaricus* พบว่า จุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถหมักน้ำนมถั่วเหลืองได้ เมื่อมีการเติมน้ำตาลแลกโตส 2 - 5 เปอร์เซ็นต์ และเวย์โปรตีนเข้มข้น หรือนมผงขาดมันเนย 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ หมักกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 14 ชั่วโมง ค่า pH น้ำนมถั่วเหลืองลดลงจนถึง 4.5 เนื่องจากจุลินทรีย์โยเกิร์ตผลิตกรดแลคติก ทำให้โปรตีนน้ำนมถั่วเหลืองเกิดการตกตะกอน อย่างไรก็ตามพบว่า โยเกิร์ตน้ำนมถั่วเหลืองที่ได้ไม่มีกลิ่นรสที่ดีของโยเกิร์ตเหมือนกับโยเกิร์ตจากน้ำนมวัว (Cheng et al., 1990; Lee et al., 1998; Karleskind et al., 1991) โดยโยเกิร์ตน้ำนมถั่วเหลืองยังคงมีกลิ่นรสของถั่ว หรือกลิ่นสาบหญ้า ทำให้ไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเมื่อทำการเติมโซเดียมเคซีเนต 0.25 เปอร์เซ็นต์ พบว่า สามารถปรับปรุงกลิ่นรสของโยเกิร์ตน้ำนมถั่วเหลืองได้ โยเกิร์ตน้ำนมถั่วเหลืองมีกลิ่นรสดี ปราศจากกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (Granata and Morr, 1996)

เมธาวี อนะวัชกุล และสุดารัตน์ เจียมยั่งยืน (2552) ศึกษาปริมาณ สารกาบา และทำการทดลองพัฒนาสูตรโยเกิร์ตเสริมสารกาบาจากข้าวกล้องมันปูงอก ด้วยการเก็บตัวอย่างข้าวหอมมันปู จากนั้นทำการเพาะข้าว โดยนำเมล็ดข้าวที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วแช่น้ำในอัตราส่วน 1 : 3 (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปเพาะต่อในที่มืด 48 ชั่วโมง และทำการสุ่มเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวทุก ๆ 8 ชั่วโมง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกาบา ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีเหลวความดันสูง ผลการทดลองพบว่า เมล็ดข้าวที่นำไปผ่านการงอกมีปริมาณสารกาบาเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างในชุดควบคุม โดยสภาวะการงอกที่เหมาะสม คือ ที่ระยะเวลาการเพาะ 32 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารกาบาสูงสุด เท่ากับ 21.32 มิลลิกรัม/100 กรัม และในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต พบว่า ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่มีการประยุกต์ใช้ข้าวกล้องมันปูงอก จากสภาวะการงอกที่ให้ปริมาณสารกาบาสูงสุดเป็นส่วนผสมในอัตราส่วน 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งมีประมาณสารกาบาเท่ากับ 4.09 มิลลิกรัม ต่อ 100 กรัม ซึ่งอยู่ในระดับที่สูงกว่าปริมาณที่ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ในโยเกิร์ตที่ไม่มีการเติมข้าวกล้องมันปูงอก

วรรณภา ทาบโลกา และคณะ (2558) ศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของโยเกิร์ตนมถั่วเหลือง เพื่อใช้ในการพัฒนานมถั่วเหลืองให้เหมาะสำหรับการผลิตโยเกิร์ตจากนมถั่วเหลือง ซึ่งโยเกิร์ตจากนมถั่วเหลืองที่มีอัตราส่วนของถั่วเหลืองต่อปริมาณน้ำที่แตกต่างกัน 25 : 75, 20 : 80, 17 : 83 และ 14 : 86 จากการวัดค่าสีของโยเกิร์ตถั่วเหลืองด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์พบว่า ค่าความสว่างไม่มีความต่างกัน ($p<0.05$) ส่วนค่าความหนืด ค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณกรด ปริมาณของแข็งและปริมาณโปรตีนมีความแตกต่างกัน ($p<0.05$) ตามอัตราส่วนของปริมาณถั่วเหลืองต่อปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น จากการศึกษาการทำโยเกิร์ตถั่วเหลืองจากหัวเชื้อโยเกิร์ตทางการค้า โดยใช้หัวเชื้อ 3 ยี่ห้อ ได้แก่ ดัชมิลล์ โฟรโมสต์ และเมจิ พบว่า มีค่าความเป็นกรด - ด่าง ปริมาณของแข็งทั้งหมดและค่าสีไม่แตกต่างกัน ($p<0.05$) โยเกิร์ตถั่วเหลืองที่ใช้หัวเชื้อเมจิมีค่าความหนืดสูงเท่ากับ 745.31 เซนติพอยต์ และการศึกษาระยะเวลา ที่เหมาะสมต่อการเจริญของหัวเชื้อโยเกิร์ตถั่วเหลือง ที่บ่มเป็นระยะเวลา 0, 6, 9, 12 , 16, 18, 24 และ 36 ชั่วโมง ตามลำดับพบว่า ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง มีปริมาณเชื้อมากที่สุด คือ 2.7×10^{10} โคโลนี/มิลลิลิตร

2.8 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคทางด้านประสาทสัมผัสประกอบด้วยเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้เพื่อการตรวจสอบอย่างแม่นยำ โดยใช้การตอบสนองจากมนุษย์ (Human Responses) ที่มีต่ออาหาร และต้องควบคุมอคติต่าง ๆ ให้เกิดน้อยที่สุด เช่น ข้อมูลของตัวอย่างที่จะทำการทดสอบต้องไม่ถูกรับรู้จากผู้ทดสอบมาก่อน เป็นต้น การทดสอบทางประสาทสัมผัสจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่สำคัญ และเป็นประโยชน์ต่อผู้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ นักวิทยาศาสตร์การอาหาร เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ และผู้จัดการแผนกต่าง ๆ การทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส คือ วิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการประเมิน วัดผล วิเคราะห์และอภิปรายผลที่ได้จากการทดสอบผลิตภัณฑ์โดยผ่านทางระบบรับสัมผัสด้านต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ การมองเห็น การดมกลิ่น การสัมผัส การชิม และการได้ยินเสียง สำหรับวิธีการทดสอบคุณภาพด้วยประสาทสัมผัสที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการดำเนินการทดสอบออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์ลักษณะทางประสาทสัมผัสและการทดสอบความชอบ สำหรับการทดสอบทางประสาทสามารถแยกการทดสอบในการประเมินทางประสาทสัมผัสตามวัตถุประสงค์ของการนำมาใช้เป็น 3 วิธี (ศิริกานต์ ศิริมา, 2557) คือ

1) การทดสอบเพื่อความแตกต่างในผลิตภัณฑ์ (Discrimination หรือ Difference Test)

2) การทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาลักษณะทางประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา (Descriptive Analysis)

3) การทดสอบเพื่อหาความชอบ หรือการยอมรับในผลิตภัณฑ์ (Preference/Acceptance Test)

ในที่นี้ขอกล่าวถึงเพียงการทดสอบ เพื่อหาความชอบ หรือการยอมรับในผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีที่ใช้เพื่อทดสอบความรู้สึกของผู้ทดสอบในแง่ความชอบ หรือการยอมรับที่มีต่อผลิตภัณฑ์ ผู้ทดสอบที่ใช้คือ กลุ่มคนทั่วไปที่ไม่จำเป็นต้องได้รับการฝึกฝนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส หรือผู้บริโภคทั่วไป การทดสอบแบบนี้เหมาะสำหรับศึกษาหาความชอบ หรือการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ การสำรวจความต้องการของผู้บริโภคข้อมูลที่ได้ จากการทดสอบนี้จะช่วยทำให้นำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค สำหรับวิธีการทดสอบหาการยอมรับสามารถใช้วิธีการเชิงคุณภาพ เช่น การอภิปรายกลุ่ม หรือใช้วิธีการทดสอบหาการยอมรับในเชิงปริมาณ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ม.ป.ป.) คือ

1) การทดสอบความชอบ (Paired Preference Test) ได้แก่ เปรียบเทียบตัวอย่างคู่ เพื่อหาความชอบ การเรียงลำดับความชอบ เป็นต้น

2) การทดสอบการยอมรับ (Acceptance Tests) ได้แก่ การทดสอบหาอัตราความชอบ การวัดค่าความถี่ในการบริโภค

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การทดสอบการยอมรับ โดยการให้คะแนนความชอบแบบ 5 Point Hedonic Scale เป็นวิธีการที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์บอกความชอบและไม่ชอบออกมาเป็นสเกลความชอบ โดยเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบทีละ 1 ตัวอย่าง ในสเกลความชอบจะมีคำแปลความหมายระดับคะแนนต่าง ๆ เช่น ดีเลิศ (Excellent) ดีมาก (Very Good) ดี (Good) หรือไม่ดี (Poor) เป็นต้น ซึ่งสเกลความชอบแบบ 5 Point Hedonic Scale เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง

เสาวนีย์ เอี้ยวสกุลรัตน์ (2556) ทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยนำผลิตภัณฑ์เต้าฮวยนมสดสูตรใบเตยผสมวุ้นน้ำมะพร้าวที่ได้รับการยอมรับจากผู้ชิม ไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยทำการทดสอบจากผู้บริโภค 114 คน ภายในมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย โดยเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับการทดสอบ เพื่อคัดเลือกสูตรในขั้นตอนแรกและเตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์เต้าฮวยนมสดผสมวุ้นน้ำมะพร้าวเพื่อสุขภาพที่จะขายจริงให้ผู้บริโภคได้พิจารณา เพื่อใช้ ในการตอบแบบสอบถาม สำหรับแบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ คำถามทั่วไป ความคิดเห็นเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกซื้อสินค้า และแบบทดสอบความชอบผลิตภัณฑ์ 5 Point Hedonic Scale และการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นี้พร้อมเหตุผล โดยการให้คะแนน 5 คะแนน หมายถึง ชอบมาก, 4 คะแนน หมายถึง ชอบ, 3 คะแนน หมายถึง ชอบปานกลาง, 2 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบ, 1 คะแนน หมายถึง ไม่ชอบมาก