

บทที่ 2

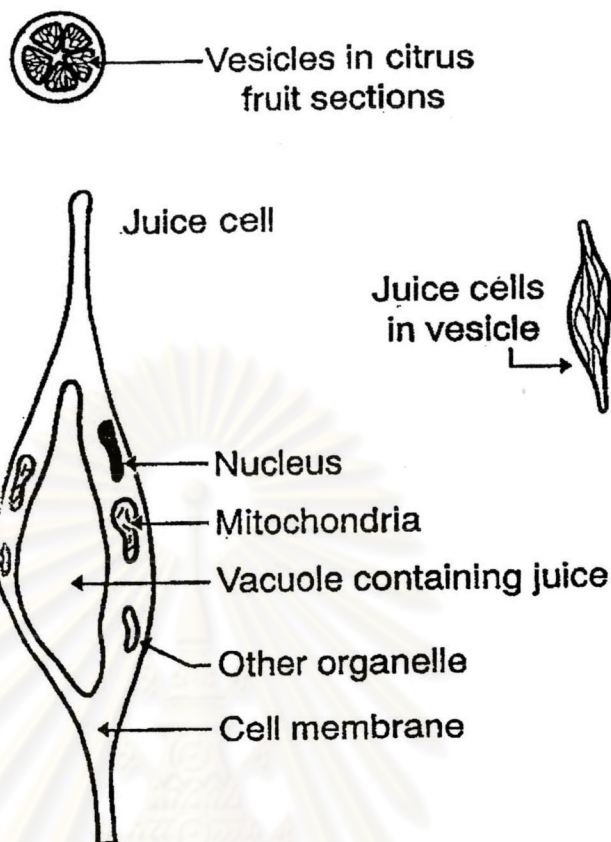
วารสารปริทัศน์

ส้มเขียวหวาน (Mandarin or Tangerine)

ส้มเขียวหวานมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus reticulata* Blanco เป็นพืชในวงศ์ Rutaceae สกุล Citrus เจริญเติบโตได้ดีในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อนกิ่งหนาว ญี่ปุ่นเรียกว่า "mikan", อินเดียเรียกว่า "suntura", อิตาลีและสเปนเรียกว่า "mandarino" และไทยเรียกว่า "ส้มเขียวหวาน" ผลของส้มเขียวหวานมีขนาดเล็กถึงปานกลาง ทรงผลค่อนข้างกลมและแบน มักมีรอยบุ๋ม เปลือกผลบางปอกง่าย ผิวเปลือกเรียบมีสีเขียวอมเหลืองจนถึงแดงส้ม มีต่อมน้ำมันมาก กลีบแยกออกจากกันได้ง่าย หวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย มีกลิ่นหอมเฉพาะตัว ส้มสายพันธุ์นี้สามารถปรับตัวให้เข้ากับภูมิอากาศได้ดีกว่าส้มสายพันธุ์อื่นๆ แต่อายุการเก็บเกี่ยวจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงหลังจากการเก็บเกี่ยวมากกว่าส้มชนิดอื่น กล่าวคือ หากเก็บเกี่ยวเกิน 2 – 3 สัปดาห์ เปลือกส้มจะฟูขึ้น เนื้อมีลักษณะฟ้าม ปริมาณกรดและน้ำตาลในผลลดลงอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามหลังเก็บเกี่ยวส้มสามารถเก็บได้เป็นเวลานานในสภาพห้องเย็นที่มีการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยคุณภาพไม่เปลี่ยนแปลง (เอฟ.อี.ซิลลิค, 2541 ; Kimball, 1999)

ลักษณะทางชีววิทยาของผลไม้ตระกูลส้ม

ผลไม้ตระกูลส้มประกอบด้วยส่วนของเปลือกที่มีสีและอนุภาคของไขมันซึ่งป้องกันแมลงและจุลินทรีย์ ต่อมาเป็นชั้นของ flavedo ซึ่งคล้ายฟองน้ำสีขาว ส้มเขียวหวานมีชั้นของ flavedo/albedo บางจึงทำให้ปอกง่ายแต่ทำให้คั้นน้ำยาก ดังนั้นจึงต้องขนส่งและผลิตอย่างรวดเร็วเนื่องจากมีอายุการเก็บสั้น ได้ flavedo มีส่วนของ vesicle ซึ่งเรียงขนานตามยาวจนถึงแกนกลางของผลภายใน vesicle มีเซลล์ของน้ำผลไม้ (juice sac) ดังรูปที่ 2.1 แต่ละเซลล์มีนิวเคลียส และ organelles อื่นๆ เช่น mitochondria ทำหน้าที่เปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตและน้ำให้เป็นกรดซิตริกและนำมาเก็บใน vesicle juice การสะสมนี้ลดลงเมื่อผลไม้แก่เพราะมีการสะสมน้ำและคาร์โบไฮเดรตสูงขึ้น โดยทั่วไปจะผลิตและสะสมกรดซิตริกในช่วงผลไม้อ่อนและเจือจางลงเมื่อผลไม้แก่และมีขนาดใหญ่ขึ้น (Kimball, 1984)

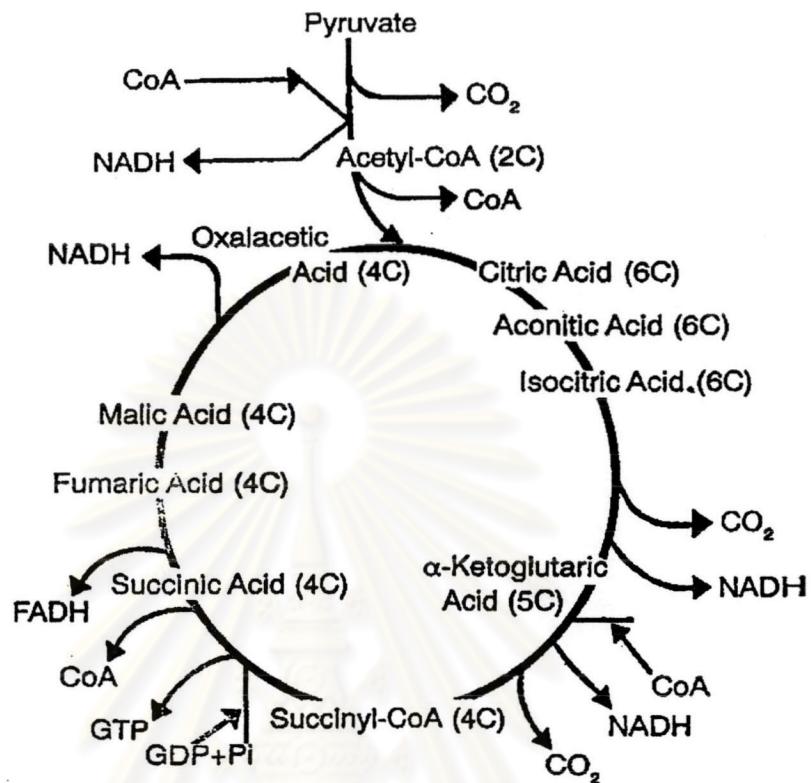


รูปที่ 2.1 เซลล์ของน้ำผลไม้ (juice sac)

น้ำส้มคั้น

องค์ประกอบของน้ำส้มส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาล พอลิแซคคาไรด์ และกรดอินทรีย์ โดยมีน้ำตาลร้อยละ 80 ของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Ting, 1980) น้ำตาลชนิดหลักในน้ำส้ม คือ ซูโครส, กลูโคส และ ฟรุกโทส พบว่าครึ่งหนึ่งเป็นน้ำตาลซูโครส อีกครึ่งหนึ่งเป็นกลูโคสกับฟรุกโทสซึ่งเกิดจากการย่อยสลายด้วยเอนไซม์หรือกรด มีน้ำตาลชนิดอื่นๆเพียงเล็กน้อย (Kimball, 1999)

กรดเป็นส่วนสำคัญที่รองจากน้ำตาล ซึ่งกรดให้รสเปรี้ยวกับผลิตภัณฑ์จากพืชตระกูลส้ม โดยเฉพาะน้ำส้มคั้น กรดในผลไม้ตระกูลส้มเกิดจาก Citric acid cycle หรือ Krebs cycle หรือ Tricarboxylic acid cycle โดยเปลี่ยน คาร์โบไฮเดรตเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และกรดต่างๆที่ mitochondria ในเซลล์น้ำผลไม้ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2 เมื่อผลไม้แก่ของเหลวใน vesicle จะเปลี่ยนเป็นน้ำผลไม้

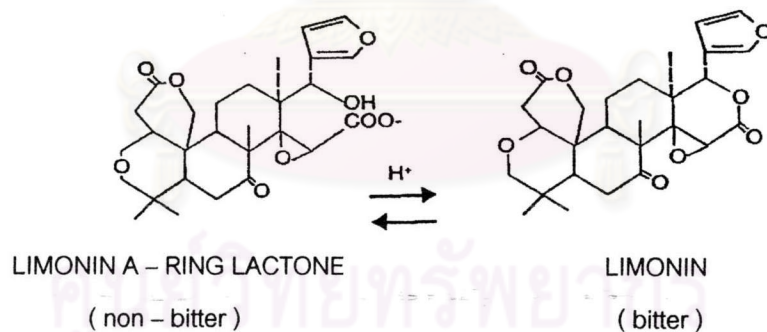


รูปที่ 2.2 Citric acid cycle หรือ Krebs cycle หรือ Tricarboxylic acid cycle ใน mitochondria

ผลิตภัณฑ์จากพืชตระกูลส้มมีความเปรี้ยวจากกรดอินทรีย์และความหวานจากน้ำตาล ซึ่งเป็นตัวกำหนดรสชาติในผลิตภัณฑ์นี้ - ดังนั้นอาจนำอัตราส่วนระหว่าง Brix/Acid (B/A ratio) มากำหนดคุณภาพของน้ำผลไม้ตระกูลส้มโดยใช้การผสมให้ได้สัดส่วนตามที่ต้องการ โดยทั่วไปผู้บริโภคต้องการ B/A เป็น 15 - 18 ขึ้นกับผลิตภัณฑ์และความชอบของแต่ละบุคคล

รสขมเป็น 1 ใน 4 รส ที่สามารถรับรสได้คือ รสหวาน รสเปรี้ยว รสเค็ม และ รสขม การรับรสขมเกิดจากคลื่นอิเล็กทรอนิกกระตุ้น monopolar – monohydrophobic หรือ bihydrophobic ให้โดรนัมรับรส (Belitz et al., 1979) สารที่ทำให้เกิดรสขมในผลไม้ตระกูลส้มแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ ลิโมนอยด์และเฟลโวนอยด์ (Rouseff, 1982)

ลิโมนอยด์พบในผลไม้ตระกูลส้มทุกชนิด (Maier, Bennett and Hasegawa, 1977) เป็นกลุ่มอนุพันธ์ของ triterpene อยู่ในกลุ่มของ limonoid glucosides ซึ่งเป็น anticarcinogen ในสัตว์ (Lam and Hasegawa, 1989 ; Lam, Li, and Hasegawa, 1989 ; Miller et al., 1989, 1992 ; Nagy and Attaway, 1992 ; Hasegawa et al., 1996) ลิโมนอยด์ที่สำคัญที่สุด คือ “ลิโมนิน” ซึ่งขมมากแม้มีเพียง 6 ppm ก็ทำให้ผู้บริโภคส่วนใหญ่รับรสขมได้ ขณะที่ผู้บริโภคประมาณร้อยละ 20 รับรสขมจากลิโมนินที่ความเข้มข้น 2 ppm (Norman, String and Gopsill, 1990) ลิโมนินเป็น highly oxygenated triterpene dilactone มีสูตรเคมีคือ $C_{26}H_{30}O_8$ น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 470 ละลายได้ใน glacial acetic , acetonitrile และ chloroform ละลายน้ำได้เล็กน้อยการละลายเพิ่มขึ้นเมื่อมีน้ำตาลและเพคติน ลิโมนินเกิดขึ้นระหว่างการคั้นน้ำส้มโดย limonin A – ring lactone ซึ่งไม่ขมและละลายน้ำได้ เกิด esterification โดยการเหนี่ยวนำด้วยเอนไซม์และถูกเร่งด้วยกรดแล้วเปลี่ยนรูปเป็นลิโมนินดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีรสขมในระหว่างการพาสเจอร์ไรส์หรือการทำให้เข้มข้นขึ้น



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยน LIMONIN A – RING LACTONE เป็น LIMONIN เมื่อถูกเร่งด้วยกรด

เฟลโวนอยด์ที่พบในส้มมี 2 ชนิดคือ naringin และ hasperidin naringin มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 580 สูตรเคมีคือ $C_{27}H_{32}O_{14}$ นารินจิน ละลายน้ำได้เล็กน้อย ละลายได้ในอะซิโตน, แอลกอฮอล์และกรดอะซิติก (Rouseff, 1980) รสขมจากนารินจินที่ผู้บริโภครับรู้ได้มีความเข้มข้นสูงมากถึง 600 ppm (Barmore et al., 1986) Kesterson และ Hendrickson (1953) พบว่า นารินจินอยู่มากในชั้น albedo ส่วนใน rag, segment membrane และน้ำส้มมีอยู่น้อยกว่า

Scott (1970) พบว่าระหว่าง rag, albedo, flavedo, juice และ segment membrane นั้น segment membrane มีความเข้มข้นของลิโมนีนอยู่มากที่สุด

สารให้สีในส้มเขียวหวานแบ่งตามสมบัติการละลายได้ดังนี้ คือ พวกที่ละลายในน้ำ เช่น เพลวโนอยด์และแอนโทไซยานิน พวกที่ละลายในน้ำมัน เช่น คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ โดยทั่วไปผลส้มเมื่อยังไม่สุกจะมีสีเขียวเนื่องจากสีของคลอโรฟิลล์บดบังสีของแคโรทีนอยด์ไว้ ดังนั้นเมื่อผลส้มสุกคลอโรฟิลล์สลายไปจึงเป็นเหตุให้รงควัตถุของแคโรทีนอยด์ปรากฏชัดขึ้นทำให้ผิวส้มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือส้ม (สายชล เกตุษา, 2528 และ Mackinney, 1961) เพลวโนอยด์อยู่ในรูปของ glycosides สามารถละลายน้ำได้ มีอยู่มากทั้งในส่วนของ flavedo และ albedo ประกอบด้วย flavone, flavanone และ anthocyanin โดย flavone และ flavanone มีสีเหลืองเมื่ออยู่ในสารละลายต่างแต่ไม่มีสีเมื่ออยู่ในสารละลายกรด (Horowitz, 1961) แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่สำคัญในส้มพบมากบริเวณ flavedo แคโรทีนอยด์แบ่งเป็นสองพวก คือ แคโรทีน และ oxygenated derivatives ของแคโรทีน มีสีแตกต่างกันไปตั้งแต่สีเหลืองจางจนถึงสีแดงเข้ม โดยสีของแคโรทีนอยด์ขึ้นกับสองปัจจัย คือ จำนวน conjugation ในโมเลกุลและความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ การแปรรูปและการเก็บรักษาทำให้สูญเสียแคโรทีนอยด์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เอนไซม์ ความร้อน และแสง (Gross, 1977)

กลิ่นส้มเป็นลักษณะเด่นของแต่ละสายพันธุ์เกิดจากองค์ประกอบของไขมัน, กลิ่นรส และน้ำหอมในส้ม น้ำส้มคั้นสดมี d – limonene, ethylbutyrate, citral และ acetaldehyde ร้อยละ 87 ของสารระเหยทั้งหมด (Ahmed, Dennison and Shaw, 1978) สารเหล่านี้ส่วนใหญ่ประกอบด้วย oxygen hydrocarbon d – limonene ให้กลิ่นหอมได้ด้วยตัวของมันเองโดยระเหยออกทางเปลือก แต่ถ้าระเหยมากเกินไปจะเกิด "oil burn" ซึ่งเป็นลักษณะไหม้ที่ผิวส้ม ธรรมชาติสร้างกลิ่นและสะสมจนถึงฤดูกาลเก็บเกี่ยว แต่กระบวนการผลิตทำให้กลิ่นรสลดลงส่งผลถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ความหนืดของน้ำส้มคั้นและน้ำส้มเข้มข้นมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะพฤติกรรมการไหลของน้ำส้มเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจเลือกใช้เครื่องจักร อีกทั้งยังส่งผลต่อการยอมรับและความพึงพอใจของผู้บริโภค Kimball (1999) รายงานว่าน้ำส้มคั้นที่มีเข้มข้นประมาณ 20 °Brix มีพฤติกรรมการไหลแบบ pseudoplastic กล่าวคือ ความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มแรงเฉือน ซึ่งสะดวกในการเคลื่อนที่ผ่านท่อและการผสมในถัง แต่ต้องการพลังงานที่เริ่มเคลื่อนที่ (yield stress)

ผลไม้ตระกูลส้มมีโปรตีนเพียงเล็กน้อยในรูปของเอ็นไซม์และตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวเคมี จากการคำนวณหาโปรตีนในรูปไนโตรเจนทั้งหมดพบว่ามี 60 –120 mg/100ml ของน้ำส้มคั้น (Ting, 1967) แต่น้ำส้มคั้นพันธุ์แคลิฟอร์เนียมีไนโตรเจนสูงกว่า (Tockland, 1961) คาร์โบไฮเดรตหรือน้ำตาลในน้ำผลไม้ตระกูลส้มมีร้อยละ 80 – 90 ของของแข็งที่ละลายได้ ยกเว้นเลมอนและมะนาว น้ำผลไม้ตระกูลส้มไม่มีไขมันหรือมีเพียงเล็กน้อย วิตามินส่วนใหญ่ในน้ำส้มคั้นเป็นวิตามินซีซึ่งทำหน้าที่สนับสนุนการดูดซึมธาตุเหล็ก ป้องกันการเป็นหวัด ยับยั้งการออกซิเดชัน สมองแลลล์ สังกะสีฟอสเฟตและคอเลสเตอรอล ช่วยสนับสนุนการสร้างกระดูกและฟัน เป็นต้น ปกติมนุษย์ไม่สามารถสร้างวิตามินซีได้ต้องรับจากอาหารเช่น ส้ม, ฝรั่ง หรือ ผักใบเขียว สำหรับส้มระดับของวิตามินซีจะลดลงเมื่อผลแก่ เช่น น้ำส้มสายพันธุ์ฟลอริดาเมื่อต้นฤดูเก็บเกี่ยวมี 50 mg/100ml และลดลงเมื่อถึงปลายฤดูเก็บเกี่ยวเหลือเพียง 30 mg/100ml (Harding, Winston and Fisher, 1940)

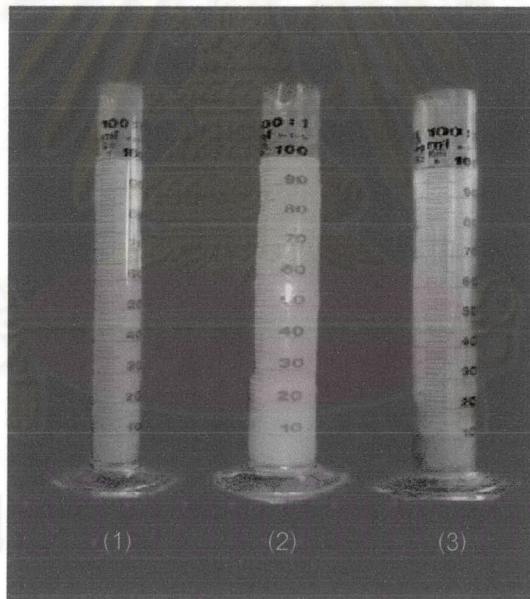
น้ำผลไม้ส่วนใหญ่ เช่น แอปเปิล, องุ่น และผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ ผู้บริโภคต้องการลักษณะใส แต่สำหรับน้ำผลไม้ตระกูลส้มแล้ว ผู้บริโภคต้องการลักษณะขุ่นที่เกิดจาก juice sac และผนังเซลล์ ซึ่งเป็นลักษณะปรากฏตามธรรมชาติที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำผลไม้ชนิดนี้ ลักษณะดังกล่าวรวมถึงตั้งแต่ความขุ่น ลักษณะปรากฏที่มองเห็น ตลอดจนความรู้สึกภายในปาก เมื่อนำน้ำส้มคั้นใส่แก้วจะเห็นความขุ่นอย่างชัดเจน และเมื่อตั้งทิ้งไว้ก็จะพบว่าน้ำส้มคั้นตกตะกอนลงมา

ความขุ่นในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

เมื่อเซลล์ของน้ำส้มแตกออกระหว่างการคั้นน้ำ ทำให้สารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจากส่วนต่างๆ ของส้มออกมาแขวนลอยในน้ำส้มคั้น สารแขวนลอยเหล่านี้ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 30, เฮสเพอริดีนร้อยละ 20, เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสร้อยละ 15 และ เพคตินร้อยละ 5 (Bennett, 1987) องค์ประกอบเหล่านี้มาจากเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ มีทั้งส่วนที่เป็น albedo pulp และ juice sac เมื่อ juice sac แตกจะทำให้วัตถุที่ก่อความขุ่นซึ่งอยู่ใน juice sac นี้ออกมาอยู่ในน้ำส้ม (Rouse, Atkins and Huggart, 1954) สารให้สีต่างๆ ซึ่งมีตั้งแต่สีเหลืองอ่อนของส้มเกรฟฟรุตจนถึงสีส้มเข้มของสายพันธุ์แมนดาริน อนุภาคไขมันจากผิวส้มที่มีสารระเหยซึ่งให้กลิ่นรสเฉพาะตัว ผลึกของเฟลโวนอยด์ ส่วนของผนังเซลล์ เช่น เพคติน, เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารแขวนลอยและเป็นสารสำคัญในการก่อความขุ่นของน้ำส้มคั้น แต่ในการคั้นน้ำจะมีสารที่ไม่ละลายน้ำปนออกมาและตกตะกอนร่วมกับสารก่อความขุ่นเหล่านี้

อนุภาคคอลลอยด์ในน้ำผลไม้มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาโดยอาศัย "Brownian motion" ซึ่งอนุภาคขนาดใหญ่ใช้เวลาในการเคลื่อนที่น้อยกว่าอนุภาคขนาดเล็กที่ระยะทางเท่ากัน เมื่ออนุภาคเข้ามาใกล้และรวมตัวกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้นยิ่งถ้ามีแรงดึงดูดอื่นช่วยเสริม เช่น van der Waals' force ทำให้มีโอกาสที่จะตกตะกอนโดยแรงดึงดูดของโลกมากขึ้นและมีผลทำให้ Brownian motion ลดลงด้วย (Mysels, 1965)

สายพันธุ์ของพืชตระกูลส้มเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ความขุ่นในน้ำส้มคั้นแตกต่างกัน Cameron, Baker และ Grohmann (1999) นำน้ำส้มคั้น 3 สายพันธุ์มาเปรียบเทียบกัน พบว่าสายพันธุ์ Valencia ให้น้ำส้มคั้นที่มีความขุ่นมากกว่าสายพันธุ์อื่นเนื่องจากมีขนาดของอนุภาค 1-2 ไมครอน ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมต่อการแขวนลอยและยังมีสีเข้มกว่าสายพันธุ์อื่น จึงทำให้ค่า transmission ต่ำแสดงว่ามีความขุ่นมาก น้ำส้มคั้นจากส้มสายพันธุ์ Hamlin มีความขุ่นน้อยที่สุด ส่วนน้ำส้มคั้นจากส้มสายพันธุ์ Pineapple มีความขุ่นอยู่ระหว่างสายพันธุ์ Valencia และสายพันธุ์ Hamlin สำหรับความขุ่นและการสูญเสียเสถียรภาพความขุ่นในน้ำส้มเขียวหวานแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 น้ำส้มเขียวหวานคั้นสด (1), น้ำส้มเขียวหวานคั้นที่ตกตะกอนบางส่วน (2) และ น้ำส้มเขียวหวานคั้นที่ตกตะกอนอย่างสมบูรณ์(3)

การสูญเสียเสถียรภาพความชุ่มชื้นในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

ถึงแม้ว่าเพคตินจะเป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อยในสารก่อความชุ่มชื้นในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม แต่อย่างไรก็ตามเสถียรภาพความชุ่มชื้นเป็นผลมาจากเพคติน เพคตินมีร้อยละ 4.5 ของสารก่อความชุ่มชื้นในน้ำส้มคั้น เพคตินจะรวมตัวกันเองร้อยละ 60 เกิดเป็นแคลเซียมเพคเตทร้อยละ 25 – 30 และเป็นโปรโตเพคตินอีกร้อยละ 15 ของเพคตินทั้งหมด (Klavon, Bennett and Vannier, 1994) ซึ่งสาเหตุของการสูญเสียเสถียรภาพความชุ่มชื้นในน้ำผลไม้ตระกูลส้มนั้นมีอยู่หลายประการดังนี้

ขนาดของอนุภาคที่ใหญ่หรือเล็กเกินไปทำให้ขาดสมดุลในการแขวนลอยจึงเกิดการแยกชั้นของน้ำผลไม้และตกตะกอนลงมา ซึ่งขนาดที่เหมาะสมคือ 1-2 ไมครอน

แรงโน้มถ่วงของโลกทำให้อนุภาคของสารพวกเพคตินที่แขวนลอยอยู่ในน้ำส้มคั้นตกตะกอนเร็วขึ้นโดยเฉพาะอนุภาคขนาดใหญ่หรือแม้แต่อุภาคขนาดเล็กที่รวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคเหล่านี้ไม่เหมาะสมและตกตะกอนลงมา

เอนไซม์เพคตินเมทิลเอสเทอร์เรส (PME : EC 3.1.1.11) ซึ่งมีชื่อสามัญอื่นๆ คือเพคตินเอสเทอร์เรส เพคโตไลเปส เพคตินดีเมทอกซิเลส เพคตินเมทอกซิเลส, เพคเตส ชื่อเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาของเอนไซม์คือการสลายพันธะเอสเทอร์ของหมู่เมทิลในสายเพคตินโดยเอนไซม์ PME ตัดพันธะเอสเทอร์ของกรดกาแลคทูโรนิกเกิดเป็นกรดคาร์บอกซิลิกอิสระ เมื่อรวมตัวกับอนุมูลของแคลเซียมที่มีประจุบวกสอง เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และเชื่อมต่อกับสายเพคตินใกล้ๆ เกิดเป็นแคลเซียมเพคเตทจึงตกตะกอนดังรูปที่ 2.5 เป็นผลให้เกิดการสูญเสียกลิ่นรสและรสชาติในน้ำผลไม้ส่วนใด



รูปที่ 2.5 แคลเซียมเพคเตท

นอกจากนี้โครงสร้างของสารประกอบเพคตินถูกทำลายจากขั้นตอนต่างๆ ในการแปรรูปในอุตสาหกรรมน้ำส้มคั้น เช่นการสกัด การผสม และการให้ความร้อน เป็นต้น ทำให้โมเลกุลของน้ำแยกตัวออกจากเพคติน เพคตินจึงรวมตัวกันโดยมีแคลเซียมไอออนเป็นตัวเชื่อมโมเลกุลของเพคตินแล้วตกตะกอนลงมา

กระบวนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์น้ำส้มในอุตสาหกรรมมี 2 ระดับ คือ พาสเจอร์ไรส์ และสเตอริไลซ์ ซึ่งนำมาจากโรงงานยูนิฟ - เพรสซิเดนท์ (ประเทศไทย) จำกัด

การพาสเจอร์ไรส์เป็นการให้ความร้อนชนิดที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ในอาหารที่ก่อให้เกิดโรคเท่านั้นและใช้ความร้อนไม่เกิน $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (สุมาลี เหลืองสกุล, 2535) สำหรับน้ำผลไม้ที่มีความเป็นกรดสูงใช้อุณหภูมิ $72 - 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ ก็เพียงพอต่อการทำลายเซลล์ของแบคทีเรีย ยีสต์ และราได้ นอกจากนี้การใช้กระบวนการ flash pasteurization ซึ่งเป็นการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงในเวลาสั้นแล้วทำให้เย็นทันที เช่น ที่อุณหภูมิ $82-85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2-3 วินาที วิธีนี้ส่งผลต่อคุณภาพด้านสีกลิ่น รสชาติ และ คุณค่าทางโภชนาการของน้ำผลไม้ค่อนข้างน้อย (Cruess, 1958) สำหรับน้ำส้มคั้นนิยมใช้ความร้อนระดับนี้เนื่องจากมี $\text{pH} \leq 4$ ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ไม่สามารถเจริญได้และใช้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำร่วมด้วย เพื่อป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ที่ยังหลงเหลืออยู่ กระบวนการผลิตน้ำส้มคั้นพาสเจอร์ไรส์ดังรูปที่ 2.6 นิยมใช้กับน้ำส้มคั้นที่ไม่มี juice sac

น้ำส้มคั้น+ส่วนผสมอื่น เช่น ซูโครส, ฟรุคโตส, cmc



กวนผสม



กรอง



plate heat exchanger

ที่ $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 วินาที



บรรจุขณะร้อน $88\text{ }^{\circ}\text{C}$ ← กระจกที่ปลอดเชื้อ



vacuum seamer

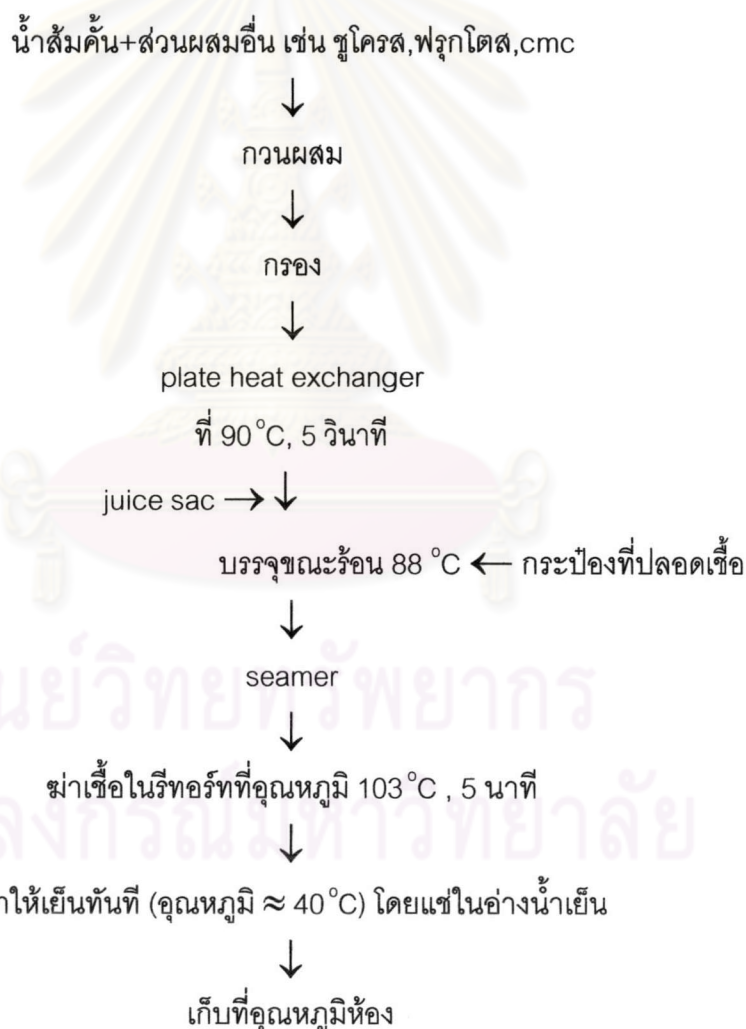


ทำให้เย็นทันที (อุณหภูมิ $\approx 40^{\circ}\text{C}$) โดยแช่ในอ่างน้ำเย็น

↓
เก็บที่ 4°C

รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตน้ำส้มคั้นพาสเจอร์ไรส์

การสเตอริไลซ์เป็นการถนอมอาหารโดยใช้ความร้อนสูง เพื่อทำลายจุลินทรีย์และสปอร์ที่ทนความร้อนได้ กระบวนการการผลิตน้ำส้มคั้นสเตอริไลซ์ดังรูปที่ 2.7 นิยมใช้กับใช้กับน้ำส้มคั้นที่มี juice sac หรือน้ำส้มคั้นที่เตรียมจากน้ำส้มเข้มข้น



รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิตน้ำส้มคั้นสเตอริไลซ์

การรักษาเสถียรภาพความชุ่มในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม

การใช้ความร้อน สามารถรักษาเสถียรภาพความชุ่มได้โดยความร้อนทำให้โปรตีนเสียสภาพ (denature) จึงยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ PME ซึ่งเป็นโปรตีนได้ Sadler, Prish และ Wicker (1992) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงทางด้านเคมี จุลินทรีย์ และเอนไซม์ PME ของน้ำส้ม Full pasteurization (FP: 90 °C, 1 นาที), Light pasteurization (LP: 66 °C, 10 วินาที) และ No pasteurization (NP) ซึ่งเก็บในภาชนะบรรจุที่มี gable – top และมี Saran® Oxygen – barrier โดยควบคุมให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิ 2 °C พบว่าตัวอย่างน้ำส้มคั้นที่ไม่ได้พาสเจอร์ไรส์มีปริมาณจำนวนจุลินทรีย์ การผลิตไดอะซิทิล และน้ำตาล เปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วหลังจาก 22 วัน ส่วนตัวอย่าง LP และ FP ให้ผลทางด้านจุลินทรีย์ กรดแอสคอร์บิก น้ำตาลและไดอะซิทิล ไม่แตกต่างกัน (p <0.01) Fellers และ Carter (1993) รายงานว่าการพาสเจอร์ไรส์และยับยั้งเอนไซม์ เพคตินเอสในน้ำผลไม้ตระกูลส้ม ต้องการอุณหภูมิ 180 °F (82 °C) เป็นเวลา 2 วินาที หรือ 198 °F (92 °C) เป็นเวลา 1 วินาที สำหรับน้ำผลไม้ที่มี pH 2.7 ต้องการอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรส์ 167 °F (75 °C) เป็นเวลา 12 นาที (Ülgen and Ozilgen, 1993) ในกระบวนการนี้พบว่าการสูญเสีย น้ำและรสชาติเล็กน้อย ซึ่งสามารถเติมน้ำผลไม้เข้มข้นหลังจากผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์แล้ว

การใช้ความดันสูง เนื่องจากความดันสูงสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจน อีออนิก และไฮโดรโฟบิก ของเอนไซม์ PME จึงทำให้เอนไซม์เสียสภาพในการทำงาน Goodner และคณะ (1999) รักษาเสถียรภาพความชุ่มในน้ำส้มคั้นโดยใช้กระบวนการความดันสูง พบว่า High Pressure Treatment มีผลต่อการถนอมความชุ่มของน้ำส้มพร้อมทั้งมีระดับจุลินทรีย์ต่ำ จึงรักษา น้ำผลไม้ในภาชนะบรรจุซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิเย็นได้ถึง 90 วัน โดยใช้ความดัน 700 Mpa, 1 นาที สอดคล้องกับการทดลองของ Yen และ Lin (1998) ซึ่งใช้ความดันสูงที่ภาวะ 600 Mpa เป็นเวลา 10 นาที รักษาความชุ่มในน้ำฝรั่ง นอกจากนี้การใช้ความดันสูงยังไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง รูปร่างและไม่ทำลายโครงสร้างที่เกิดจากพันธะโคเวเลนต์ แต่มีผลต่อพันธะไฮโดรเจน อีออนิก และไฮโดรโฟบิกของน้ำผลไม้ (Heremans, 1982)

การใช้ความเป็นกรดต่าง (pH) ซึ่งมีผลต่อการแตกตัวอไอออนของโปรโตไทโรนิก ที่บริเวณเร่ง ของเอนไซม์ส่งผลให้โครงสร้างสามมิติของเอนไซม์เปลี่ยนแปลงจึงเบี่ยงเบนการจับกับสับสเตรต Owusu-Yaw และคณะ (1988) ทดลองใช้ความเป็นกรดต่ำยับยั้งเอนไซม์ PME ในน้ำส้มคั้นแทน การใช้ความร้อน โดยใช้ synthetic cation exchange resin, Amberlite® IR-120-P ในรูปของ H⁺-form และ hydrochloric acid treatment พบว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์ PME ในน้ำส้มคั้นได้ แต่ Huelin และคณะ (1971) พบว่าไฮโดรเจนอไอออนในสารละลายเร่งการสลายกรดแอสคอร์บิกได้

เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเปลี่ยน L- ascorbic acid เป็น L- dehydroascorbic acid ซึ่งไม่เสถียรจึงสูญเสียง่าย

การใช้สารให้ความคงตัว (Stabilizer) ซึ่งสารเหล่านี้รักษาเสถียรภาพความชุ่มชื้นได้โดยทำหน้าที่เป็นสารแขวนลอยช่วยเชื่อมอนุภาคที่กระจายตัวในผลิตภัณฑ์ จึงป้องกันการตกตะกอนของสารประกอบเพคตินในน้ำผลไม้ได้ Klavons และคณะ (1992) ใช้สารกักความชุ่มชื้นจากโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลท พบว่าสามารถป้องกันการรวมตัวของอนุภาคและยืดอายุการเก็บของน้ำส้มสดทางการค้าได้ Glicksman (1982) รายงานว่า alginate และเพคตินที่มีกลุ่ม methoxy ต่ำ เกิดพันธะอิออนิกกับเกลือที่มีประจุบวกสอง เช่น Ca^{++} ในน้ำผลไม้ เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายกล่องไข่ซึ่งเกิดจาก intermolecular junction zones ระหว่างสายพอลิเมอร์โดยมีแคลเซียมเป็นตัวประสาน คาราจีแนนนอกจากเกิดพันธะอิออนิกแล้วยังเกิดพันธะไฮโดรเจนด้วย จึงทำให้โครงสร้างที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็น double helix ทำให้อนุภาคต่างๆ ในน้ำผลไม้ลอยตัวได้ (Lineback and Inglett, 1982)

สารให้ความคงตัว

สารให้ความคงตัวที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ สารประกอบเพคติน กัวกัม กลูโคแมนแนน และแซนแทนกัม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. สารประกอบเพคติน (Pectic substance)

การผลิตสารประกอบเพคตินช่วงเริ่มต้นผลิตขึ้นเพื่ออุตสาหกรรมเยลลี่ แต่ปัจจุบันใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นๆ เช่น การรักษาเสถียรภาพความชุ่มชื้นในน้ำผลไม้ การสร้างลักษณะคล้ายน้ำตาลในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มพลังงานต่ำเพื่อให้เกิดความรู้สึกภายในปาก (mouth feel) สารประกอบเพคตินเหล่านี้ผลิตจากสิ่งเหลือใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ เช่น กากแอปเปิลและเปลือกส้มจากอุตสาหกรรมน้ำผลไม้ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก นอกจากนี้ยังมีกากหัวบีทจากอุตสาหกรรมน้ำตาลและกากดอกทานตะวันจากอุตสาหกรรมน้ำมันพืช เป็นต้น

สารประกอบเพคตินประกอบด้วยหน่วยของ anhydrogalacturonic acid จำนวนมากเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glycosidic linkage ชนิดของสารประกอบเพคตินแบ่งตามหมู่คาร์บอกซิลของกรดพอลิกลาลactuonic ที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์โดยหมู่เมทิลได้ดังนี้

1. โปรโตเพคติน (protopectin) เป็นสารตั้งต้นของเพคตินไม่ละลายน้ำและไม่สามารถเกิดเจลได้ เมื่อได้รับเอนไซม์หรือถูกไฮโดรไลซิสจะเปลี่ยนเป็นเพคติน พบในเนื้อเยื่อพืชส่วนมิดเดิลลามลลา

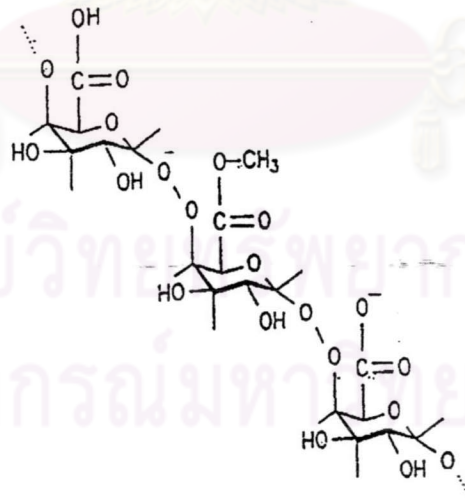
2. กรดเพคตินิก (pectinic acid) เป็น คอลลอยด์ของกรดพอลิกลาแลคทูโรนิกประกอบด้วยหมู่เมทิลเอสเทอร์ สามารถเกิดเจลได้เมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

3. เพคติน (pectin) สามารถละลายน้ำได้ ปริมาณหมู่เมทิลเอสเทอร์และ degree of neutrallization มีผลต่อการเกิดเจล

4. กรดเพคติก (pectic acid) เป็นคอลลอยด์ของกรดพอลิกลาแลคทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์เป็นองค์ประกอบ และเกลือของกรดเพคติกเรียกว่า "เพคเตท" (pectate)

โครงสร้างทางเคมีของสารประกอบเพคติน

สารประกอบเพคตินพบบริเวณผนังเซลล์ของพืชชั้นสูง ในส่วน Middle lamella ซึ่งเชื่อมประสานเซลล์ให้ติดกัน เพคตินนี้เกิดจากหน่วยย่อยของดี-กาแลคทูโรนิก (D-galacturonic acid) จำนวนมากเชื่อมกันด้วยพันธะ 1,4-glycosidic linkage อย่างน้อย 100 หน่วยขึ้นไป มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 10,000 – 40,000 โครงสร้างของเพคตินมีลักษณะดังรูปที่ 2.8 จากโครงสร้างของเพคตินมีหมู่คาร์บอกซิลของกรดดี-กาแลคทูโรนิกและถูกเอสเทอร์ไฟต์ด้วยหมู่เมทอกซิล เรียกว่า " ปฏิกิริยาเมทิลเลชัน " (Methylation reaction)



รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของเพคติน

เพคตินแต่ละชนิดจะมีจำนวนของหมู่คาร์บอกซิลของกรดดีกาแลคทูโรนิกจะถูกเอสเทอร์ไฟต์ด้วยหมู่เมทอซิลต่างกัน อัตราส่วนที่หมู่เมทอซิลถูกเอสเทอร์ไฟต์แสดงในรูปของค่า Degree of esterification (DE) ค่า DE นี้หมายถึง จำนวนเป็นร้อยละของกรดดีกาแลคทูโรนิกต่อจำนวนของกรดดีกาแลคทูโรนิกทั้งหมด ซึ่งแสดงถึงปริมาณและความชื้นที่มีอยู่ในเพคตินชนิดนั้นๆ นอกจากนี้ค่า DE ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณ เมทอซิลและน้ำหนักสมมูลของเพคติน สามารถหาได้จากการคำนวณจากสูตรต่อไปนี้

$$DE = \frac{\text{NO.of esterified D - galacturonic acid residue}}{\text{Total NO. of D - galacturonic acid residue}} \times 100$$

ประเภทของเพคติน

1. ประเภทของเพคตินแบ่งตามค่า DE ได้ 2 ประเภท

1.1 High Methoxyl Pectin (HMP) มีค่า DE มากกว่า 50% สามารถเกิดเจลได้ในสภาวะที่มีน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสม HMP เกิดโดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายพอลิเมอร์ของเพคตินและเกิดการยึดตัวของหมู่ที่ไม่ละลายน้ำของหมู่เอสเทอร์ทำให้เกิดโครงสร้างของเจล ความแข็งแรงของเจลขึ้นกับความเป็นกรด ความเข้มข้นของน้ำตาล ปริมาณเพคตินและอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าน้ำตาลกลูโคสจะให้ความแข็งแรงของเจลมากกว่าน้ำตาลฟรุคโทส

1.2 Low methoxyl pectin (LMP) มีค่า DE น้อยกว่า 50% สามารถเกิดเจลได้โดยการสร้างพันธะระหว่างแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และหมู่คาร์บอกซิลของเพคตินด้วยแรงอิออนิก (Ionic force) สามารถเกิดเจลได้โดยไม่ต้องใช้น้ำตาล จึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “Low – sugar pectin” ความแข็งแรงของเจลขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของเพคติน, Degree of polymerization และความสามารถในการจับของแคลเซียม (Beli, Rakes and Avtar 1997)

2. ประเภทของเพคตินแบ่งตามความเร็วในการเกิดเจล ได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.1 เพคตินที่เกิดเจลได้เร็ว (rapid – set pectin) เป็นเพคตินที่มีค่า DE 70% ขึ้นไป pH เหมาะสมในการเกิดเจล 3.0-3.4 ความเร็วของเจลขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล

2.2 เพคตินที่เกิดเจลได้ช้า (slow – set pectin) เป็นเพคตินที่มีค่า DE 50 – 70% ขึ้นไป pH ที่เหมาะสมในการเกิดเจล คือ 2.8 – 3.2

การเกิดเจลของเพคติน

1. การเกิดเจลของ low methoxyl pectin

low methoxyl pectin (LMP) เกิดเจลโดยการสร้างพันธะระหว่างแคลเซียมไอออน (Ca^{++}) และหมู่คาร์บอกซิลของเพคตินด้วยอิออนิก (ionic force) สามารถเกิดเจลได้โดยไม่ต้องใช้น้ำตาล LMP จึงชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า low – sugar pectin ความแข็งแรงของเจลขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของเพคติน degree of polymerization และความสามารถในการเข้าจับของแคลเซียม (Beli et al., 1997) ลักษณะการเกิดเจลของ LMP เป็น “egg box “

2. การเกิดเจลของ high methoxyl pectin

high methoxyl pectin (HMP) เกิดเจลโดยการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายพอลิเมอร์ของเพคตินและเกิดการยึดตัวของหมู่ที่ไม่ละลายน้ำของหมู่เอสเทอร์ทำให้เกิดโครงสร้างของเจลความแข็งแรงของเจลขึ้นอยู่กับความเป็นกรด ความเข้มข้นของน้ำตาล ปริมาณเพคติน และอุณหภูมิในการเก็บรักษา พบว่าน้ำตาลกลูโคสจะให้ความแข็งแรงของเจลมากกว่าน้ำตาลฟรุกโทส

สมบัติทางเคมีและกายภาพของเพคติน

1. เพคตินบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นผงที่ละลายน้ำได้ มีสีอ่อน เมื่อจับกับน้ำจะมีลักษณะเป็นก้อน (lump) และเกิดอนุภาคแข็ง มีเมือกภายนอก และแห้งภายใน

2. เพคตินไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ยกเว้น formamide, dimethylsulfoxide, dimethyl formamide, hot glycerol

3. เพคตินสามารถตกตะกอนแยกจากสารละลายเหลวได้ โดยใช้ water - miscible solvent เช่น ethanol , acetone หรือใช้ polyvalent cation quaternary detergent หรือ โปรตีน เช่น เคซีน

4. สารละลายเพคตินจะมี optical rotation เป็นบวกสูง ขึ้นอยู่กับ degree of polymerization (α)²⁰_D ของ D – galacturonic acid = + 15.9 และ (α)²⁰_D ของเพคตินประมาณ + 230

5. เพคตินไม่มีจุดหลอมเหลว เพราะจะ decompose และไหม้เกรียมเมื่อให้ความร้อนสูง

6. สารละลายเพคตินมีความเป็นกรดเล็กน้อย เพราะมี carboxyl group อิสระอยู่

7. สารละลายกรดและอุณหภูมิสูงมีผลทำให้ methoxyl group ของเพคตินถูกย่อยสลายได้

8. ภาวะที่เหมาะสมจะทำให้เพคตินสามารถ deesterified โดยกรดซึ่งไม่ทำให้น้ำตาลโมเลกุลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งคุณสมบัตินี้มีประโยชน์ต่อการนำไปผลิต LMP

9. เพคตินสามารถถูก degrade โดย oxidizing agent เช่น KMnO_4 , Cl_2 , H_2O_2 , Fe^{2+} / H_2O_2
10. การบดอย่างรุนแรงจะทำให้มวลโมเลกุลของเพคตินลดลง

การใช้ประโยชน์ของเพคติน

1. การนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น

- เป็นส่วนประกอบในการผลิต แยม เยลลี่ มามาร์เลด
- เป็นสารที่ทำให้คงตัวในไอศกรีม น้ำผลไม้ โยเกิร์ต โยเกิร์ตพร้อมดื่ม
- เป็น gelling และ thickening ใน custard , pudding ผลิตภัณฑ์พวก fruit and drink dessert
- เป็นส่วนประกอบในการผลิตขนมหวาน (confectionery)
- ตกตะกอนเคซินออกจากนม
- ใช้เคลือบผักและผลไม้ก่อนการแช่เย็น

2. การนำมาใช้ทางการแพทย์และเภสัชกรรม

- ส่วนประกอบยาแก้ท้องร่วง
- เป็นตัวช่วยให้โลหิตแข็งตัวเร็วขึ้น
- ใช้แทนพลาสมาในเลือด (Blood – plasma substitute)
- ใช้แก้พิษโลหะบางชนิด
- ใช้เป็นส่วนประกอบเชิงซ้อนของยาปฏิชีวนะบางประเภทเพื่อช่วยยืดเวลาการออกฤทธิ์ของยา

3. การนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอและยาฆ่าแมลง

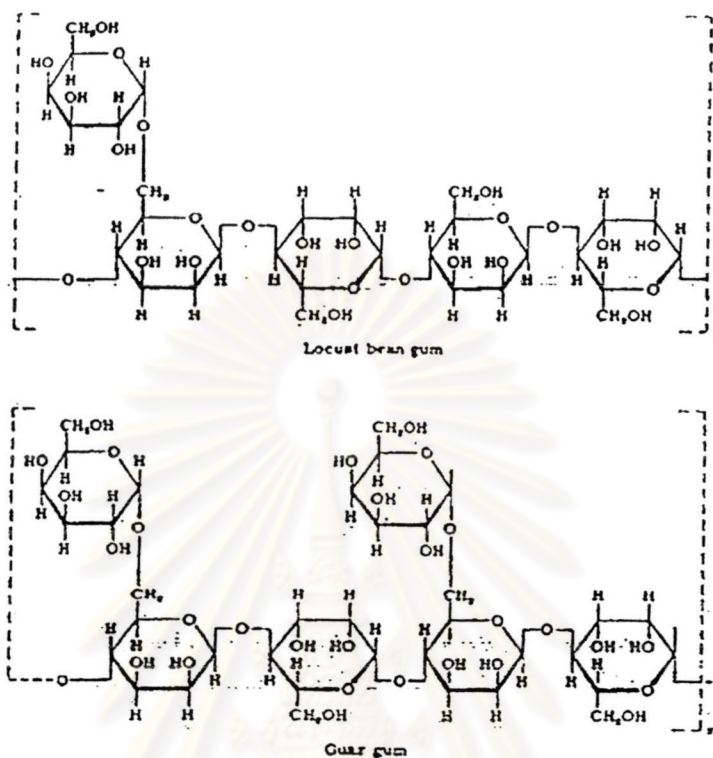
2. กวักัม (Guar Gum)

กวักัมได้มาจากเมล็ดของต้น *Cyamopsis tetragonolobus* ซึ่งเป็นพืชตระกูลถั่วให้ฝักยาว มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย และปากีสถาน โดยปลูกเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์และสัตว์ พืชชนิดนี้สูงประมาณ 1 เมตร ฝักมีสีเขียว เมล็ดประกอบด้วย ส่วนเปลือก 14 –17 % เจริ้ม 43 – 47% และเอนโดสเปิร์ม 35 – 42 % การผลิตกวักัมทำได้โดยการแยกส่วนที่เป็นเอนโดสเปิร์มออกจากเปลือกและเจริญ และนำมาบดให้มีขนาดอนุภาคละเอียด ในทางปฏิบัติแล้วการแยกเอนโดสเปิร์มออกจากเปลือกและเจริญทำได้หลายวิธีได้แก่ การแช่เมล็ดถั่วในสารละลายกรดซัลฟูริกเพื่อช่วยทำให้การลอกเปลือกออกง่ายขึ้น การใช้เอนโดสเปิร์มให้แห้ง หรือการบดและร่อนเพื่อแยกขนาด หลังจากเปลือกหลุดออกไปแล้วจะใช้การบดเพื่อแยกเจริญออกโดยอาศัยความแตกต่างในเรื่องของความแข็ง (hardness) ขององค์ประกอบ กวักัมมีชื่อทางการค้าต่างๆ เช่น jaguar[®] , superool[®] และ quartec[®] เป็นต้น องค์ประกอบต่างๆของกวักัมมีดังต่อไปนี้ กาแลคโตแมนแนน 78-82%, ความชื้น 10-15%, โปรตีน 4-5%, เส้นใย 1.5-2.0%, ไขมัน 0.5-0.75%, เหล็ก เล็กน้อย และโลหะหนัก 0%

โครงสร้างทางเคมีของกาแลคโตแมนแนน

กาแลคโตแมนแนนเป็น linear polysaccharide ที่มีสายโมเลกุลหลักเป็น $\beta(1,4)$ - linked - D - mannose residue และมีสายโซ่แขนงเป็น α - D - galactose unit ต่อเชื่อมตรงตำแหน่ง C1 ของกาแลคโตสด้วยพันธะไกลโคซิดิกกับ C6 ของแมนโนส สำหรับโกลด์สปีนก็มมีส่วนของ galactopyranose โดยเฉลี่ยทุกๆ D - mannopyranose unit 4หน่วย ส่วนกวักัมมีส่วนของ galactopyranose โดยเฉลี่ยทุกๆ D - mannopyranose unit 2 หน่วยดังแสดงในรูปที่ 2.9 นอกจากนั้นโกลด์สปีนก็ม และกวักัมมีน้ำหนักโมเลกุลเป็น 310, 000 และ 200,000-300,000 ตามลำดับ

ระดับการแทนที่ของกาแลคโตส (degree of galactose substitute) จะต่างกันไปในก็มแต่ละชนิด กวักัม ทารากัม และโกลด์สปีนก็มมีอัตราส่วนโดยเฉลี่ยระหว่างกาแลคโตสและแมนโนสเป็น 1:2, 1:3 และ 1:4 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโกลด์สปีนก็มมีระดับการแทนที่ของกาแลคโตสต่ำกว่าหรือมีสายโซ่แขนงของกาแลคโตสน้อยกว่าก็มชนิดอื่นๆ ความแตกต่างของระดับการที่ของกาแลคโตสมีผลทำให้ก็มแต่ละชนิดมีสมบัติต่างๆ แตกต่างกันไป และยังใช้เป็นเกณฑ์ในการแยกก็มแต่ละชนิด



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของโลคัสبینกัมและกัวกัม

สมบัติทางเคมีและกายภาพของกาแลคโตแมนแนน

1. การละลาย

กัมจากเมล็ดพืชที่มีระดับการแทนที่ของกาแลคโตสสูงเช่น กัวกัม สามารถละลายน้ำเย็นได้เป็นอย่างดี ในขณะที่กัมที่มีระดับการแทนที่ของกาแลคโตสต่ำกว่าเช่น โลคัสبینกัม จะละลายในน้ำเย็นได้เพียงบางส่วน จำเป็นต้องใช้ความร้อนช่วยให้การละลายเกิดได้อย่างสมบูรณ์ สารละลายที่ได้มีลักษณะการไหลเป็นแบบซูดอพลาสติก

กาแลคโตสแมนแนนไม่สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิ 25 °C ต้องใช้เวลานานถึง 120 นาที การใช้เครื่องผสมชนิดแรงเฉือนสูง, ใช้ผงกัมชนิดละเอียดหรือใช้อุณหภูมิสูงมีส่วนทำให้กัมละลายน้ำได้ดีขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกิน 80 °C เป็นเวลานานอาจทำให้เกิดการแตกหักของโมเลกุลด้วยความร้อน (thermal degradation) ซึ่งมีผลต่อทำให้ความหนืดของสารละลายลดลง นอกจากนี้ น้ำอัตราการละลายของกาแลคโตสแมนแนนมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีตัวถูกละลายชนิดอื่นๆ รวมอยู่

ด้วย ดังนั้นควรนำกาแลคโตสแมนแนนมาละลายน้ำก่อนที่จะผสมกับสารอื่นๆ เพื่อเติมลงในอาหาร

สำหรับโพลีดีนกับมันมีส่วนที่เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบในปริมาณเล็กน้อยจึงมีผลทำให้สารละลายโพลีดีนกับมันมีลักษณะขุ่น สีค่อนข้างขาว จึงไม่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการลักษณะใส นอกจากนี้โพลีดีนกับมันยังให้สารละลายที่มีความหนืดและไม่สามารถเกิดเจลโดยตัวมันเอง

2. ความหนืด

กาแลคโตสแมนแนนถูกนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเพิ่มความหนืดแก่ผลิตภัณฑ์อาหาร ทั้งนี้เนื่องจากการใช้เพียงปริมาณเล็กน้อยสามารถเพิ่มความหนืดให้แก่ระบบได้เป็นอย่างมาก (Goldstein, Alter and Seaman 1973) เช่น กัวกัมปริมาณที่น้อยกว่า 1% สามารถเพิ่มความหนืดให้แก่อาหารได้เป็นอย่างดี เมื่อกาแลคโตสแมนแนนละลายน้ำ สายยาวของแมนแนน (mannan) จะคลายตัวออกให้โครงสร้างที่ไม่มีระเบียบมีลักษณะที่เรียกว่า random coil (Mitchell, 1979; Morris and Ross – Murphy, 1981) ที่ระดับความเข้มข้นต่ำ random coil แต่ละลายจะอยู่ห่างกันและถูกล้อมรอบด้วยตัวทำละลาย (Einstein, 1906) แต่เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นโอกาสที่สาย random coil จะเคลื่อนตัวมาอยู่ใกล้กันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเกิดการเชื่อมพันธะระหว่างกันทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นต่อไปอีกความหนืดของระบบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในลักษณะเอกซ์โปเนนเชียล (exponential type)

3. ผลของความเป็นกรดต่าง

กาแลคโตแมนแนนมีเสถียรภาพในช่วงของความเป็นกรดต่างกว้างๆ เช่น โพลีดีนกับมันมีความหนืดและเสถียรภาพค่อนข้างคงที่ในช่วง pH 3 – 11 ส่วนกัวกัมมีความหนืดค่อนข้างคงที่ในช่วง pH 1.0 – 10.5 ทั้งนี้เป็นผลมาจากโครงสร้างที่เป็น neutral polymer (nonionic, uncharged molecule) แต่อย่างไรก็ตาม pH มีผลต่ออัตราการดูดซับน้ำ โดยที่ pH 8 – 9 กาแลคโตแมนแนนสามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็ว เมื่อกัวกัมละลายน้ำอย่างสมบูรณ์แล้วจึงนำมาปรับพีเอชตามที่ต้องการใช้งาน

4. ผลของความร้อนและแรงเฉือน

ความร้อนเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีต่ออัตราการดูดซับน้ำและความหนืด การเตรียมสารละลายกาแลคโตแมนแนนโดยใช้อุณหภูมิสูงมีผลทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดสูงสุดรวดเร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิสูงเกินไปอาจมีผลทำให้เกิดการแตกหักของสายโมเลกุลกาแลคโตแมนแนนจึงทำให้เกิดความหนืดของสารละลายลดลง เช่น การฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 10 นาที พบว่าความหนืดของสารละลายลดลงไปประมาณ 10% แต่ถ้าใช้อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 10 นาที ในภาวะที่ pH ของสารละลายต่ำกว่า

4.5 จะเกิดกระบวนการไฮโดรไลซิสตรงพันธะไกลโคซิดิกทำให้ความหนืดของสารละลายลดลงถึง 90% การลดปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการใช้อุณหภูมิสำหรับการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่ไม่สูงเกินไปหรือใช้ระบบบัฟเฟอร์เข้าช่วย การใช้กาแลคโตแมนแนนที่มีขนาดหยาบแทนขนาดละเอียดก็มีส่วนช่วยลดการแตกหักของโมเลกุลได้อีกทางหนึ่ง อุณหภูมิที่ใช้เพื่อให้ได้สารละลายที่มีความหนืดสูงสุดจะอยู่ระหว่าง 25 – 40 °C

กาแลคโตแมนแนนมีเสถียรภาพต่อแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในระหว่างการแปรรูปแต่ในภาวะที่การแปรรูปค่อนข้างรุนแรงอาจมีผลทำให้สายโมเลกุลของแมนแนนเกิดการแยกแตกออก (fission) การไฮโมจิไนซ์สารละลายกัวกัมเข้มข้น 1% ที่ความดันสูง 200 และ 300 บาร์ (bar) มีผลทำให้ความหนืดของสารละลายลดลงไปประมาณ 5% และ 20%ตามลำดับ

การประยุกต์ใช้กาแลคโตแมนแนนในอุตสาหกรรมอาหาร

กาแลคโตแมนแนนมีสมบัติสำคัญ 3 ประการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม (Glicksman , 1969) นั่นคือ

- ก. ความสามารถในการเพิ่มความหนืดให้แก่สารละลาย
- ข. การเกิดอันตรกิริยาที่ส่งผลเสริมต่อพอลิแซคคาไรด์ชนิดต่างๆ
- ค. ความสามารถในการควบคุมและป้องกันการเกิด syneresis

จากสมบัติดังกล่าวทำให้กาแลคโตแมนแนนถูกนำมาใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดให้แก่ผลิตภัณฑ์อาหารมากที่สุดเมื่อเทียบกับแป้งและอนุพันธ์ของแป้งที่นิยมใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจาก

1. การใช้แป้งเป็นสารเพิ่มความหนืดต้องให้ที่ระดับความเข้มข้นสูงประมาณ 4 – 6% แต่ถ้าใช้กาแลคโตแมนแนนจะใช้เพียงแค่ 0.5 – 1.0%
2. แป้งเกือบทุกชนิด(ยกเว้นแป้งจากธรรมชาติชนิดที่มีอะไมโลสสูง) จะให้ pasty structure ในระยะสั้นๆแต่กาแลคโตแมนแนนมีแนวโน้มที่จะเกิด pasty structure เป็นเวลานานกว่า
3. ความหนืดของแป้งมักเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายไปเมื่อได้รับแรงเฉือนแต่สำหรับกาแลคโตแมนแนนเมื่อได้รับแรงเฉือนจะทำให้ความหนืดเปลี่ยนแปลงไปในช่วงแรก แต่หลังจากนั้นจะเข้าสู่สภาวะเดิมได้
4. แป้งจากธรรมชาติจำเป็นต้องใช้ความร้อนช่วยให้เกิดความหนืด ส่วนกาแลคโตแมนแนนบางชนิดสามารถละลายได้ในน้ำเย็นเช่น กัวกัม
5. อุณหภูมิมีผลต่อความหนืดของกาแลคโตแมนแนนมากกว่าแป้งเช่น การแทรกผ่านความระหว่งการหุงต้ม

6.อาหารสดมักพบเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายแป้งได้บ่อยมาก แต่ไม่ค่อยพบเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายกาแลคโตแมนแนน

7.เมื่อแป้งเข้าสู่ร่างกายจะเกิดการย่อยสลายในระบบทางเดินอาหารและให้พลังงานแก่ร่างกาย แต่เอนไซม์ในร่างกายมนุษย์ไม่สามารถย่อยกาแลคโตแมนแนนจึงไม่ให้พลังงานแก่ร่างกายหรือให้พลังงานเพียงเล็กน้อย

นอกจากการใช้กาแลคโตแมนแนนเป็นสารเพิ่มความหนืดแล้วยังสามารถใช้เป็นสารให้ความคงตัวและทำให้เกิดการรวมตัวกับน้ำได้ดีขึ้น กาแลคโตแมนแนนจัดเป็นสารที่ไม่มีประจุและมีประสิทธิภาพดีในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรด ผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้กาแลคโตแมนแนนเช่น ไอศกรีม เครื่องดื่มน้ำผลไม้ และน้ำสลัด นอกจากนี้ยังใช้เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและลดการเกิด syneresis ใน processed cheeses อีกทั้งกัมยังยั้งเป็นสารเชื่อมที่รวมกับน้ำได้ในผลิตภัณฑ์เนื้อบด, เนื้อบรรจุกระป๋อง และอาหารสัตว์ เป็นต้น

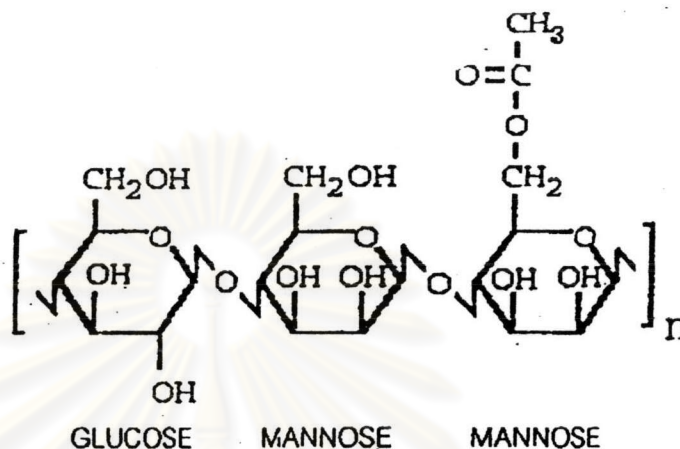
3. กลูโคแมนแนน (Glucomannan or Konjak mannan)

บุกหรือกะบุกเป็นพืชอาหารที่รู้จักกันดีในประเทศญี่ปุ่น ตระกูล *Amorphophallus* spp. อยู่ในวงศ์ *Araceae* มีชื่อภาษาอังกฤษหลายชื่อได้แก่ Elephant yam , Elephant bread หรือ Sweat yam ส่วนพันธุ์ที่พบในประเทศไทยได้แก่พันธุ์เนื้อทราย (*Amorphophallus oncophyllus*) พืชชนิดนี้สามารถพบได้ในทุกๆ ภาคของประเทศไทยเป็นพืชหรือหัวพืชที่มีรากเป็นอาหาร (root crop) หรือมีการสะสมสารสำคัญเอาไว้ หัวมีลักษณะโตอาจมีรูปร่างพิเศษหลายแบบซึ่งแบ่งที่ผลิตได้จากหัวกะบุกจะเรียกว่า "แป้งกะบุก" หรือทางญี่ปุ่นเรียกว่า "แป้งคอนยัค" (Konjak flour) แป้งดังกล่าวจะมีสารสำคัญชนิดหนึ่งคือ "กลูโคแมนแนน" (Glucomannan or Konjak mannan) (Tye,1991)

โครงสร้างทางเคมีของกลูโคแมนแนน

กลูโคแมนแนนเป็นสารประเภทพอลิแซคคาไรด์มีลักษณะเป็นเม็ดค่อนข้างกลมสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200,000 ดาลตัน ประกอบด้วยกลูโคสและแมนโนส โดยมีอัตราส่วนของแมนโนส : กลูโคส เป็น 3 : 2 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเบต้า – ดี 1,4 ไกลโคซิดิก (Beta-D(1,4-Glycosidic) ในร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ย่อยสลายโครงสร้างที่เป็น เบต้า-ดี-1,4 ไกลโคซิดิก ดังนั้นเมื่อมนุษย์รับประทานกลูโคแมนแนนเข้าไปจึงไม่ให้พลังงานหรือแคลลอรี่ต่อร่างกายต่ำ

โครงสร้างของกลูโคแมนแนนยังมีหมู่อะเซทิล (Acetyl group) กระจายอยู่ทั่วไปประมาณ 1/19 ของปริมาณหน่วยกลูโคส / แมนโนส (Tye , 1991) ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของกลูโคแมนแนน

สมบัติทางเคมีและกายภาพของกลูโคแมนแนน

แป้งกะบุกมีลักษณะเป็นรูปไข่ มีสีค่อนข้างขาว ขนาด 100-500 ไมครอนและมีสมบัติต่างๆ ดังต่อไปนี้ (Tye,1991)

1. ความชื้นเหน็ด

แป้งกะบุกมีความคงตัวในน้ำนั่นคือเมื่อแป้งกะบุกกระจายตัวทั่วไปในน้ำ แป้งชนิดนี้จะดูดซับน้ำเอาไว้ แล้วเกิดการพองตัวทำให้สารละลายมีความหนืดอัตราการดูดซับน้ำ (Hydration) ของแป้งกะบุกจะขึ้นอยู่กัอุณหภูมิและเวลา เมื่อใส่แป้งกะบุกลงในน้ำแล้วจะต้องคนตลอดเวลาเพื่อให้เกิดการแพร่กระจายไปอย่างสมบูรณ์ ทำให้ความสามารถในการรักษาความคงตัวในน้ำได้ดีขึ้น

2. การเกิดฟิล์ม (film formation)

เมื่อสารละลายแป้งกะบุกเกิดการสูญเสียน้ำไป จะทำให้เกิดสารละลายมีลักษณะแห้ง และรวมตัวเป็นก้อน เกิดลักษณะเป็นฟิล์มเหนียวๆ (Tough films) ซึ่งฟิล์มที่เกิดขึ้นนี้มีความเสถียรภาพทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น หรือในสารที่เป็นกรดและเบสได้ดี และฟิล์มนี้สามารถคงตัวได้

3. การเกิดเจล (gel formation)

โดยทั่วไปเจลที่ได้จากพอลิแซ็กคาไรด์เมื่อนำมาให้ความร้อนจนถึงระดับอุณหภูมิหนึ่งๆ เจลจะแตกออกหรือเกิดการแยกตัวของโครงสร้างตาข่ายพอลิเมอร์ (polymer network) ทำให้สูญเสียความเป็นเจลไป แป้งกะบุกเมื่อละลายในสารละลายต่างอ่อนๆ เช่น โปแตสเซียมคาร์บอเนต พบว่าแป้งกะบุกจะสามารถเกิดเจลที่มีความแข็งแรงมาก เจลที่เกิดขึ้นจากแป้งกะบุกนี้จะเพิ่มความแข็งแรงและความคงตัวมากขึ้นเมื่อให้ความร้อนและจะมีเสถียรภาพมากขึ้นเมื่อนำมาให้ความร้อนอีกครั้งหนึ่ง

4. ความหนืด (viscosity)

เมื่อนำแป้งกะบุกมาใช้ร่วมกับแป้งหรือใช้ร่วมกับกัมชนิดอื่นและสารให้ความคงตัว (stabilizer) เพื่อเพิ่มความหนืดของผลิตภัณฑ์โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกลิ่นรส (organoleptic) แป้งกะบุกยังส่งผลให้ความหนืดของแป้งหรือไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ร่วมด้วยมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก และรักษาค่าความหนืดของระบบให้คงที่ทั้งกระบวนการให้ความร้อนและการทำให้เย็น เช่น ใช้แป้งกะบุกร่วมกับ modified waxy maize starch หรือใช้ร่วมกับแป้งข้าวโพด เป็นต้น

แป้งกะบุกสามารถนำมาใช้เป็นสารให้ความหนืดและสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ไม่เกิดเจลโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์อิมัลชัน เช่น ไอศกรีม วิปป์ครีม meringues, cheese spread, cheese slices และ milk drink เป็นต้น การใช้แป้งกะบุกแทน คารอบกัม (carob gum) ในการผลิตไอศกรีมจะช่วยลดต้นทุนได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากแป้งกะบุกมีราคาถูกกว่าและยังสามารถใช้ในปริมาณที่น้อยกว่าอีกด้วย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการยอมรับทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับได้ โดยทั่วไปนิยมใช้แป้งกะบุกประมาณ 0.1-0.5 % โดยน้ำหนัก

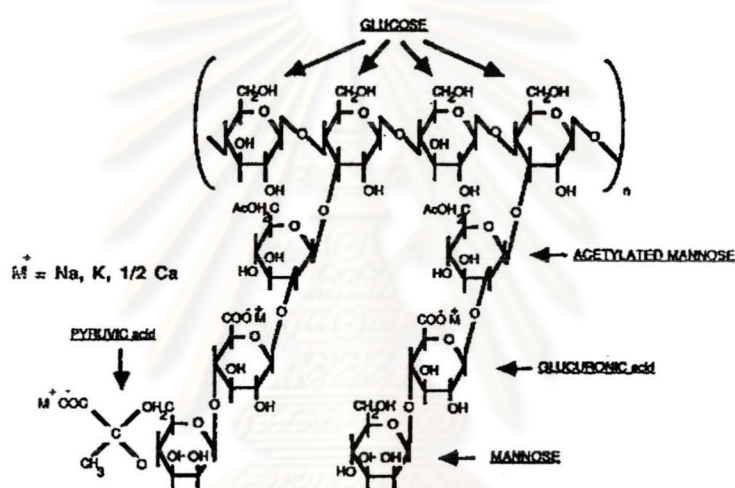
ผลิตภัณฑ์ประเภท condiment เช่น mayonnaise cream spread ก็มีการใช้แป้งกะบุกเพื่อลดปริมาณไขมันโดยการเตรียมสารละลายแป้งกะบุกที่มีไขมันอยู่ 1-2 % เพื่อใช้เป็น fat like system ในการทำ reduced fat condiments (Tye, 1991)

4. แซนแทนกัม (Xanthan Gum)

แซนแทนกัม ผลิตจากเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas spp.* ชื่อ *Xanthomonas campestris* ในอุตสาหกรรมเรียกว่า NRRL B-1459 การผลิต แซนแทนกัมเกิดขึ้นในปี 1960 ที่สหรัฐอเมริกา ปัจจุบันผลิตอย่างกว้างขวางในญี่ปุ่น, ยุโรป และสหรัฐอเมริกา ข้อดีของไฮโดรคอลลอยด์ที่ได้จากกระบวนการหมักคือปริมาณเพราะเนื่องจากกระบวนการผลิตไม่ต้องกังวลกับปัจจัยภายนอก เช่น ภูมิอากาศ คุณภาพของผลผลิตมีความสม่ำเสมอและสามารถกำหนดลักษณะที่ต้องการได้ มากไปกว่านั้นราคายังไม่ขึ้นกับภาวะทางเศรษฐกิจและการเมือง

โครงสร้างทางเคมีของแซนแทน กัม

แซนแทน กัม มี repeating unit เป็น “pentasaccharide units” ประกอบด้วย 1,4 – linked β -D-glucose (เหมือน เซลลูโลส) เป็นสายหลัก มี D-mannose 2 โมเลกุล และ D-glucuronic acid 1 โมเลกุล เป็นสายกิ่งดังรูปที่ 2.11 Janson, Kene และ Lindberg (1975) รายงานว่าแมนโนสตัวสุดท้ายของสายกิ่งอยู่ในรูป pyruvic acid หรือ pyruvate ketal 60% จะทำให้แซนแทนกัม มีความหนืดมากและมีสมบัติที่สม่ำเสมอ แซนแทนกัม มีน้ำหนักโมเลกุล 2,500,000 มีความสามารถในการกระจายตัวต่ำ



รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของแซนแทน กัม

สมบัติทางเคมีและกายภาพของแซนแทน กัม

1. ลักษณะการไหล

สารละลายแซนแทน กัม มีความหนืดสูงมาก ยกเว้นที่ความเข้มข้นต่ำ มีลักษณะการไหลเป็นแบบ pseudoplastic ที่ดีมาก แต่ไม่ยืนยันว่าเป็น thixotropy หรือไม (Whitcomb and Macosko, 1978) แซนแทน กัม มีโครงสร้างเป็น rigid และ rod – like สามารถคลายตัวได้เมื่อมีความเข้มข้นต่ำ แซนแทนกัม มีความหนืดสูงที่แรงเฉือนต่ำๆ และให้ลักษณะการไหลแบบ

pseudoplastic เมื่อเพิ่มความเข้มข้น การที่แซนแทนกัมมีความหนืดลดลงเมื่อเพิ่มแรงเฉือนเป็นผลดีต่อการปฏิบัติงานกล่าวคือ เหนือ,ผสมหรือบีบสะดวก และกลืนกินง่ายไม่ติดคอ

เมื่อเปรียบเทียบแซนแทนกัมกับสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น พบว่าแซนแทนกัมมีความหนืดลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อให้แรงเฉือน เนื่องจากโครงสร้างเป็น semi - rigid จึงเปลี่ยนแปลงง่ายกว่า random - coil ของไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น สารละลายแซนแทนกัมต้องออกแรงผลึกค่าหนึ่งจึงจะเริ่มเคลื่อนที่ซึ่งเรียกว่า " yield value " yield value นี้เป็นผลมาจากโครงร่างตาข่ายอ่อนๆ ที่เกิดขึ้นในสารละลายแซนแทนกัม โครงสร้างเหล่านี้ไม่เป็นเจลสามารถสลายได้เมื่อมีแรงเฉือน

2. เสถียรภาพเมื่อใช้ร่วมกับสารอื่น

อาหารส่วนใหญ่ก็มีเกลือสูง เช่น ซีออสปรุงรสจากถั่วเหลือง มีกรดสูง เช่น น้ำผลไม้ น้ำสลัด และอาจผ่านกระบวนการให้ความร้อนต่างๆ เช่น high - temperature short - time (HTST) หรือ ultra heat treatment (UHT) หรือ สเตอไรล์ ซึ่งสารให้ความคงตัวต้องทนต่อภาวะเหล่านี้ แซนแทนกัมมีสายกิ่งที่แนบไปกับสายหลักจึงทำให้ทนต่อการเปลี่ยนแปลง กรด-ด่าง, อุณหภูมิสูง การแช่แข็งและการละลาย เอนไซม์ และการผสมที่ใช้เวลานานได้

แซนแทนกัมทนความเป็นกรดต่างมาก (ตั้งแต่ 1-13) เนื่องจากสายกิ่งแนบไปกับสายหลักที่ความเข้มข้นสูงจะทนได้มากกว่าที่ความเข้มข้นต่ำ แซนแทนกัมจึงใช้ได้ ในอาหารที่มีกรดอะซิติก กรดซิตริก หรือกรดฟอสฟอริก

แซนแทนกัมมีความหนืดคงที่ ตั้งแต่ 10 - 90 °C ซึ่งต่างจากสารไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น

เอนไซม์ที่มาจากวัตถุดิบหรือเติมระหว่างการผลิต เช่น อะไมเลส, เพคตินเนส และเซลลูเลสไม่สามารถทำลายโครงสร้างของแซนแทนกัมได้

แซนแทนกัมทนต่อการแช่แข็งและการละลายน้ำแข็งด้วยระบบไมโครเวฟได้ ยกเว้นที่ความเข้มข้นต่ำ

แม้ว่าเกลือจะลดการดูดน้ำของแซนแทนกัม แต่กระนั้นก็ไม่สามารถทำให้ความหนืดลดลง กล่าวคือสารละลายเกลือที่มีแซนแทนกัมร้อยละ 0.4 มีความหนืดคงที่และเมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเป็นร้อยละ 1 ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น สำหรับสารละลายน้ำตาลความหนืดของแซนแทนกัมก็ไม่แปรผันตามปริมาณน้ำตาลเช่นกัน

ดังนั้นแซนแทนกัม จึงสามารถใช้ร่วมกับอาหารที่มีกรด เกลือ โปรตีน และสารให้ความข้นหนืด เช่น แป้ง คาร์ราจีแนน อนุพันธ์ของเซลลูโลส เจลลาติน และแอลจิเนตได้ แต่อย่างไรก็ตาม อาจเกิดปฏิกิริยาและตกตะกอนเมื่อใช้ร่วมกับโปรตีนบางชนิด เช่น โปรตีนนม ถ้ามีภาวะเป็นกรดหรือผ่านกระบวนการให้ความร้อน

การใช้พอลิแซคคาไรด์ร่วมกัน

ความหนืดและเจลของพอลิแซคคาไรด์ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร บ่อยครั้งที่มีการใช้พอลิแซคคาไรด์ร่วมกันเพื่อให้ลักษณะการไหลที่ต้องการหรือลดต้นทุนการผลิต ตัวอย่างของพอลิแซคคาไรด์ที่นำมาใช้ร่วมกัน เช่น แคปปาคาราจีแนกับกาแลคโตแมนแนน แชนแทน กัม กับกาแลคโตแมนแนน และแอลจินเตกับเพคติน เป็นต้น การเสริมฤทธิ์กันของพอลิแซคคาไรด์เหล่านี้มีการศึกษามากกว่า 20 ปี แต่ยังหาข้อสรุปที่แน่นอนไม่ได้ (Morris, 1990)

Cairns และคณะ (1987) รายงานว่าการใช้พอลิแซคคาไรด์สองชนิดร่วมกันอาจเกิดโครงสร้างเจลได้ 4 แบบ ดังรูปที่ 2.12 คือ

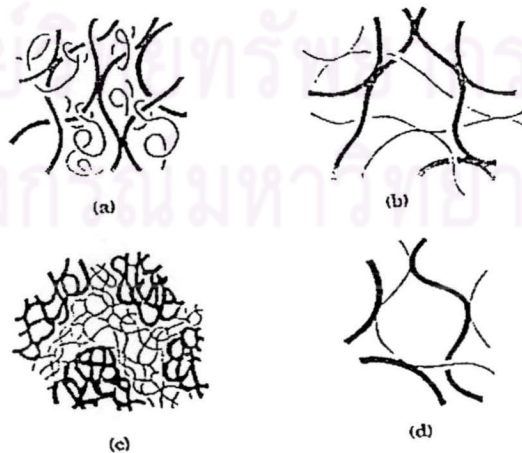
a. มีพอลิแซคคาไรด์เพียงชนิดเดียวที่เกิดโครงร่างตาข่าย ส่วนอีกชนิดเข้าไปแทรกตัวหรือพันอยู่ในโครงร่างนั้น

b. พอลิแซคคาไรด์ทั้งสองชนิดต่างสร้างโครงร่างตาข่ายที่เป็นอิสระต่อกันแต่แทรกตัวขัดกันไปมา

c. พอลิแซคคาไรด์ทั้งสองชนิดเกิดเจลด้วยตัวของมันเองและแยกกันอยู่คนละส่วน

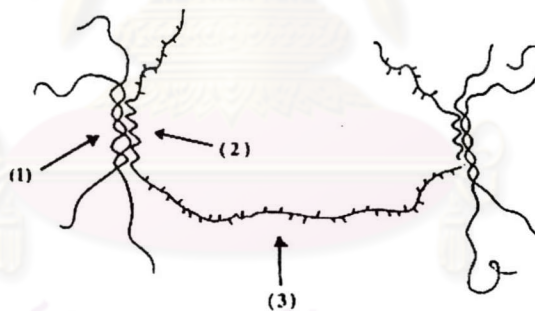
d. พอลิแซคคาไรด์ทั้งสองชนิดจะเกิดเจลเมื่อมาอยู่รวมกันเท่านั้น ถ้าแยกกันอยู่จะไม่เกิดเจล

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างแชนแทนกัมกับกาแลคโตแมนแนนหรือกลูโคแมนแนนนั้นจะเกิดเจลดังรูปที่ 2.12 d



รูปที่ 2.12 อันตรกิริยาระหว่างพอลิแซคคาไรด์สองชนิด

กาแลคโตแมนแนนไม่สามารถเกิดเจลโดยตัวมันเอง แต่สามารถเกิดอันตรกิริยาและมีส่วนช่วยปรับปรุงหน้าที่ต่างๆ ของไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี อย่างเช่น สารละลายระหว่างแซนแทนกัมและโลคัสبینกัมที่อัตราส่วน 1:1 หลังจากใช้ความร้อนและทิ้งไว้ให้เย็นจะได้เจลที่มีความยืดหยุ่น ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้นเมื่อแยกใช้แซนแทนกัมและโลคัสبینกัมเพียงอย่างเดียว แต่ถ้าใช้กาแลคโตแมนแนนชนิดที่มีส่วนกาแลคโตสในโครงสร้างมากขึ้นแทนโลคัสبینกัม พบว่า การเกิดอันตรกิริยามีแนวโน้มลดลง เช่น ถ้าใช้ทารากัมร่วมกับแซนแทนกัมจะได้เจลที่มีลักษณะอ่อน แต่ถ้าใช้กัวกัมร่วมกับใช้แซนแทนกัมจะทำให้ความหนืดของสารละลายมีค่าเพิ่มมากขึ้นเท่านั้นโดยไม่เกิดเป็นเจล ดังนั้นจึงพบว่าอันตรกิริยาระหว่างแซนแทนกัมกับกาแลคโตแมนแนน เช่น กัวกัม โลคัสبینกัมและทารากัม ซึ่งเป็นสายแมนโนสที่มีกาแลคโตสเป็นกิ่ง อัตราส่วนระหว่างกาแลคโตสกับแมนโนสเป็นปัจจัยสำคัญที่จะกำหนดความแข็งแรงของโครงสร้างที่เกิดขึ้น พบว่าอันตรกิริยาระหว่างแซนแทนกัมกับกัวกัมซึ่งมีอัตราส่วนของกาแลคโตสกับแมนโนสเป็น 1 : 2 จะเสริมฤทธิ์กันเพียงเล็กน้อย ขณะที่โลคัสبینกัมมีอัตราส่วนของกาแลคโตสกับแมนโนสเป็น 1 : 4 จะให้ความแข็งแรงของโครงสร้างมากกว่า ทั้งนี้ขึ้นกับการกระจายตัวของกาแลคโตสในสายกาแลคโตแมนแนนที่ไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างส่วนที่ไม่มีกิ่ง (smooth) ของสายกาแลคโตแมนแนน (Dea, McKinnon and Rees, 1972) ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 อันตรกิริยาระหว่างแซนแทน กัม กับกาแลคโตแมนแนน เมื่อ (1) คือโครงสร้างของแซนแทน, (2) คือโครงสร้างของกาแลคโตแมนแนน ส่วนที่ไม่มีกิ่ง และ (3) คือโครงสร้างของกาแลคโตแมนแนน ส่วนที่มีกิ่ง

สำหรับอันตรกิริยาระหว่างแซนแทนกัมกับกลูโคแมนแนนเหมือนกับโลคัสبینกัมให้เจลที่แข็งแรงแม้ที่ความเข้มข้นต่ำ ประมาณ 0.2 % และเจลจะมีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อความเข้มข้นของสารละลายทั้งหมดเป็นร้อยละ 1 ถึงแม้จะเพิ่มความเข้มข้นขึ้นก็ไม่ให้ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้น