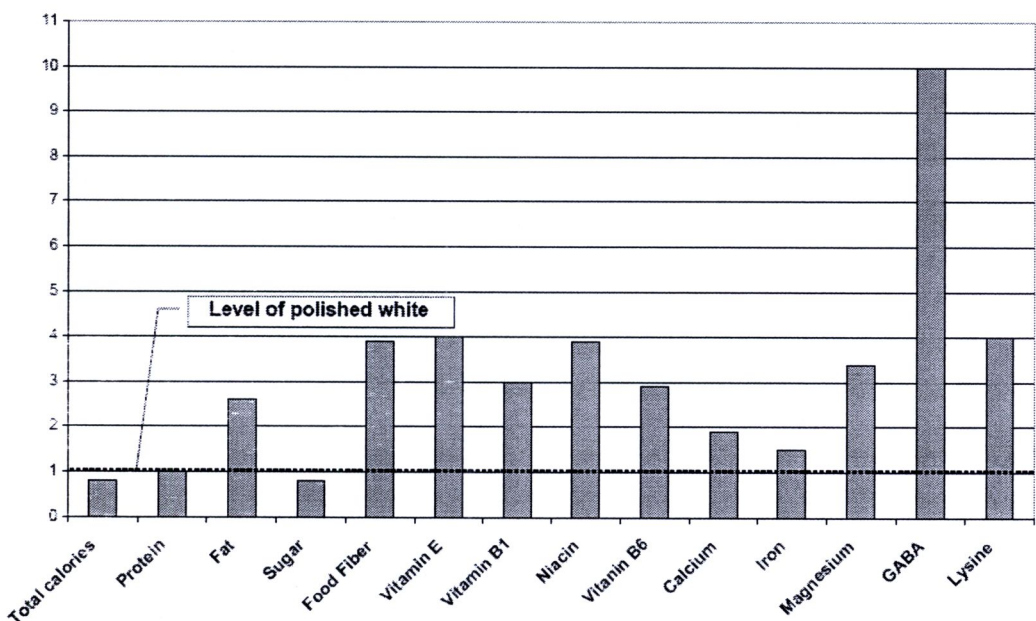


บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าวกล้องงอก

ข้าวกล้องงอก (Germinated Brown Rice) เป็นอาหารที่ประชาชนชาวญี่ปุ่นในสมัยโบราณนิยมรับประทานโดยนำข้าวกล้องมาแช่น้ำ ในทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการศึกษาคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องงอก พบว่า ในระหว่างกระบวนการงอกสารอาหารต่างๆ ในข้าวกล้องเกิดการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก โดยสารอาหารที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ได้แก่ γ -aminobutyric acid (GABA), dietary fiber, inositols, ferulic acid, phytic acid, tocotrienols, magnesium, potassium, zinc, γ -oryzanol และ prolylendopeptide inhibitor (Kayahara and Tukahara 2000) ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นปริมาณของสารอาหารในข้าวกล้องงอกเมื่อเปรียบเทียบกับในข้าวสารพบว่า ข้าวกล้องงอกมี GABA ในปริมาณมากกว่าในข้าวสารถึง 10 เท่า มีเส้นใยอาหาร วิตามินอี ไนอะซิน และไลซีน มากกว่า 4 เท่า และมีปริมาณวิตามินบี 1 วิตามินบี 6 และแมกนีเซียม มากกว่าข้าวสาร 3 เท่า



ภาพที่ 1 อัตราส่วนของปริมาณสารอาหารในข้าวกล้องงอกเปรียบเทียบกับในข้าวสารที่แสดงให้เห็นเป็นเส้นที่เป็นจุด (Kayahara and Tukahara 2000)

กระบวนการที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารหรือองค์ประกอบภายในเมล็ดข้าวนั้นมีขั้นตอนที่สำคัญคือ กระบวนการแช่ข้าว (soaking) และกระบวนการงอก (germination) ซึ่งกระบวนการทั้งสองนี้จะทำให้เกิดการงอกของเมล็ดข้าวเกิดขึ้น เมล็ดข้าวที่เกิดการงอกนั้นจะมีเอนไซม์ทำหน้าที่ย่อยสลาย สารพอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชและโปรตีน ทำให้ได้โอลิโกแซ็กคาไรด์และกรดอะมิโน (Manna and others 1995) การสลายตัวของพอลิเมอร์น้ำหนักโมเลกุลสูงในระหว่างกระบวนการงอกทำให้เกิดสารชีวภาพและมีผลในการปรับปรุงคุณภาพด้านประสาทสัมผัสในการบริโภค เช่น มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและกลิ่นเพิ่มขึ้นในข้าวบาร์เลย์ (Beal and Mottram 1993) ข้าวฟ่าง (Subba and Murulikrishna 2002) ข้าวโอ๊ต (Heinio and others 2001) และข้าวไรย์ (Karppinen and others 2000)

การผลิตข้าวงอกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การแช่ข้าวและการงอกข้าวซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (Manna and others 1995)

2.1.1 การแช่ข้าว (soaking process)

มีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ด และกระจายตัวเข้าไปในส่วนต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอเพื่อเป็นการกระตุ้นให้เกิดการงอกของเมล็ด และการเปลี่ยนแปลงที่เหมาะสมขององค์ประกอบทางเคมีในเนื้อเมล็ด การดูดน้ำของข้าวแบ่งออกเป็น 3 ระยะดังนี้

ระยะแรก เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพโดยกระบวนการแพร่ (diffusion) เพียงอย่างเดียว จนกระทั่งได้ความชื้นประมาณร้อยละ 32 โดยน้ำหนัก การเพิ่มขึ้นของความชื้นในระยะนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ข้าวดังนั้นระยะเวลาในการดูดน้ำจนได้ความชื้นตามที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้

ระยะที่สอง เป็นช่วงที่มีการดูดน้ำลดลง

ระยะที่สาม มีอัตราการดูดน้ำเพิ่มขึ้นจนกระทั่งได้ความชื้นคงที่ประมาณร้อยละ 45

อัตราเร็วของการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดและระยะเวลาในการแช่ขึ้นกับอุณหภูมิของน้ำที่แช่ ขนาดของเมล็ด ชนิดและสายพันธุ์ของข้าว ตลอดจนลักษณะของส่วนประกอบในเนื้อเมล็ด ผลของอุณหภูมิต่อการแช่พบว่า อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการดูดน้ำเข้าสู่เมล็ดได้อย่างรวดเร็ว ทำให้การกระจายตัวของความชื้นในส่วนต่าง ๆ ของเมล็ดไม่สม่ำเสมอโดยเฉพาะในส่วนเนื้อเมล็ดและคัพภะทำให้เกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีในการผลิตเอนไซม์ การเจริญของรากและลำต้นมีประสิทธิภาพต่ำ ในทางตรงกันข้ามหากใช้อุณหภูมิในการแช่ต่ำเกินไป การดูดน้ำของเมล็ดจะเป็นไปอย่างช้า เกิดการกระจายตัวของเมล็ดได้ดี แต่จะใช้ระยะเวลานานขึ้นเป็นการเพิ่มโอกาสใน

การเจริญของจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเสื่อมสลายของเมล็ด และทำให้ประสิทธิภาพการงอกของเมล็ด ลดต่ำลง

ช่วงเวลากการแช่ข้าวมีส่วนสัมพันธ์กับการงอกของเมล็ดส่วนของเนื้อเมล็ด (endosperm) และคัพพะหรือจุมูกข้าว (embryo) มีการดูดน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งได้ความชื้นร้อยละ 60-65 ภายในเวลา 24 ชั่วโมงและจะเริ่มเกิดการงอกของรากเทียมออกมา (coleorhizae) เป็นจุดเริ่มต้นของการงอก การสร้างรากเทียมนี้เกิดขึ้นในส่วนที่เจริญเป็นใบเลี้ยงอ่อน (scutellum) ซึ่งเป็นส่วนที่สะสมสารอาหารต่าง ๆ ไว้สำหรับการงอกเป็นรากและลำต้น ความชื้นที่เหมาะสมในการสร้างรากเทียมของใบเลี้ยงเริ่มต้นที่ร้อยละ 55 และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เพื่อให้เกิดการกระจายความชื้นอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งเนื้อเมล็ด เป็นการปรับสภาพความชื้นให้เหมาะสมในการผลิตเอนไซม์ในขั้นตอนการงอกต่อไป

2.1.2 การงอก (germination process)

การงอกมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสารอาหารที่สะสมในเนื้อเมล็ดให้อยู่ในรูปโครงสร้างที่สลายได้ง่ายโดยการทำงานของเอนไซม์ ในขั้นตอนการงอกเมล็ดจึงมีการผลิตเอนไซม์ย่อยสลายที่มีปริมาณสูง โดยทั่วไปในเมล็ดข้าวมีเอนไซม์เบต้าเอมิเลสสะสมอยู่แล้ว เอนไซม์ชนิดนี้ถูกสร้างขึ้นมาพร้อมกับการพัฒนาของเมล็ดจนกลายเป็นเมล็ดที่สมบูรณ์ ดังนั้นในขั้นตอนการงอกของเมล็ดจึงเป็นการสังเคราะห์เอนไซม์เบต้าเอมิเลสเป็นส่วนใหญ่ การสร้างเอนไซม์เบต้าเอมิเลสเกิดขึ้นในส่วนคัพพะโดยการกระตุ้นของฮอร์โมนจิบเบอเรลลินที่ถูกสร้างขึ้นในขณะที่เกิดการงอก นอกจากนี้เอนไซม์เบต้าเอมิเลสและกรดจิบเบอเรลลินยังเป็นตัวกระตุ้นให้เชื้อหุ้มเนื้อเมล็ดผลิตเอนไซม์ชนิดอื่นๆ เช่น เบต้ากลูแคนเนส (β -glucanase) เพนโทแซนเนส (pentosanase) เป็นต้น หลังจากคัพพะและเชื้อหุ้มเมล็ดมีการผลิตเอนไซม์ต่าง ๆ ขึ้นมา เอนไซม์จะมีกิจกรรมในการสลายสารอาหารต่าง ๆ ที่สะสมในส่วนเนื้อเมล็ด โดยการย่อยสลายและโปรตีนในเนื้อเมล็ดได้น้ำตาลรีดิคซ์ เช่น กลูโคส มอลโตส ฟรุคโตส และกรดอะมิโน สิ่งที่ยังบอกว่าการงอกของเมล็ด คือ การเกิดจุมูกขาว (white chit) ซึ่งเป็นส่วนของรากเทียม (root cheet) และแทงทะลุส่วน pericarp และ testa ออกมา จากนั้นจึงเกิดการสร้างรากแท้ (ascrospires)

ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวคุณภาพดีซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศเดียวที่ส่งออก โดยข้าวพันธุ์นี้ได้จากการนำข้าวพันธุ์พื้นเมืองมาปลูกเพื่อศึกษาพันธุ์ ได้ข้าวที่มีลักษณะพิเศษคือ มีกลิ่นหอมและเมล็ดอ่อนนุ่มเมื่อนำมาหุงต้ม จึงทำให้ขายได้ราคาดีกว่าข้าวพันธุ์อื่น พชร ตั้งตระกูล และคณะ (2549) กล่าวว่าเมื่อนำข้าวกล้องขาวดอกมะลิ 105 มาเพาะให้งอกพบว่า มีปริมาณ GABA เพิ่มขึ้นสูงสุดหลังจาก 72 ชั่วโมง สามารถนำมาทำเป็นข้าวกล้องงอกเพื่อบริโภคได้ และการงอกยังทำให้เมล็ดข้าวกล้องอ่อนนุ่ม ง่ายขึ้น การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากคัพพะและข้าวกล้องที่ผ่าน

การเพิ่ม GABA ให้สูงขึ้นเป็นการใช้ประโยชน์จากข้าวให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายและเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวของไทย

สุพัตรา เลิศวนิชย์วัฒนา (2546) ได้ศึกษาพันธุ์ข้าวและระยะเวลาในการเพาะข้าวที่เหมาะสมเพื่อนำข้าวงอกมาใช้เป็นวัตถุดิบในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวงอก โดยเพาะข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 พันธุ์หอมนิล พันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์ข้าวเหนียวดำ เป็นเวลา 0-96 ชั่วโมง โดยใช้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่ง การสูญเสียน้ำหนักเมื่องอก ปริมาณวิตามินบี 1 ปริมาณวิตามินบี 2 ปริมาณธาตุแคลเซียม ธาตุเหล็ก และกิจกรรมของเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (SOD) เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกพันธุ์ พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซิ่งและการสูญเสียน้ำหนักเมื่องอกของข้าวแต่ละพันธุ์มีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ข้าวหอมนิลที่เพาะ 48 ชั่วโมงให้ปริมาณวิตามินบี 1 สูงสุด ปริมาณวิตามินบี 2 ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวหอมนิล และข้าวเหนียวดำให้ค่าที่สูงกว่าข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ปริมาณแคลเซียมของข้าวแต่ละพันธุ์ไม่แตกต่างกัน ปริมาณธาตุเหล็กของข้าวดอกมะลิ 105 มีค่าสูงกว่าพันธุ์อื่น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และข้าวเหนียวดำมีกิจกรรมเอนไซม์ SOD สูงสุดโดยไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เนื่องจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่เพาะ 48 ชั่วโมง ให้ปริมาณสารอาหารสูงและวัตถุดิบหาง่าย ดังนั้นจึงเลือกข้าวพันธุ์ดังกล่าวเป็นวัตถุดิบ

Okada and others (2000) รายงานว่า การได้รับ GABA ต่อเนื่องเป็นเวลา 8 สัปดาห์จะสามารถยับยั้งความดันโลหิต และลดอาการนอนไม่หลับ อีกทั้งบรรเทาการเจ็บปวดในระหว่างมีประจำเดือนของผู้หญิงวัยทองได้ อีกทั้งการรับประทานข้าวกล้องงอกอย่างต่อเนื่องจะส่งผลดีต่อสมอง ป้องกันอาการปวดหัว บรรเทาอาการท้องผูก ป้องกันมะเร็งในลำไส้ ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ป้องกันโรคหัวใจ ลดความดันโลหิต อีกทั้งยังป้องกันการเกิดโรคอัลไซเมอร์ นอกจากนี้ในข้าวกล้องงอกยังพบสารออกฤทธิ์ชีวภาพหลายชนิดและมีกิจกรรมต่างๆดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กิจกรรมทางชีววิทยาที่พบในข้าวกล้องที่เพาะให้งอก (Pre-germinated brown rice)

γ -aminobutyric acid (GABA)	ลดระดับอาการความดันต่ำ, กระตุ้นกระบวนการทำงานของสมอง, ป้องกันอาการปวดหัวและภาวะซึมเศร้าจากภาวะหลอดเลือดสมองแข็งหรือยืดหยุ่นน้อยลงและการขาดเลือดไปเลี้ยงสมองอย่างเฉียบพลัน, ป้องกันอาการเสื่อมสมรรถภาพทางเพศ, ป้องกันโรคทางจิตใจจากภาวะแก่ก่อนวัย ได้แก่ อาการนอนไม่หลับและอาการหงุดหงิด, กระตุ้นการทำงานของไต
Food fiber	บรรเทาอาการท้องผูก, ป้องกันโรคมะเร็งในลำไส้, ช่วยรักษาระดับน้ำตาลในเลือด
Inositols	เร่งกระบวนการเผาผลาญไขมัน, รักษาไขมันในตับ, ป้องกันการเกิดภาวะหลอดเลือดหัวใจตีบตัน
Ferulic acid	ทำหน้าที่เป็นสาร Scavenging superoxides, ลดระดับการสร้างเม็ดสี
Phytic acid	มีผลในการต้านอนุมูลอิสระ, ป้องกันการเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจ, ป้องกันการรวมตัวของเกร็ดเลือด
Tocotrienols	ทำหน้าที่เป็นสาร Scavenging superoxides, ปกป้องผิวหนังจากรังสี UV
Magnesium	ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ
Potassium	ลดระดับความดันเลือด
Zinc	กระตุ้นระบบสืบพันธุ์, ป้องกันการเกิดหลอดเลือดแดงแข็ง
γ -oryzanol	มีผลในการต้านอนุมูลอิสระ, ป้องกันผิวหนังเหี่ยวแห้ง, ปรับระดับคลอเลสเตอรอล
Protylendopeptide Inhibitor	มีความเป็นไปได้ในการป้องกันโรคอัลไซเมอร์

ที่มา : ดัดแปลงจาก Kayahara and Tukahara (2000)

GABA-rice ถือเป็นนวัตกรรมหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการภาคเอกชนทั้งไทยและต่างประเทศเป็นอย่างมากเนื่องจาก GABA ถือเป็นกรดอะมิโนที่ผลิตจากกระบวนการ decarboxylation ของกรดกลูตามิก (glutamic acid) กรดนี้จะมีบทบาทสำคัญในการเป็นสารสื่อประสาท (neurotransmitter) ในระบบประสาทส่วนกลาง นอกจากนี้ GABA ยังถือเป็นสารสื่อประสาทประเภทยับยั้ง (inhibitor) โดยทำหน้าที่รักษาสสมดุลในสมองที่ได้รับการกระตุ้นช่วยทำให้สมองเกิดการผ่อนคลายและนอนหลับสบาย อีกทั้งยังทำหน้าที่ช่วยกระตุ้น anterior pituitary

ซึ่งทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต (HGH) ทำให้เกิดการสร้างเนื้อเยื่อ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดความกระชับและเกิดสาร lipotropic ซึ่งเป็นสารป้องกันไขมัน (ชาญวิทย์ รัตนราศรี ม.ป.ป.)

ข้าวกล้องเมื่อผ่านกระบวนการทำให้งอกด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสมเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพที่กำลังได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในตลาดญี่ปุ่น ซึ่งในช่วง 4-5 ปีที่ผ่านมาญี่ปุ่นเริ่มมีการผลิตข้าวกล้องงอกในระดับอุตสาหกรรมมากขึ้น เช่น บริษัทขนาดใหญ่ต่างหันมาผลิตข้าวสำหรับการบริโภค (rice cooking) ที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับข้าวกล้องงอก (germinated brown rice : GBR) และขนมปังจากข้าว (rice bread : RB) รวมทั้งได้มีการพัฒนาช่องทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ทำให้ปัจจุบันสามารถพบเห็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก GBR และ RB ตามท้องตลาดทั่วไปในญี่ปุ่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในร้านค้าปลีกที่นับวันจะมีผลิตภัณฑ์จาก GBR และ RB ในรูปแบบต่างๆ วางจำหน่ายเพิ่มมากขึ้น (สถาบันอาหาร 2549)

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ลำพูน วันวิสุทธิ์ 2549)

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นชื่อของพันธุ์ข้าวหอมดอกมะลิ ซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza sativa* L. มีชื่อสามัญว่า Jasmine rice หรือที่รู้จักกันทั่วไปในชื่อ ข้าวหอมมะลิ ซึ่งข้าวขาวดอกมะลิ 105 นั้น ได้รับการรับรองจากกรมวิชาการเกษตรว่าเป็นพันธุ์ที่ขึ้นทะเบียนที่ 33/2542 เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2542 และเป็นพันธุ์พื้นเมือง รับรองเลขที่ 15/2542 เมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2542

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพืชล้มลุกตระกูลหญ้า และเป็นข้าวที่ไวต่อช่วงแสง มีลักษณะต่างๆ ของต้นข้าวดังนี้

-ขนาดต้น ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีขนาดต้นสูงประมาณ 138 เซนติเมตร มีทรงกอตั้ง ปล้องมีสีเขียว และมีการล้มของลำต้นปานกลาง

-ใบ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีใบและกาบเป็นสีเขียว ใบมีขน ลักษณะเป็นธงตั้งตรง และการแก่ของใบปานกลาง

-ดอก หรือ ช่อดอก ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีกลีบรองดอกสีฟ้า มีความยาวของกลีบรองดอกสั้น (1.5 มิลลิเมตร) มีรวงยาวปานกลาง และมีจำนวนรวงต่อตารางเมตร 166 รวง

-เมล็ด ข้าวขาวดอกมะลิ 105 มีจำนวนเมล็ดต่อรวง 132 เมล็ด เมล็ดยาวเรียวยาวมีเปลือกสีฟ้า ขนาดเมล็ดเฉลี่ยยาว 10.37 มิลลิเมตร กว้าง 2.48 มิลลิเมตร และหนา 1.96 มิลลิเมตร น้ำหนัก 1,000 เมล็ดเฉลี่ยเท่ากับ 27.7 กรัม คิดเป็นน้ำหนักข้าวเปลือก 10.64 กิโลกรัมต่อถัง

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ปลูกได้เฉพาะฤดูนาปี โดยจะออกดอกประมาณวันที่ 25 ตุลาคม และเก็บเกี่ยวได้ประมาณวันที่ 25 พฤศจิกายน ให้ผลผลิตประมาณ 363 กิโลกรัมต่อไร่

2.3 องค์ประกอบที่สำคัญทางเคมีของเมล็ดข้าว (วรรณรดา ศิริสมพงษ์ 2547; ลำพูน วันธิสุทธิ์ 2549)

2.3.1 คาร์โบไฮเดรต

2.3.1.1 สตาร์ช แหล่งเกิดของสตาร์ชจะเกิดภายในเม็ดสตาร์ช ซึ่งมีลักษณะเป็นหัวเหลี่ยมขนาด 3-9 ไมโครเมตร รวมกันอยู่เป็นกลุ่มภายในอะไมโลพลาสต์ (amyloplast) ที่มีลักษณะกลมหรือรี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7-39 ไมโครเมตร ภายในแต่ละอะไมโลพลาสต์มีสตาร์ชเกาะรวมกันอยู่ประมาณ 20-60 เม็ด และระหว่างเม็ดสตาร์ชมีกลุ่มโปรตีนแทรกอยู่เห็นเป็นร่องบนเม็ดสตาร์ช

2.3.1.2 พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง พบมากในเปลือกหุ้มผลและเปลือกหุ้มเมล็ด ซึ่งมีมากกว่าในส่วนของเนื้อและคัพพะของเมล็ดเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่วิเคราะห์ได้ในรูปของเส้นใยอาหาร ซึ่งประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลส เซลลูโลส สารเพคติน ลิกนิน และโปรตีนที่ติดอยู่

2.3.1.3 น้ำตาลอิสระ ที่พบมากในส่วนของคัพพะและเนื้อเมล็ดของข้าวคือ ซูโครส นอกนั้นเป็นแอลาบินอส กลูโคส และฟรุคโตส โดยพบว่าน้ำตาลทั้งหมดในคัพพะมีประมาณร้อยละ 5-22 ในรำมีประมาณร้อยละ 6.5 และในข้าวสารมีประมาณร้อยละ 0.52 น้ำตาล non-reduced ที่สำคัญคือ ซูโครส และน้ำตาลรีดิคซิง ที่พบมากคือ กลูโคส และฟรุคโตส

2.3.2 โปรตีน ภายในสตาร์ชมีส่วนประกอบของโปรตีนต่ำกว่าร้อยละ 1 โดยโปรตีนจะเกาะบริเวณพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช ทำให้เกิดผลกระทบตอลักษณะของสตาร์ช คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชและมีผลต่อการกระจายของเม็ดสตาร์ช ทำให้สตาร์ชมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลาคีไนซ์เปลี่ยนไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิคซิง สีและกลิ่นผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีในข้าวมากเป็นอันดับสองรองจากคาร์โบไฮเดรตโดยถ้าคิดปริมาณรวมของโปรตีนทั้งหมด โปรตีนที่ร่างกายได้รับจะมาจากเนื้อเมล็ดมากเนื่องจากสัดส่วนของเนื้อเมล็ดมากกว่าส่วนอื่น ส่วนที่มีแหล่งโปรตีนมากอีกส่วนหนึ่งคือชั้นถัดจากชั้นแอลิวโรน โดยสะสมอยู่เป็นกลุ่มโปรตีนในชั้นแอลิวโรนที่มีอัลบูมินมากในคัพพะเป็นอัลบูมินเกือบหมด ส่วนกลุ่มโปรตีนในข้าวจะมีโกบูลินมากที่สุด

2.3.3 ไขมัน ในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่จะอยู่ในลักษณะเป็นหยดกลม แทรกอยู่ในชั้นแอลิวโรน ขนาดเล็กกว่า 1.5 ไมโครเมตร ไขมันที่อยู่ในชั้นถัดจากแอลิวโรนมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมโครเมตร

และไขมันที่อยู่ในส่วนของคัพพะมีขนาดเล็กกว่า 0.7 ไมโครเมตร สำหรับในเนื้อเมล็ดจะอยู่รวมกับโปรตีนและในเมล็ดสตาร์จะมีไขมันชนิดอื่นที่มีโครงสร้างร่วมกับสารอื่น โดยส่วนใหญ่ สตาร์จะมีองค์ประกอบของไขมันอยู่ต่ำกว่าร้อยละ 1 ชนิดของไขมันที่อยู่ในสตาร์จะมีผลต่อคุณสมบัติของสตาร์ โดยจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวของน้ำกับสตาร์ เมื่อเกิดฟิล์มและแป้งเปียก (paste) ไขมันจะรวมตัวกับแอมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เมื่อต่อปฏิกิริยาทำให้ฟิล์มและแป้งเปียกมีลักษณะที่บวมและขุ่น นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณผิวของเมล็ดสตาร์จะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น แป้งข้าวโพด แป้งสาลี แต่สำหรับไขมันที่รวมตัวเชิงซ้อนกับแอมิโลสจะไม่ก่อให้เกิดกลิ่น เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง

2.3.4 เถ้า แร่ธาตุ และวิตามิน โดยทั่วไปข้าวสารมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่างร้อยละ 0.26-1.95 โดยน้ำหนัก ข้าวเมล็ดยาว ข้าวเมล็ดยาวปานกลาง และข้าวเมล็ดสั้นของสหรัฐอเมริกา มีปริมาณเถ้าโดยเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.69, 0.64 และ 0.61 ตามลำดับ

ชนิดของ Macrominerals ในเถ้าที่พบได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ซิลิกอน แมกนีเซียม แคลเซียม และเหล็ก ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวขึ้นกับปริมาณแร่ธาตุในดินที่ปลูกข้าว แต่อย่างไรก็ตามพบว่าการกระจายตัวของปริมาณเถ้าดังนี้ คือ ในรำร้อยละ 51 ในคัพพะร้อยละ 10 ในเปลือกร้อยละ 11 ในข้าวสารร้อยละ 28

สำหรับวิตามินพบมากในข้าวกล้องมีมากกว่าข้าวสาร โดยเฉพาะในส่วนของคัพพะและชั้นแอลิวโรน ไรโอมีนและไนอาซินเป็นวิตามินสำคัญที่สุดในข้าว พบมากที่ชั้นนอกสุดของเอนโดสเปิร์มและน้อยสุดในเอนโดสเปิร์ม กระบวนการสีข้าวทำให้สูญเสียวิตามินไปถึงร้อยละ 50

2.4 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับมะเฒ่า (โอภาส บุญเส็ง 2550)

พืชตระกูลมะเฒ่านี้มีด้วยกัน 170 ชนิด กระจายอยู่ในเขตร้อนของแอฟริกา เอเชีย ออสเตรเลีย หมู่เกาะของอินโดนีเซีย เกาะต่าง ๆ ในมหาสมุทรแปซิฟิก มะเฒ่ามีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Antidesma thwaitesianum* ที่พบมากในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกัน 5 พันธุ์ คือ มะเฒ่าสร้อย มะเฒ่าไขปลา มะเฒ่าควาย มะเฒ่าคง และมะเฒ่าหลวง

มะเฒ่าเป็นไม้ยืนต้น ไม้ผลัดใบ ต้นสูง 5-10 เมตร มะเฒ่าเมื่อโตเต็มที่จะมีขนาดลำต้นใหญ่ อายุยืนยาว มะเฒ่าเป็นไม้พื้นเมืองเนื้อแข็ง แตกกิ่งก้านมาก กิ่งแขนงแตกเป็นพุ่มทรงกลม ใบเป็นใบเดี่ยว ผิวใบเรียบเป็นมันทั้งสองด้าน สีเขียวสด ใบออกหนาแน่นเป็นร่มเงาได้ดี ดอกขนาดเล็กสีขาวอมเหลือง ออกดอกเป็นช่อยาวตามซอกใบและปลายกิ่ง ช่อดอกเป็นแบบ raceme คล้ายช่อดอกพริกไทย ดอกแยกเพศกันอยู่คนละต้นเป็นแบบ dioecious ออกดอกช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน

สุกในเดือนสิงหาคม-กันยายน ผลมีขนาดเล็กเป็นพวง ภายใน 1 ผลประกอบด้วย 1 เมล็ด เปลือกหุ้มเมล็ดแข็ง ผลดิบสีเขียวอ่อนหรือเขียวเข้ม มีรสเปรี้ยว พอสุกจะเปลี่ยนเป็นสีแดงและม่วงดำในที่สุด ผลสุกจะมีรสหวานอมเปรี้ยวปนฝาด ขึ้นตามป่าเบญจพรรณ ป่าดิบแล้ง และตามหัวไร่ปลายนาของทุกภาคในประเทศไทย จังหวัดกาญจนบุรีมีต้นมะเมี๊ยะเกิดขึ้นในป่าเป็นจำนวนมาก ขยายพันธุ์ด้วยการตอนกิ่ง

ลักษณะดีเด่นของมะเมี๊ยะคือ มีสารอาหารที่ร่างกายต้องการหลายชนิด เช่น แคลเซียม เหล็ก วิตามินอี วิตามินบี 1 และบี 2 มีกรดอะมิโน และสารแอนโทไซยานิน ซึ่งให้สีม่วงแดง มีฤทธิ์ทำให้เส้นเลือดมีความยืดหยุ่นดี โดยเฉพาะเส้นเลือดที่ไปหล่อเลี้ยงสายตา และยังมีคุณสมบัติเป็นสารต่อต้านอนุมูลอิสระ ป้องกันการแก่ชราของเซลล์และเพิ่มภูมิคุ้มกันอีกด้วย

โภชนาการ

ผลมะเมี๊ยะ 100 กรัม ให้พลังงานแก่ร่างกาย 75.20 กิโลแคลอรี ประกอบด้วย โปรตีน 0.63 กรัม ไขมัน 0.79 กรัม คาร์โบไฮเดรต 17.96 กรัม แคลเซียม 13.30 มิลลิกรัม เหล็ก 1.44 มิลลิกรัม วิตามินซี 8.97 มิลลิกรัม วิตามินบี 14.50 ไมโครกรัม วิตามินบี 20.03 ไมโครกรัม วิตามินอี 0.38 ไมโครกรัม

2.5 การผลิตเครื่องดื่มจากัญพืช

2.5.1 ประเภทเครื่องดื่มจากัญพืช

ัญพืชเป็นแหล่งของสารอาหารที่ให้พลังงาน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน วิตามิน และเกลือแร่ที่จำเป็นหลายชนิด ดังนั้นจึงมีการนำัญพืชมาผลิตเครื่องดื่ม เช่น ข้าว ข้าวโพด และถั่วเหลือง รวมทั้งัญพืชชนิดอื่นอีกหลายชนิด เป็นอีกทางเลือกหนึ่งให้กับผู้ที่แพ้นมวัวและยังมียาต้านการอักเสบ (Durand and others 2003)

นมจากถั่วชนิดต่าง ๆ ในปัจจุบันผลิตภัณฑ์นมจากถั่วชนิดต่าง ๆ เช่น ถั่วเหลือง ถั่วลิสง กำลังได้รับความนิยมจากผู้บริโภคมากขึ้น เนื่องจากมีโปรตีนสูงและมีคุณภาพดี นมถั่วเหลืองจัดเป็นเครื่องดื่มที่สกัดได้จากถั่วเหลือง โดยทั่วไปนมถั่วเหลืองที่มีคุณภาพดีต้องมีลักษณะดังนี้คือ กลิ่นหอมไม่เหม็นเขียว (aroma) ความรู้สึกเมื่อรับประทาน (mouthfeel) ต้องไม่ข้นหนืดหลังดื่ม ลักษณะปรากฏ (appearance) ซึ่งได้แก่ สีขาวนวล และอนุภาคต้องไม่ตกตะกอนแยกชั้น หรือการตกตะกอนของแข็ง (Hayta and others 2003)

Lee and Beuchat (1992); Nelson and others (1976) ได้ผลิตเครื่องดื่มจากัญพืชตระกูลถั่วลิสงและถั่วเหลือง โดยใช้พืช 2 ชนิดนี้เป็นองค์ประกอบหลัก แล้วใช้ส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพด้านความคงตัวและรสชาติ เช่น น้ำตาล ตัวเชื่อมประสาน (emulsifier) สารให้



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 12 มิ.ย. 2556
เลขทะเบียน 208837
เลขเรียกหนังสือ

ความคงตัว (stabilizer) สารเจือปน (additive) และสารให้กลิ่นรส (flavor) มีการศึกษาคุณสมบัติด้านกายภาพและเคมีซึ่งเกิดจากผลของสภาวะการผลิตที่มีต่อผลิตภัณฑ์ พบว่า ผลิตภัณฑ์เกิดอันตรกิริยาระหว่างส่วนผสมที่เป็นคอลลอยด์กับสตาร์ช โดยสตาร์ชจะเกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบหลายชนิด เช่น อีออนต่าง ๆ น้ำตาล ไขมัน น้ำ วัสดุที่เป็นสารพอลิเมอร์ ซึ่งการเกิดอันตรกิริยาเหล่านี้ติดตามได้โดยการวัดคุณสมบัติด้านความร้อน (Thermal properties) ของระบบอาหาร เช่น การใช้เครื่อง Difference Scanning Calorimetry (DSC) และ Difference Thermal Analysis (DTA)

Hinds and others (1997) ศึกษากระบวนการให้ความร้อนของการผลิตเครื่องดื่มจากถั่วลิสงคั่วที่มีผลต่อคุณลักษณะของเครื่องดื่ม โดยทำการทดลอง 2 วิธีคือ วิธีที่ 1 นำเครื่องดื่มนมถั่วลิสงบรรจุในขวดแก้ว (bottle - processed) หลังจากทำการhomogenization ที่ 20.7×10^6 Pa แล้วจึงให้ความร้อนที่ 72 °ซ เป็นเวลา 2 นาที หรือที่ 111 °ซ เป็นเวลา 8 นาที วิธีที่ 2 นำเครื่องดื่มนมถั่วลิสงบรรจุใน Kettle-pasteurized ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 72 °ซ, 77 °ซ, 82 °ซ เป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงทำการ homogenization ที่ระดับ 20.7×10^6 Pa ที่ 72 °ซ, 77 °ซ, 82 °ซ เก็บรักษาเป็นเวลา 14 วัน ที่ 1 °ซ พบว่า เครื่องดื่มนมถั่วลิสงมีปริมาณของแข็งทั้งหมด 99.8-99.9 กรัม/100 กรัมอาหาร โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของขนาดอนุภาค น้อยกว่า 34 μm . และพบว่า การผลิตเครื่องดื่มจากถั่วลิสงวิธีที่ 2 ซึ่งทำการพาสเจอร์ไรซ์ที่ 72 °ซ แล้วจึงทำการโฮโมจีไนซ์จะได้เครื่องดื่มที่มีขนาดของอนุภาคที่เล็กกว่าวิธีที่ 1 ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีคุณภาพด้านประสาทสัมผัส คือความรู้สึกเคลือบที่ปากหลังดื่ม (mouth feel) มีความหนืดคล้ายกับ full-fat-milk มีความคงตัวทางกายภาพที่ดี มีกลิ่นหอมของถั่วลิสงคั่ว และมีอายุการเก็บรักษานาน และเมื่อพิจารณาถึงขนาดของอนุภาคของเครื่องดื่มนมถั่วลิสง พบว่ามีการใช้สารอิมัลซิไฟเออร์ คือ คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.02 และ hydrogenated monody-glyceride ร้อยละ 0.2 โดยอิมัลซิไฟเออร์นี้จะไปทำหน้าที่ในการลดแรงดึงดูดของน้ำมันและน้ำ และมีการรวมตัวกันระหว่างส่วนที่ชอบน้ำของโปรตีนและไขมันที่เกิดการรวมตัวกันระหว่างทำการพาสเจอร์ไรซ์ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง ฉะนั้นหากมีการโฮโมจีไนซ์หลังการพาสเจอร์ไรซ์ จะสามารถไปทำลายการรวมตัวกันระหว่างโปรตีนและไขมันจะได้ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีขนาดอนุภาคเล็กลง

Bodenstap and others (2003) ได้ศึกษาบทบาทของอนุภาค การกระจายตัวของของเหลว และการไหลของนมถั่วเหลืองที่มีผลต่อการแยกตัว ทั้งนี้เนื่องจากนมถั่วเหลืองจัดเป็นของเหลวข้น ต้องใช้แรงดึงดูดทางโครงสร้างเคมีชนิดต่าง ๆ เข้าช่วยเพื่อให้เกิดความคงตัว ผลการศึกษาพบว่ามีความแรง 3 ชนิดที่ทำให้ของเหลวที่เป็น suspension สามารถรวมอยู่กันได้ คือ 1) แรงที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคเริ่มต้นที่มีในตัวเอง ได้แก่ electrostatic charges หรือ entropic repulsion 2) แรงดึงดูดที่มีอยู่ในวัสดุบริเวณผิวของอนุภาค ซึ่งต่อมาจะมีผลทำให้เกิดแรง London-van der

waals 3) แรงที่เกิดเนื่องจากการให้ความร้อนคือ Brownian randomizing force ซึ่งแรงเหล่านี้ทำให้อนุภาคเกิดการเคลื่อนไหวได้

Potter and others (2007) ศึกษาคุณลักษณะของเครื่องคั้นนมถั่วเหลืองผสมบลูเบอร์รี่ป่า โดยผลิตเครื่องคั้นถั่วเหลือง 4 สูตร คือ สูตร 1) ใช้ soy isolate ปริมาณร้อยละ 2.8 เป็นวัตถุดิบ และน้ำผลไม้เข้มข้นเป็นตัวให้ความหวานคือ น้ำแอปเปิ้ลเข้มข้นปริมาณร้อยละ 8.5 และน้ำองุ่นขาวเข้มข้นปริมาณร้อยละ 7.9 สูตร 2) ใช้ soy isolate ปริมาณร้อยละ 2.8 เป็นวัตถุดิบและ brown rice syrup ปริมาณร้อยละ 8.4 เป็นตัวให้ความหวาน สูตร 3) ใช้ soymilk powder ปริมาณร้อยละ 5.4 เป็นวัตถุดิบ และน้ำผลไม้เข้มข้นเป็นตัวให้ความหวานคือ น้ำแอปเปิ้ลเข้มข้นปริมาณร้อยละ 8.3 และน้ำองุ่นขาวเข้มข้นปริมาณร้อยละ 7.7 สูตร 4) ใช้ soymilk powder ปริมาณร้อยละ 5.4 เป็นวัตถุดิบและ brown rice syrup ปริมาณร้อยละ 8.4 เป็นตัวให้ความหวาน โดยทุกสูตรผสมน้ำบลูเบอร์รี่เข้มข้นร้อยละ 12 และเพคตินร้อยละ 0.5 และฆ่าเชื้อโดยการพาสเจอร์ไรซ์พบว่า มีปริมาณแอนโทไซยานิน 35 มิลลิกรัมต่อเครื่องคั้น 100 กรัม ในเครื่องคั้นที่ใช้ soy isolate เป็นวัตถุดิบและน้ำผลไม้เข้มข้นเป็นตัวให้ความหวานจะมีความเป็นกรดมากที่สุด ส่วนในสูตรที่ใช้ soy isolate เป็นวัตถุดิบและ rice syrup เป็นตัวให้ความหวานจะมีความหนืดต่ำที่สุดและพบว่า เครื่องคั้นสูตรที่ 1 ได้คะแนนการยอมรับมากที่สุด

นมจากพืชตระกูลข้าว ผลิตได้จากการแยกสลายวัตถุดิบที่มีขนาดและอนุภาคในรูปแบบที่แตกต่างกับนมวัว จึงทำให้มีลักษณะที่แตกต่างจากนมวัว โดยทั่วไปนมข้าวมักพบปัญหาในด้านความคงตัว คือผลิตภัณฑ์เกิดการแยกชั้น หรือเกิดการตกตะกอนของของแข็งเนื่องจากมีอนุภาคขนาดใหญ่ Durand and others (2003) ศึกษาความคงตัวและขนาดอนุภาคของนมข้าว นมข้าวโอ๊ต นมข้าว และนมถั่วเหลืองที่ผ่านกระบวนการ UHT โดยการใช้ turbidity analyzer ในการวัดค่าความคงตัว พบว่าสาเหตุที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียความคงตัว คือ การเกิด sedimentation หรือการเกิด creaming พบว่า ในตัวอย่างนมวัวมีความคงตัวมากที่สุดและในตัวอย่างนมข้าวมีความคงตัวน้อยที่สุด (นมข้าว < นมข้าวโอ๊ต < นมถั่วเหลือง < นมวัว) เป็นเพราะว่า ขนาดอนุภาคของนมวัวมีขนาดเล็กกว่าวัตถุดิบชนิดอื่น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคของนมวัวกับนมข้าวแล้วพบว่า นมวัวมีขนาดอนุภาคเพียง 0.50 μm . ในขณะที่ในนมข้าวมีขนาดอนุภาคถึง 1.22 μm . ฉะนั้นในนมข้าวจึงพบอนุภาคที่ตกตะกอนซึ่งเป็นสาเหตุให้เสียความคงตัวมากกว่าในนมวัว

Lee and Rhee (2003) ศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตเครื่องคั้นจากข้าวและเมล็ดสน (pine nut) โดยมีการเตรียมเครื่องคั้นดังนี้ แช่ข้าว 3 ชั่วโมง ผสมเมล็ดสนกับข้าว 1 ส่วนต่อน้ำ 8 ส่วน ทำการบดครั้งที่ 1 แล้วใส่เกลือ (0.15% NaCl) ทำการบดครั้งที่ 2 แล้วโฮโมจีไนส์ที่ 0, 19.6, 29.4 MPa แล้วปรับ pH ด้วย 1.0 N NaOH (pH 5.5, 6.5, 7.5) ทำการฆ่าเชื้อที่ 121 °ซ

เป็นเวลา 20 นาที เก็บรักษา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 4 , 25 , 40 °ซ พบว่า สภาวะที่ดีที่สุดในการทำเครื่องดื่มนมจากข้าวที่มีเมล็ดสนเป็นส่วนประกอบคือ pH 6.5 และ โฮโมจิไนส์โดยให้ความดันที่ 19.6 MPa ใช้อุณหภูมิเก็บที่ 4-25 °ซ เนื่องจากให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพที่ดีที่สุด โดย pH ของตัวอย่างจะคงที่มากที่สุดหลังจากให้ความร้อน ปริมาณการละลายของสตาร์ชมีความใกล้เคียงกัน หลังจากเก็บ 5 วันและความหนืดของตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย

Prahavat (1989) ศึกษาการผลิตนมข้าวเจ้าผสมนมวัว โดยใช้ข้าวเจ้าพันธุ์นางมัล เอส-4 ในรูปของข้าวสารและข้าวกล้อง ใช้อัตราส่วน ข้าว:น้ำ เท่ากับ 1:13 (โดยน้ำหนัก) และเติมน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 2.50 (โดยน้ำหนัก) นมข้าวเจ้าที่ได้เมื่อนำมาผสมกับนมวัวในอัตราส่วน นมข้าวเจ้า : นมวัว เท่ากับ 2.50 : 1 (โดยปริมาตร) พบว่า นมข้าวเจ้าที่ทำจากข้าวพันธุ์นางมัล เอส-4 ชนิดข้าวสารมีการยอมรับด้านสี กลิ่น และรส มากกว่าข้าวกล้อง พบว่ามีปริมาณ โปรตีนร้อยละ 1.32 ไขมันร้อยละ 3.35 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 7.45 และพลังงาน 65 แคลอรี ต่อ 100 กรัม ซึ่งการเติมนมวัวลงไป ในอัตราส่วนดังกล่าวนี้จะช่วยเพิ่มปริมาณไลซีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนจำเป็นที่มีค่าสุดของโปรตีนในนมข้าวเจ้าให้สูงขึ้น

สมฤดี วิบูลพัฒนวงศ์ (2540) ศึกษาสูตรและกระบวนการผลิตเครื่องดื่มนมเลียนแบบนมจากปลายข้าวเจ้า โดยใช้ปลายข้าวเจ้าที่มีระดับต่างกัน 3 พันธุ์ คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ข้าวขาวตาแห้ง 17 ข้าวกล้อง 25 อัตราส่วนแป้ง : น้ำ เท่ากับ 1 : 14 (โดยน้ำหนัก) อุณหภูมิในการให้ความร้อน 65 °ซ เวลา 3 นาที ปริมาณน้ำตาลทรายร้อยละ 2.50 และน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 3.00 ได้ปรับปรุงคุณค่าทางโภชนาการโดยการเติมโซเดียมเคซีนร้อยละ 3.00 และใช้ RECODAN-RS VEG® (ประกอบด้วย โมโนไดกลีเซอไรด์ โซเดียมอัลจินต คาร์ราจีแนน และกัวร์กัม) ร้อยละ 0.18 (โดยน้ำหนัก) เพื่อปรับปรุงลักษณะปรากฏด้านความคงตัว ทำให้เครื่องดื่มนมมีความคงตัวดีไม่เกิดการแยกชั้นและตกตะกอน องค์ประกอบทางเคมีของเครื่องดื่มนมชนิดนี้พบว่ามีความชื้นร้อยละ 87.53 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 6.84 โปรตีนร้อยละ 2.79 ไขมันร้อยละ 2.28 เยื่อใยร้อยละ 0.18 เถ้าร้อยละ 0.38

2.5.2 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการผลิตเครื่องดื่มนมจากธัญพืช

โดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติทางด้านเคมีกายภาพ (physiochemical properties) ของเครื่องดื่มนมเป็นผลมาจากปัจจัยหลายปัจจัย รวมทั้งสมบัติและหน้าที่ของวัตถุดิบที่ใช้ (functionality of ingredients) สภาวะการแปรรูป (processing conditions) ซึ่ง Durand and others 2003 พบว่า ความคงตัวของเครื่องดื่มนมธัญพืชที่คล้ายนม นั้น ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค (particle size) ซึ่งขนาดของอนุภาคขึ้นกับชนิดของธัญพืชที่ใช้ผลิต วิธีการบด และการโฮโมจิไนส์ โดยความคงตัวของเครื่องดื่มนมจะมากขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง นอกจากนี้เครื่องดื่มนมจากธัญพืชมีส่วนประกอบหลักคือ

สตาร์ช ดังนั้นสมบัติที่เกี่ยวกับการเกิด gelatinization และ retrogradation รวมทั้งสมบัติทางด้าน rheology มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มห่อหุ้ม (Goel and others 1998) การเกิด retrogradation ของสตาร์ชมีผลต่อค่าความหนืด (viscosity) เมื่อเครื่องดื่มห่อหุ้มจากธัญพืชมีอายุการเก็บนานขึ้น ลักษณะทางด้าน rheology ของเครื่องดื่มห่อหุ้มที่มีส่วนประกอบของสตาร์ชมีความสำคัญ เพราะสมบัตินี้มีความเกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัส (texture) ความคงตัว (stability) ของผลิตภัณฑ์

2.5.2.1 ความสำคัญของขนาดอนุภาค

การบดเป็นการลดขนาดอนุภาคขององค์ประกอบในเครื่องดื่มห่อหุ้ม ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากเนื่องจากผู้ที่บริโภคเครื่องดื่มห่อหุ้มเข้าไปแล้ว ควรจะได้รับความรู้สึกละเอียดทางประสาทสัมผัสที่เรียบเนียน (smoothness) และควรเกิดความรู้สึกลึกถึงแรงต้านของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้รับความรู้สึกจากองค์ประกอบของอาหาร แรงต้านดังกล่าวนี้เกิดจาก ขนาด มวลของสาร ความหนาแน่น และการกระจายตัวของอนุภาค การลดขนาดอนุภาคเป็นการทำให้ขนาดของชิ้นอาหารมีขนาดลดลง การทำให้อาหารเป็นผง (power) และเป็นอนุภาคเล็ก ๆ (particle) การทำให้อัตราการบดมีขนาดเล็กลงมาก ๆ เช่น ขนาดอนุภาคของของเหลวที่ไม่ผสมรวมตัวกันได้หมายถึง การทำโฮโมจีไนเซชัน (homogenization) หรือการทำให้เกิดอิมัลชัน (emulsion) ประโยชน์ของการลดขนาดคือ เพิ่มอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของวัตถุดิบทำให้มีขนาดเหมาะสมตามบทบาทหน้าที่ (functional property) และทำให้ผลิตภัณฑ์รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันดีขึ้น (Hinds and others 1997) กระบวนการบดที่สำคัญในการผลิตนมธัญพืช คือ

การบดเปียก หมายถึงการแช่ (soaking) วัตถุดิบก่อนทำการบด เป็นอีกกระบวนการหนึ่งที่ต้องทำเพื่อให้เนื้อเยื่อแตกผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ มีผลให้เนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม และทำให้ได้ขนาดอนุภาคที่เล็ก กระบวนการแช่ที่อุณหภูมิห้องทำให้เกิดการปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ โดยจะไปมีผลต่อสี รสชาติ และกลิ่นของผลิตภัณฑ์ การแช่ในน้ำอุ่นเป็นวิธีการแช่ที่ใช้โดยทั่วไปเพื่อลดระยะเวลา เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มอัตราการซึมผ่านของน้ำ อย่างไรก็ตามการแช่ต้องใช้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจล (gelatinization temperature) เพื่อป้องกันไม่ให้สารหรือของแข็งต่าง ๆ หลุดออกในระหว่างการแช่ (Bello and Tolaba 2004)

Bello and Tolaba (2004) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวเปลือก ข้าวกล้องและข้าวขัดขาวในระหว่างการแช่ โดยใช้สภาวะของการแช่ คือ 1) การแช่ในน้ำธรรมดาอุณหภูมิ 25, 45, 55 และ 65 °ซ 2) แช่ในสารละลายกรด HCl, CH₃COOH และ H₃PO₄ (ที่ความเข้มข้น 0.1-10 กรัม/100 มิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 35 และ 55 °ซ 3) แช่ในสารละลาย

ต่าง (NaOH ความเข้มข้น 0.1, 0.3, 0.6 และ 1 กรัม/100 มิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 35 และ 55 °ซ พบว่า เมล็ดข้าวที่กะเทาะเปลือกจะลดระยะเวลาและพลังงานในการแช่ โดยข้าวขาวจะสามารถเพิ่ม อัตราการดูดซับน้ำได้มาก ลดระยะเวลาในการแช่ การเติมกรดในสารละลายที่ใช้แช่ไม่มีผลในการ ช่วยดูดซับน้ำ โดยพบว่า เมล็ดข้าวมีอัตราการดูดซับน้ำได้น้อยกว่าแช่ในน้ำธรรมดา การเติม สารละลายต่างช่วยลดระยะเวลาในการแช่โดยเฉพาะการใช้ NaOH ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 จะช่วย ให้เมล็ดข้าวดูดซับน้ำได้ดีที่สุด

2.5.2.2 ความสำคัญของสารให้ความคงตัว

เนื่องจากผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากข้าวมักเกิดการแยกชั้นระหว่างส่วนที่เป็น ของเหลวและของแข็ง การใช้สารให้ความคงตัวจะช่วยให้อัตราการแยกชั้นไม่เกิดการแยกชั้น ทำให้มี ลักษณะปรากฏดีขึ้น (Rusch 1971) เมื่อละลายสารให้ความคงตัวลงในของเหลว สารพวกนี้จะเกาะ กับโมเลกุลของน้ำ เรียกว่า ไฮเดรชัน (hydration) และด้วยการเกาะกับส่วนนี้จะทำให้น้ำไม่มีการ ลอยตัวเป็นอิสระและไม่แยกตัวออกจากส่วนผสม (Glicksman 1969) และเนื่องจากเครื่องดื่มจาก ข้าวมักจะมีปริมาณ โปรตีนต่ำทำให้ผลิตภัณฑ์มี mouth feel ไม่ดีและมีปริมาณ body ต่ำ การใช้สาร ให้ความคงตัวจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติดีขึ้นโดย mouth feel และ body ให้กับผลิตภัณฑ์ โดยไม่ทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไปจนไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค (Rusch 1971)

สารให้ความคงตัวที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มเป็นพวกไฮโดรคอลลอยด์ มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุม rheology ของผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวตลอดการเก็บ รักษา โดยปกติมักใช้ในปริมาณต่ำ โดยใช้ความเข้มข้นในช่วงร้อยละ 0.05-5.00 สารให้ความคงตัว ที่ดีควรมีความสามารถรักษาความคงตัวให้แก่ผลิตภัณฑ์ได้อย่างน้อย 3 เดือนโดยไม่ทำให้เกิดการ เปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรสชาติในผลิตภัณฑ์ ถูกต้องตามกฎหมาย สามารถละลายได้ง่ายในน้ำ เย็น มีความหนืดต่ำเมื่อละลายน้ำ และไม่ทำให้เกิดเจล (Kaufman and Garti 1984) ทั้งนี้ปริมาณที่ใช้ ต้องเหมาะสม หากน้อยเกินไปจะไม่สามารถป้องกันการตกตะกอนได้ แต่หากใช้ปริมาณมาก เกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความหนืดสูงเกินความต้องการของผู้บริโภค

ไฮโดรคอลลอยด์ หมายถึง พอลิแซ็กคาไรด์และโปรตีนต่าง ๆ ที่ถูกพิจารณาว่า เป็น colloidal materials ในเฟสของน้ำ เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์มีขนาดของโมเลกุลใหญ่มากเมื่อ เปรียบเทียบกับน้ำ การแบ่ง ไฮโดรคอลลอยด์ด้านอาหาร (food hydrocolloids) สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ แบ่งตามหน้าที่ เช่น สารที่ทำให้เกิดความข้นหนืดหรือสารที่ทำให้เกิดเจล และแบ่งตาม แหล่งที่มาของวัตถุดิบ เช่น สารสกัดจากสาหร่าย สารสกัดจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ยาง เมล็ด ราก หัว สารสกัดจากการหมักเชื้อจุลินทรีย์และสารสกัดจากการดัดแปรทางเคมี

ไฮโดรคอลลอยด์ต่าง ๆ มีลักษณะตั้งแต่ใกล้เคียงกับของเหลวหรือใกล้เคียงกับของแข็ง โดยสมบัติที่เรียกว่า liquid-like properties เกิดจากส่วนประกอบส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 80 เป็นน้ำ ส่วนสมบัติที่เรียกว่า solid-like properties เนื่องจากเกิดการสร้างโครงสร้างตาข่าย (network) ขึ้น ซึ่งระบุลักษณะดังกล่าวด้วยค่า elastic modulus สำหรับ hydrogels ของพอลิแซ็กคาไรด์ มักใช้ทอมของ junction zone ในการอธิบาย crosslink เนื่องจากแต่ละ crosslink เกี่ยวข้องกับการรวมกลุ่มกัน (aggregates) ของสายโซ่โมเลกุลที่เป็นระเบียบ เช่น helices โดยพันธะที่เกี่ยวข้องใน junction zone มักเป็นพันธะ non-covalent เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก และ hydrophobic interactions เป็นต้น (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต 2547; Phillips and Williams 2000)

สมบัติทั่วไปของไฮโดรคอลลอยด์

การใช้ไฮโดรคอลลอยด์มีความจำเป็นต้องทราบสมบัติของไฮโดรคอลลอยด์ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของไฮโดรคอลลอยด์อย่างสมบูรณ์ ได้แก่ การกระจายตัวในน้ำ ความหนืด และการเกิดเจล ซึ่งเป็นสมบัติที่ต้องการของไฮโดรคอลลอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหาร

ไฮโดรคอลลอยด์ส่วนใหญ่ละลายได้ดีในน้ำร้อน บางชนิดละลายได้ดีในน้ำเย็น และบางชนิดละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ การกระจายตัวในน้ำจะผันแปรแตกต่างกัน เรียกว่า degree of solubility ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อุณหภูมิและความเข้มข้น (นิธิยา รัตนปนนท์ 2545) การทำให้ไฮโดรคอลลอยด์จับกับน้ำได้อาจมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องให้อนุภาคของไฮโดรคอลลอยด์แต่ละอนุภาคที่ประกอบกันเป็นผงแห้ง แยกจากกันได้อย่างอิสระเมื่อเติมเข้าไปในเฟสส่วนที่เป็นน้ำ (aqueous phase) เพื่อป้องกันการเกิดลักษณะการจับเป็นกลุ่ม (agglomeration) ซึ่งเกิดจากอนุภาคของไฮโดรคอลลอยด์บางส่วนชุ่มไปด้วยน้ำแล้วพองตัวแต่ที่ด้านนอกหุ้มส่วนของไฮโดรคอลลอยด์ที่ไม่ถูกน้ำและเป็นผงแห้งอยู่ภายใน เมื่ออนุภาคของผงไฮโดรคอลลอยด์มีการกระจายตัวที่ดี จะเริ่มดูดซับน้ำไว้ในโมเลกุล โดยอนุภาคขนาดเล็กจะดูดซับน้ำได้เร็วกว่าอนุภาคขนาดใหญ่กว่า (รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต 2547)

เมื่อไฮโดรคอลลอยด์ละลายในน้ำจะได้สารละลายที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยแต่ละชนิดจะมีความหนืดแตกต่างกัน ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืด ได้แก่ ธรรมชาติของพอลิแซ็กคาไรด์ กัม อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ละลาย ความเข้มข้นของสารละลาย และระยะเวลาที่ใช้ในการละลาย (นิธิยา รัตนปนนท์ 2545)

ในอุตสาหกรรมอาหารมีการนำพอลิแซ็กคาไรด์ไปใช้ประโยชน์เป็นสารเพิ่มความคงตัว(stabilizer) สารเพิ่มความหนืด (thickener) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) suspending agent, gelling agent, film-forming agent, encapsulating agent และหน้าที่อื่น ๆ ในผลิตภัณฑ์อาหาร

สมบัติและหน้าที่ดังกล่าวจะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีคุณภาพดีขึ้น เช่น มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี และมีอายุการเก็บได้นานขึ้น (นิธิยา รัตนปนนท์ 2545)

หน้าที่เบื้องต้นของไฮโดรคอลลอยด์ในระบบอาหารทั่ว ๆ ไป คือ ความสามารถในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของน้ำในอาหาร ที่สำคัญคือทำให้โมเลกุลของน้ำบางส่วนไม่เคลื่อนที่ส่วนที่ถูกจับไว้ในไฮโดรคอลลอยด์จะไม่หลุดออกมา ส่วนหน้าที่อื่น ๆ ที่เด่นชัด คือ ช่วยลดอัตราการระเหยของน้ำ เปลี่ยนแปลงจุดเยือกแข็ง ปรับเปลี่ยนการเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างการเก็บในสภาพแช่เยือกแข็ง ควบคุมและปรับสมบัติในการไหล พยุงอนุภาคที่ไม่ละลายน้ำให้แขวนลอย ทำให้โฟมและอิมัลชันอยู่ตัว และทำให้หยดน้ำมันกระจายอยู่ในระบบที่มีไฮโดรคอลลอยด์อยู่ด้วย (สุวรรณ สุภูมิรศ 2543) ตัวอย่างไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่

อัลจีเนต (alginate)

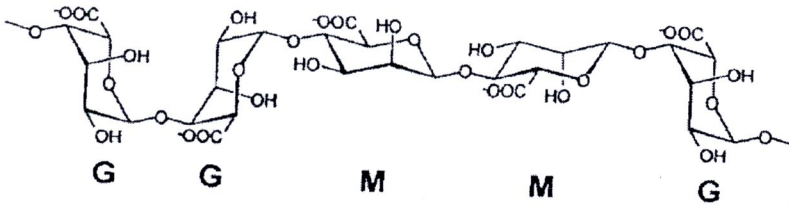
อัลจีเนตเป็นพวก hydrophilic colloidal carbohydrate ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเล สีสน้ำตาลประกอบด้วยโมโนเมอร์จำนวนมาก (จำนวนตั้งแต่ 100 - 300 โมโนเมอร์) เชื่อมต่อกัน มีโครงสร้างเป็น glycuroglycan สายยาว ซึ่งเป็นพอลิเมอร์สายตรงประกอบด้วย monomeric 2 ชนิด คือ D-mannuronic acid และ L-guluronic acid ซึ่งเป็น C-5 epimer มีโครงสร้างคล้ายกัน แต่แตกต่างกันที่ตำแหน่งของหมู่คาร์บอกซิล ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างแบบ block มีความแตกต่างกันมาก พอลิเมอร์ของอัลจีเนตเกิดการเชื่อมต่อของ monomer ด้วยพันธะไกลโคซิดิก (1, 4) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของโมเลกุลหนึ่งกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของอีกโมเลกุลหนึ่ง (Imeson 1997) ซึ่งจะทำให้เกิดสายพอลิเมอร์ได้ทั้งหมด 3 ชนิด คือ

M-block ประกอบด้วย D-mannuronic acid เพียงอย่างเดียว ซึ่งเกิดจาก equatorial group ทั้ง C₁ และ C₄ ทำให้สายพอลิเมอร์มีลักษณะเป็นเส้นตรงคล้ายริบบิ้น

G-block ประกอบด้วย L-guluronic acid เพียงอย่างเดียว เกิดจาก axial group ทั้ง C₁ และ C₄ ทำให้สายพอลิเมอร์มีลักษณะคดไปมา

MG-block ประกอบด้วย D-mannuronic acid และ L-guluronic acid การจัดเรียงตัวของ D-mannuronic acid และ L-guluronic acid ในสายพอลิเมอร์มีผลต่อลักษณะและสมบัติของอัลจีเนต

สมบัติของอัลจีเนตขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ การเกิดพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิดนั้น จะมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของสาหร่าย และสมบัติทางกายภาพของอัลจีเนตขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด คือ อัลจีเนตที่มีปริมาณ MG-blocks มาก จะมีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ดังภาพที่ 2



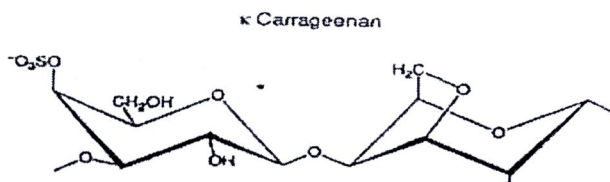
ภาพที่ 2 โครงสร้างของอัลจีเนต (Phillips and Williams 2000)

ความหนืดของสารละลายอัลจีเนตขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้น และน้ำหนักโมเลกุลของอัลจีเนตพอลิเมอร์ โดยสารละลายอัลจีเนตที่ shear rate ต่ำ มีค่าความหนืดสูง โมเลกุลของอัลจีเนตจะเรียงตัวกันอย่างสับสน แต่ที่ shear rate สูง ความหนืดจะลดลง เนื่องจากโครงสร้างมีแนวโน้มการจัดเรียงตัวขนานกันมากขึ้น (Imeson 1997)

คาร์ราจีแนน (carrageenan)

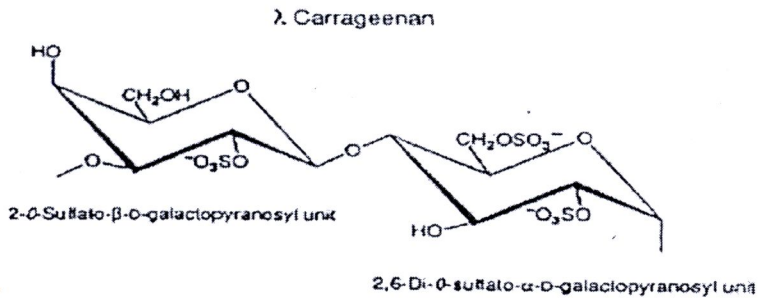
เป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง (Rhodophyceae) ซึ่งชนิดที่ใช้ผลิตเป็นทางการค้า ได้แก่ *Euchema cottonii* และ *E. spinosum* มีโครงสร้างหลักเป็น galactose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glycosidic linkage และเป็น sulphated polysaccharides ซึ่งคาร์ราจีแนนยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีกหลายชนิดตามจำนวนและตำแหน่งของกลุ่ม ester sulphate และจำนวน 3,6 anhydro-D-galactose (3,6-AG) ได้แก่ แคลป้า ไอโอดีด้า และแลมด้า ซึ่งคาร์ราจีแนนทั้ง 3 ชนิดนี้ ประกอบด้วยโครงสร้างของโพลีแซคคาไรด์หลักที่ซ้ำๆ กันหลายหน่วย

โดยแคลป้าคาร์ราจีแนนจะประกอบไปด้วย 4 - sulfated เป็นหน่วยย่อยของกาแลสโตส (galactose) ซึ่งมีประมาณร้อยละ 25 ของซัลเฟตเอสเทอร์ ดังภาพที่ 3



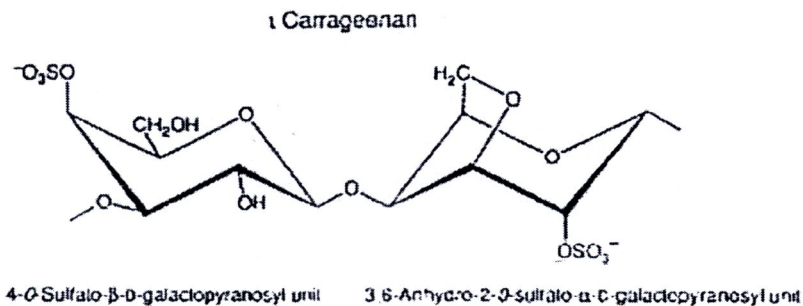
ภาพที่ 3 โครงสร้างของแคลป้าคาร์ราจีแนน (Charalambous and Doxastakis 1989)

แลมด้าคาร์ราจีแนน ประกอบไปด้วย 2 - sulfated linked α - D galactose และ 2,6 sulfated 1,4 - linked β - D - galactose ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างของแลมด้าคาร์ราจีแนน (Charalambous and Doxastakis (1989)

ไโอไอด้าคาร์ราจีแนน ประกอบไปด้วย 4 -Sulfated เป็นหน่วยย่อยของ กาแลสโตสและ บนหน่วยย่อย 3, 6 hydrogalactose (มีซัลเฟตเอสเทอร์ประมาณร้อยละ 32) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โครงสร้างของไโอไอด้าคาร์ราจีแนน (Charalambous and Doxastakis 1989)

คาร์ราจีแนนทุกชนิดละลายได้ในน้ำร้อน ถ้าเป็นเกลือของคาร์ราจีแนนชนิด แคปป์าและไโอไอด้า จะสามารถละลายได้ในน้ำเย็น ในขณะที่เกลือของอิออนชนิดอื่นๆ เช่น โพแตสเซียมหรือแคลเซียมไม่สามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนคาร์ราจีแนนชนิด lambda จะละลายได้ในน้ำเย็นโดยไม่ขึ้นกับชนิดของอิออน ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการละลายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ คาร์ราจีแนน และอิออนที่เกี่ยวข้อง ส่วนใหญ่คาร์ราจีแนนชนิดแคปป์าและไโอไอด้า ต้องใช้อุณหภูมิในการละลายมากกว่า 70 °ซ นอกจากนี้คาร์ราจีแนนทุกชนิดจะไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์แต่สามารถละลายใน water miscible solvent เช่น alcohol และ propylene glycol คาร์ราจีแนนเป็น strongly charged anionic polyelectrolyte จึงทำให้มีคุณสมบัติที่สามารถทำ

ปฏิกิริยากับอนุภาคของโมเลกุลอื่นที่มีขนาดใกล้เคียงได้โดยการเกิด ionic bond, hydrogen bond หรือ van der waals forces ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่อยู่ตัว (Glickman 1969)

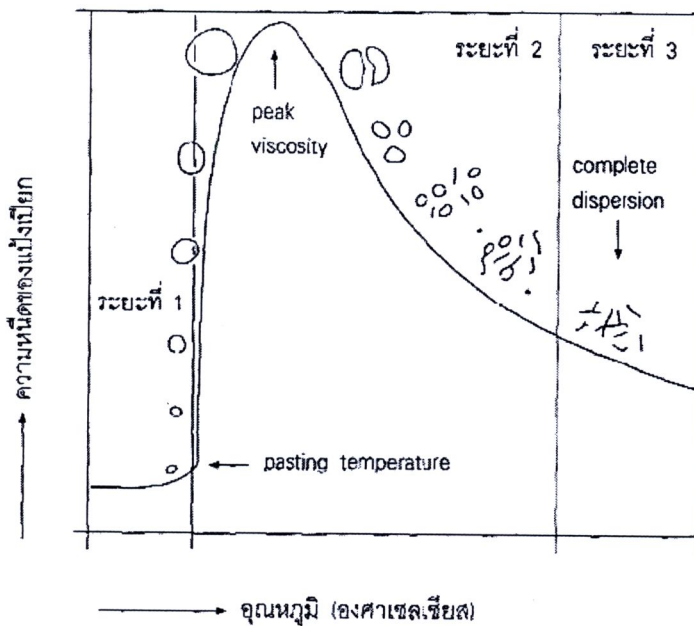
Bahnassey and Breene (1994) กล่าวว่า การเติมไฮโดรคอลลอยด์เข้าไปในระบบที่มีสตาร์ชอยู่จะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของสตาร์ชในระหว่างการพองตัวและความหนืดของสตาร์ชที่ผสมกับไฮโดรคอลลอยด์ในระบบเมื่อผ่านการให้ความร้อนและทำให้เย็นจะสูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ได้ผสมไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความหนืดขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางเคมีของสตาร์ชและไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิด โดยในการเกิดเจลลิตินเซชันของสตาร์ช เม็ดแป้งจะพองตัวและแตกออก แอมิโลสถูกปล่อยออกมาข้างนอกโมเลกุล อะไมโลเพกตินที่ยังคงอยู่ข้างในจะขยายตัว เม็ดแป้งถูกทำลาย ไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมเข้าไปในระบบจะทำปฏิกิริยากับแอมิโลสที่อยู่ข้างนอกสตาร์ชเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงรอบ ๆ โมเลกุลของสตาร์ชที่เกิดเจลลิตินเซชัน (Kruger and others 2003)

2.5.2.3 การเกิดเจลลิตินเซชันของแป้ง

โมเลกุลของสตาร์ชประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห Micells ดังนั้น การจัดเรียงตัวในลักษณะนี้ทำให้เม็ดแป้งละลายในน้ำเย็นได้ยาก ในขณะที่สตาร์ชอยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมและพองตัวได้เล็กน้อย และเมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดความหนืด เรียกว่า เจลลิตินเซชัน (gelatinization) อุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งจะแตกต่างกันในแป้งแต่ละชนิด แป้งจากพืชหัว เช่น แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง จะมีอุณหภูมิเริ่มเจลลิตินเซชันต่ำกว่าอุณหภูมิจากแป้งธัญพืช

การเกิดเจลลิตินเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้ 3 ระยะ (ภาพที่ 6) คือ ระยะแรก สตาร์ชจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่าง micelles ยึดหยุ่นได้อย่างจำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดแป้งคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ birefringence ได้เมื่อมีการใส่สารเคมีเพิ่มอุณหภูมิกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงประมาณ 65 °ซ (อุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดสตาร์ช) เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่างไมเซลล์ (micells) ภายในเม็ดสตาร์ชจะอ่อนแอลง เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามามาก และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า เกิดเจลลิตินเซชัน เม็ดสตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง birefringence ความ

หนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แป้งที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใสและหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนถึงระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดสตาร์จะไม่นั่นนอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อนำไปทำให้เย็นลงจะเกิดเจล การเกิดเจลในเซชันของสตาร์จะทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น ความหนืดสูงสุดของสารละลายแป้งในระหว่างเจลละติไนซ์ จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของสตาร์ ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณแอมิโลสและไขมัน นอกจากนี้ระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลละติไนซ์จะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของสตาร์ เช่น ปริมาณไขมัน สัดส่วนของแอมิโลสกับแอมิโลเพกติน การจัดเรียงตัวและขนาดของเม็ดแป้ง เป็นต้น



ภาพที่ 6 การเกิดเจลละติไนซ์ของเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ 2546)

การเกิดเจลละติไนซ์ของแป้ง นอกจากจะขึ้นกับอุณหภูมิยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่มีอยู่ด้วย เช่น น้ำตาล เกลือ กรด และไขมัน เป็นต้น

ผลของน้ำตาล น้ำตาลที่มีความเข้มข้นสูง (ประมาณร้อยละ 50) จะไปลดการพองตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการเกิดเจลละติไนซ์ โดยน้ำตาลจะแย่งน้ำจากแป้ง เนื่องจากน้ำตาลมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มากจึงดูดซับน้ำได้ ดังนั้นปริมาณน้ำที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัวถูกจำกัด ทำให้แป้งสุกยากขึ้น สังเกตจาก gelatinization temperature range จะกว้างขึ้น ผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้งจะน้อยมากในสารละลายที่มีน้ำตาลเข้มข้นร้อยละ 5 และ 20 โดยน้ำหนักของน้ำ (Osman 1967)

น้ำตาลประเภท disaccharide จะมีผลต่อการพองตัว และการเกิดเจลลาติไนเซชันของแป้งมากกว่า น้ำตาลประเภท monosaccharide (Fennema 1996)

ผลของเกลือ เกลือจะให้ผลเช่นเดียวกับน้ำตาลโดยไปลดการพองตัวของเม็ดแป้ง ในระหว่างการเกิดเจลลาติไนเซชันแต่เกลือจะมีผลมากกว่าน้ำตาล โดยพบว่าเกลือร้อยละ 1-6 โดยน้ำหนักของน้ำสามารถลดระดับการเกิดเจลลาติไนเซชันของแป้งได้ (Osman 1967)

ผลของไขมัน ไขมันประเภทไม่อิ่มตัว เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดฝ้าย ในปริมาณร้อยละ 9-12 โดยน้ำหนัก ไม่มีผลกระทบต่อ peak viscosity แต่มีผลทำให้อุณหภูมิที่ทำให้เกิด peak viscosity ลดลง เพราะไขมันไม่อิ่มตัวจะไปเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเอมิไลเซอร์ เช่น การเกิดเจลลาติไนเซชันของแป้งข้าวโพดจะมี peak viscosity อยู่ที่ 92 °ซ แต่ถ้าเติมไขมันไม่อิ่มตัวลงไปร้อยละ 9-12 โดยน้ำหนัก จะมี peak viscosity อยู่ที่ 82 °ซ (Osman 1967)