บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิต แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด จัดเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งในปัจจุบัน และเป็นช่องทางการนำผลไม้ที่ยังมีคุณภาพดี ไม่เน่าเสีย แต่ไม่เหมาะกับการใช้งานสำหรับจุดประสงค์อื่น เช่น มีรูปร่างผิดปกติ มีสีและขนาดไม่ได้ตามมาตรฐาน รวมทั้งเป็นการนำส่วนเหลือใช้ เช่น เปลือก แกน ผลที่มีรอยช้ำแต่ยังไม่เน่า มาใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ (กิตติพงษ์, 2536)

2.1 นิยามและลักษณะของผลิตภัณฑ์แยม

ตามนำนิยามของ FDA ในปี 1936 แยม คือ ผลิตภัณฑ์ซึ่งได้จากการต้มส่วนที่บริโภคได้ของผลไม้กับน้ำตาลซูโครส หรือ เดกซ์โตรส อาจเติมเครื่องเทศ น้ำ น้ำส้มสายชู และกรดอินทรีย์ที่ไม่เป็นอันตราย แต่ไม่นับรวมกรดอินทรีย์หรือเกลือของกรดอินทรีย์ที่ใช้เป็นสารกันบูด(preservative) เคี่ยวจนมีความหนืดเหมาะสม ได้ผลิตภัณฑ์ที่สะอาดมีคุณภาพดี โดยกำหนดว่าจะต้องใช้ผลไม้ไม่น้อยกว่า 45-47 ส่วน ขึ้นกับชนิดของผลไม้ ต่อน้ำตาล 55 ส่วน กรณีที่ผลไม้ที่ใช้มีเปกตินต่ำ อาจเติมเปกตินลงไปได้ แต่ต้องใช้สัดส่วนของผลไม้ต่อน้ำตาลไม่ต่ำกว่านี้ ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติมเปกตินจะต้องมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่ต่ำกว่า 65 องศาบริกซ์ (กิตติพงษ์, 2536 และ Baker, 1996)

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ในปี 2521 ได้กำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์แยม โดยกำหนดว่า แยมเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อผลไม้กับสารให้ความหวาน อาจผสมน้ำผลไม้ หรือ น้ำผลไม้เข้มข้นด้วย แล้วทำให้มีความข้นเหนียว หรือกึ่งแข็งกึ่งเหลวพอเหมาะสำหรับใช้ทา (spreadibility) มีสี กลิ่นรส ตามชนิดของผลไม้ที่ใช้ทำ อาจใช้สีผสมอาหารที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในการปรุงแต่งสีได้ และได้แบ่งแยมเป็นสองประเภทใหญ่ ๆ คือ ประเภทที่มีเนื้อผลไม้ทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 45 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก และ ประเภทที่มีเนื้อผลไม้ไม่ต่ำกว่า 33 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก ผลไม้ที่ใช้อาจใช้ผลไม้ชนิดเดียวหรือผลไม้ผสมหลายชนิด กรณีที่ใช้ผลไม้ชนิดเดียว ถ้าใช้ฝรั่งต้องมีเนื้อผลไม้ไม่น้อยกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ ถ้าใช้เนื้อมะม่วงหิมพานต์ต้องมีเนื้อผลไม้ไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ถ้าใช้กระเจี๊ยบ ขิง มะม่วง จะต้องมีเนื้อผัก ผลไม้ ไม่น้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์

กรณีที่ใช้ผลไม้ 2 ชนิด จะต้องมีส่วนที่เป็นผลไม้ชนิดหลัก 50-75 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักส่วนที่เป็นผลไม้ทั้งหมด ยกเว้น ผลไม้จำพวก แตง มะละกอ อาจมีได้ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักส่วนที่

เป็นผลไม้ทั้งหมด สำหรับ มะนาว ขิง จะต้องมีเนื้อผัก ผลไม้ ไม่น้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ส่วนผสมหลักอาจมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ได้ กรณีที่ใช้ผลไม้ 3 ชนิด จะต้องมีส่วนที่เป็นผลไม้ชนิดหลัก 33.3-75.0 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนที่เป็นผลไม้ทั้งหมด และกรณีที่ใช้ผลไม้ 4 ชนิด จะต้องมีส่วนที่เป็นผลไม้ชนิดหลัก 25-75 เปอร์เซ็นต์ของส่วนที่เป็นผลไม้ทั้งหมด (มอก.263,2521)

2.2 การผลิตแยม

2.2.1 วัตถุดิบ

วัตถุดิบหลักที่จำเป็นในการผลิตแยม คือ ผลไม้, เปกติน, น้ำตาล และกรด นอกจากนี้อาจมีการเติมสารกันบูด (preservative) หรือ สารกันการเกิดฟอง (antifoaming agent) ด้วยก็ได้ (Baker, 1996)

2.2.1.1 ผลไม้ :- ผลไม้ที่ใช้ควรจะแก่และสุกเต็มที่ แต่ไม่ควรสุกงอมเกินไป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรส และเนื้อสัมผัสที่ดี เพราะผลไม้ที่สุกงอมเกินไปนั้น เอนไซม์ตามธรรมชาติที่มีในผลไม้จะทำลายโครงสร้างของสารประกอบเปกติน ดังนั้นกรณีที่จำเป็นต้องนำผลไม้ที่สุกงอมเกินไปไม่เหมาะสมกับการแปรรูปอย่างอื่นมาผลิตแยม จึงต้องมีการเติมเปกตินหรือเติมสีสังเคราะห์ลงไป เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและลักษณะปรากฏดีขึ้น สำหรับผลไม้ที่ยังไม่สุก หรือ สุก ๆ ดิบ ๆ นั้น สารประกอบเปกตินที่มีในผลไม้นั้น ไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาผลิตแยม (Broomfield, 1996 และ Pilgrim, 1991)

ผลไม้ที่เหมาะสมที่จะใช้ทำแยม ควรเป็นผลไม้พันธุ์ที่มีปริมาณน้ำตาลและกรดเพียงพอ รวมทั้งจะต้องมีสีสวย, มีกลิ่นรสที่ดี และควรเป็นผลไม้ที่สดด้วย แต่ในธรรมชาติการจะหาผลไม้ที่มีลักษณะดังกล่าวครบถ้วนเป็นไปได้ยาก การผลิตแยมจึงต้องเติมเปกตินหรือกรดลงไป เพื่อให้มีปริมาณสารเหล่านั้นเพียงพอและเหมาะสมในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ (กิตติพงษ์, 2536)

อุตสาหกรรมแยมสามารถหาแหล่งของผลไม้ ได้ถึง 5 ทางคือ (Bhatia, 1997)

1. ผลไม้สด
2. ผลไม้แช่เยือกแข็ง
3. ผลไม้กระป๋อง หรือ ผลไม้ที่ถูกถนอมรักษาด้วยความเย็น
4. ผลไม้ที่ถนอมรักษาด้วย สารประกอบพวกกำมะถัน
5. ผลไม้แห้ง

การเตรียมผลไม้ก่อนการผลิตแยม จะต้องทำการล้างทำความสะอาด พวกที่มีเปลือกหรือเมล็ดจะถูกปอกเปลือก หรือ คว้านเมล็ดออก แยกเอาเฉพาะส่วนเนื้อที่รับประทานได้มาใช้ จากนั้นทำผลไม้ให้เป็นชิ้นเล็ก จะใช้วิธีใดขึ้นกับชนิดของผลไม้ เช่น อาจใช้วิธี หั่น สับ บด หรือต้มจนเละก็ได้ (Broomfield, 1996)

2.2.1.2 สารให้ความหวาน :- สารให้ความหวานที่นิยมใช้จะเป็นน้ำตาลซูโครส นอกจากนี้อาจมีการใช้สารให้ความหวานชนิดอื่น เช่น high fructose syrup หรือ invert syrup ในการใช้น้ำตาลเหล่านี้ต้องพิจารณาถึงน้ำตาลอินเวอร์ทที่มีอยู่ด้วยเพราะจะมีผลต่อคุณภาพของแยม ด้านการแข็งตัวของแยม และอาจเกิดการตกผลึกขึ้นได้ (Broomfield, 1996)

2.2.1.3 กรด :- กรดที่นิยมใช้ในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมของแยม คือ กรดซิตริก กรดมาลิก (Broomfield, 1996)

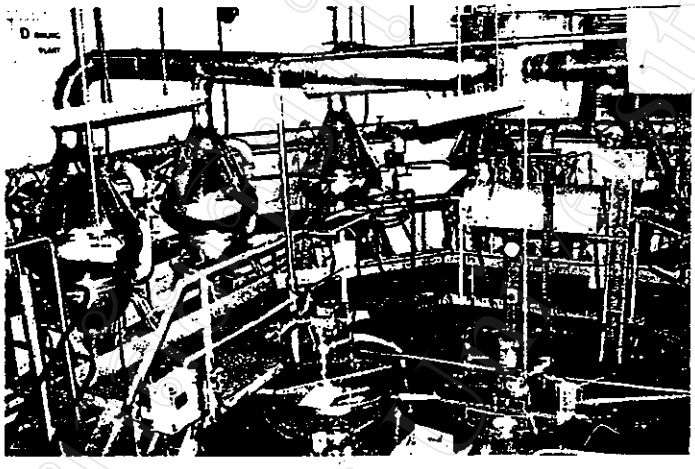
2.2.1.4 เปกติน :- เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สกัดได้จากเปลือกของผลไม้ตระกูลส้ม และยังพบเป็นส่วนประกอบในเนื้อผลไม้บางชนิดด้วย เช่น แอปเปิล ฝรั่ง นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์แยมเพื่อทำหน้าที่เป็นสารทำให้เกิดเจล (gelling agent) (Baker, 1991)

2.2.2 การให้ความร้อน

หลังจากที่ได้เนื้อผลไม้แล้ว จึงนำเนื้อผลไม้มาต้ม พร้อมกับเติมน้ำตาลส่วนหนึ่งลงไปเพื่อให้น้ำตาลดึงน้ำออกจากผลไม้ ผลไม้ที่มีเนื้อแข็ง อาจเติมน้ำลงไปพร้อมกับเนื้อผลไม้ด้วย กรณีที่ต้องการเติมเปกติน จะแบ่งน้ำตาลไว้ส่วนหนึ่ง เพื่อผสมกับเปกตินก่อนเติม จะทำให้เปกตินละลายดีขึ้นและไม่จับตัวเป็นก้อน (กิตติพงษ์, 2536)

วิธีการให้ความร้อนแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

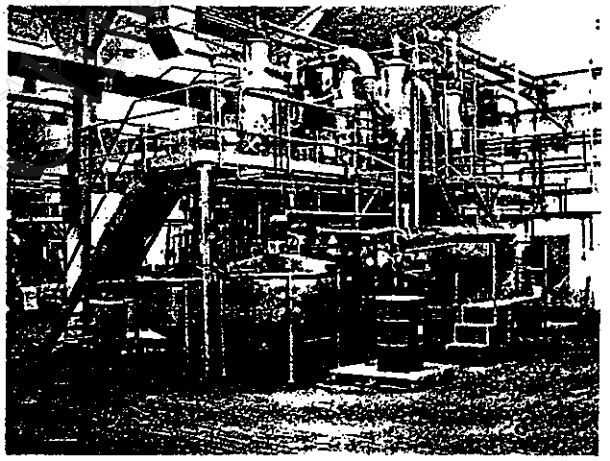
1. วิธีการให้ความร้อนภายใต้สภาวะบรรยากาศ โดยใช้ภาชนะที่เป็นเหล็กปลอดสนิม และใช้ไอน้ำเป็นแหล่งให้ความร้อน โดยจะให้ความร้อนพร้อมกับมีการคนตลอดเวลา เพื่อป้องกันการไหม้ที่อาจเกิดขึ้น ดังภาพ 2.1



ภาพที่ 2.1 กระบวนการผลิตแยมโดยการให้ความร้อนภายใต้สภาวะบรรยากาศ

ที่มา : Broomfield , 1996

2. วิธีการให้ความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นการให้ความร้อนภายใต้ความดันโดยใช้ความดันประมาณ 8.8 บาร์ หรือประมาณ 26 นิ้วปรอท ภายในภาชนะปิดสนิท เพื่อหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งการให้ความร้อนโดยวิธีนี้ อาจจะเป็นได้ทั้ง กระบวนการผลิตแยมแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่องก็ได้ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กระบวนการผลิตแยมโดยการให้ความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ที่มา: Broomfield , 1996

ในช่วงท้ายของการให้ความร้อน จึงทำการเติมเปกตินที่ผสมกับน้ำตาลที่เหลือ กรด สี กลิ่น และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เหลือลงไป ก่อนหยุดให้ความร้อน จะต้องตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในด้านต่าง ๆ โดยจะทำการตรวจสอบ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ท และ ค่าความเป็นกรดด่างของผลิตภัณฑ์ (Broomfield, 1996)

2.2.3 การลดอุณหภูมิและการบรรจุ

เมื่อการให้ความร้อนสิ้นสุดลง แล้วจึงทำการลดอุณหภูมิลงทันที โดยให้อยู่ในช่วง 82-85 องศาเซลเซียส ก่อนทำการบรรจุแยมลงในภาชนะบรรจุ การลดอุณหภูมิลงให้อยู่ในระดับนี้มีข้อดี คือ

1. ช่วยทำ ให้เกิดการแข็งตัวของเจล
2. ช่วยทำให้เนื้อผลไม้กระจายตัวอย่างทั่วถึง เพราะถ้าบรรจุขณะที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงเกินไป จะทำให้ชิ้นผลไม้ลอยตัวอยู่ด้านบน
3. ช่วยลดการเปลี่ยนแปลงบางอย่างที่ไม่ต้องการ เช่น ลดการเกิดสีคล้ำ และลดการเปลี่ยนซูโครสเป็นน้ำตาลอินเวอร์ทที่มากเกินไป

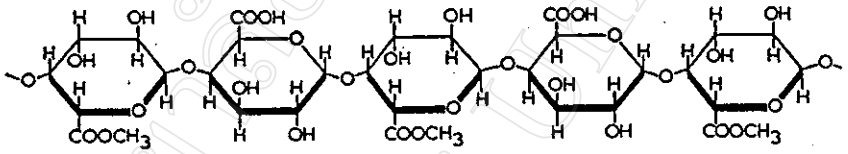
ภาชนะบรรจุแยมในปัจจุบันนิยมใช้ ขวดแก้ว หรือ ขวดพลาสติก หลังการบรรจุอาจทำการฆ่าเชื้อที่อาจติดมาในส่วนช่องว่างเหนือภาชนะบรรจุอีกครั้ง โดยการให้ความร้อนที่ 82 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที และแยมที่ผลิตโดยวิธีการให้ความร้อนภายใต้สภาวะสุญญากาศ ซึ่งใช้อุณหภูมิต่ำ ก็จะต้องผ่านการฆ่าเชื้อหลังการบรรจุอีกครั้ง โดยให้ความร้อนที่ 85-95 องศาเซลเซียส 30 นาที เพื่อฆ่ายีสต์ซึ่งอาจปะปนในผลิตภัณฑ์ และเพื่อช่วยยืดอายุการเก็บผลิตภัณฑ์ให้นานขึ้นด้วย (กิตติพงษ์, 2536 และ Broomfield, 1996)

2.3 การเกิดเปกตินเจลในแยมปกติ

การเกิดเจลในแยมปกตินั้น จะต้องเกิดภายใต้สภาวะ และ องค์ประกอบที่เหมาะสม องค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดเจล คือ เปกติน น้ำตาล และ กรด (Baker, 1996)

2.3.1 เปกติน (pectin)

เปกตินจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเจลในผลิตภัณฑ์แยม (Oakenfull, 1991) มีสถานะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของอนุพันธ์ของคาร์โบไฮเดรตที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ สารเหล่านี้จะเกิดอยู่ในหรือเตรียมได้จากเนื้อเยื่อพืช ส่วนมากจะประกอบด้วยหน่วยย่อยของกรดแอนไฮโดรกาแลกทูโรนิก (anhydrogalacturonic acid) ต่อกันเป็นสายยาว และกลุ่มคาร์บอกซิลของกรดกาแลกทูโรนิกบางส่วนอาจเกิดเอสเทอร์กับหมู่เมธิล (methyl group) หรืออาจถูกสะเทินโดยเบสตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป (กิตติพงษ์, 2536) ตัวอย่างสูตรโครงสร้างของโซ่ของกรดกาแลกทูโรนิก แสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 การเกิดเอสเทอร์ของหมู่เมธิลบนโซ่ของกรดกาแลกทูโรนิก
ที่มา: Rolin , 1990

เปกติน คือ กรดเปกตินิกที่ละลายน้ำได้ เปกตินมีขนาดความยาว และน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 50,000 ถึง 200,000 ขึ้นกับแหล่งที่เกิด วิธีการสกัดและการเตรียม (Kringelum, 1991) และในโมเลกุลเปกตินจะมีปริมาณเอสเทอร์แตกต่างกันด้วย ขึ้นอยู่กับ แหล่งที่เกิด, ความแก่อ่อนของผลไม้ และวิธีการสกัด โดยทั่วไปโมเลกุลเปกตินจะมีปริมาณเอสเทอร์อยู่ในช่วง 60-90 เปอร์เซ็นต์ (Buren, 1991) โมเลกุลของเปกตินในธรรมชาติส่วนมากมักจะเกิดเอสเทอร์แบบเมธ็อกซิลเอสเทอร์ขึ้น (Kringelum, 1991)

ปริมาณของเมธ็อกซิลเอสเทอร์ในโมเลกุลจะมีผลต่อการเกิดเจลของเปกติน และการแสดงปริมาณเอสเทอร์นี้ อาจกำหนดได้ในรูปของปริมาณเมธ็อกซิล (methoxyl content) หรือระดับการเกิดเมธ็อกซิลเอสเทอร์ ซึ่งนิยมเรียกว่า DM (Degree of Methoxylation)

ปริมาณเมธ็อกซิลนั้น จะแสดงถึงน้ำหนักของหมู่เมธ็อกซิล ($-OCH_3$) โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมด ปริมาณเมธ็อกซิลสูงสุดจึงมีค่า 16.32 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดจาก น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของหมู่เมธ็อกซิล คือ 31 เทียบกับน้ำหนักโมเลกุลของกรดเมธ็อกซิลกาแลกทูโรนิก คือ 190

และค่าระดับการเกิดเมธ็อกซิลเอสเทอร์ หรือค่า DM นั้น จะแสดงถึง เปอร์เซ็นต์ของกลุ่มคาร์บอกซิลที่เกิดเอสเทอร์ คิดเทียบจากปริมาณทั้งหมด ค่า DM สูงสุดจะมีค่า 100 เปอร์เซ็นต์ คือ ทุกกลุ่มในโมเลกุลจะเกิดเมธ็อกซิลเอสเทอร์หมด ดังนั้น ค่า DM 100 เปอร์เซ็นต์ จะเทียบเท่ากับ ค่าปริมาณเมธ็อกซิล 16.32 เปอร์เซ็นต์ (กิตติพงษ์, 2536) เปกตินที่มีค่า DM ลดลงจะมีความสามารถในการเกิดเจลกับน้ำตาลและกรด (pectin-sugar-acid) ลดลง ค่า DM ที่เหมาะสมของเปกตินที่จะเกิดเจลได้ดีมีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (Buren, 1991)

สารอนุพันธ์ของเปกติน ได้แก่

1. **โปรโตเปกติน** (protopectin) เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ มีอยู่ในเนื้อเยื่อพืชส่วนลาเมลลาชั้นกลาง โปรโตเปกตินมีอยู่ในผลไม้ดิบ ขณะผลไม้สุกเอนไซม์ในผลไม้จะย่อยโปรโตเปกตินเป็นเปกติน และในระหว่างที่ผลไม้แก่เต็มที่เปกตินจะถูกย่อยสลายต่อจนได้ กรดเปกติก และ เมธิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากโปรโตเปกตินเป็นตัวเชื่อมประสานของเซลในเนื้อเยื่อพืช การสลายโปรโตเปกตินเป็นเปกตินที่สามารถละลายน้ำจะมีผลทำให้พันธะระหว่างเซลพืชอ่อนตัวลง ผลไม้จึงมีลักษณะนุ่มขึ้นเมื่อสุก(Broomfield, 1996 และ Kringelum, 1991)

2. **กรดเปกติก** (pectic acid) อยู่ที่เนื้อเยื่อของพืชในรูปของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมเปกเตท (calcium or magnesium pectates) ซึ่งละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดโพลีกาแลกทูโรนิกที่เกือบไม่มีเอสเทอร์ในโมเลกุลเลย (Pilgrim, 1991)

3. **กรดเปกตินิก** (pectinic acid) อยู่ในรูปของเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมเปกตินเนท (เปกติน คือ กรดเปกตินิกที่สามารถรวมตัวกับน้ำตาลและกรด แล้วมีลักษณะเป็นเจล) ไม่ละลายน้ำแต่จะกระจายตัวอยู่ในน้ำได้ กรดเปกตินิกประกอบด้วยกรดโพลีกาแลกทูโรนิกที่มีเอสเทอร์เกิดขึ้นในโมเลกุลมาก (Pilgrim, 1991)

การแบ่งชนิดของเปกตินตามการใช้งาน แบ่งได้เป็น 2 ชนิด

1. **เปกตินเมธ็อกซิลสูง** :- มีค่า DM มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ การเกิดเจลของเปกตินชนิดนี้จะต้องมีองค์ประกอบที่เหมาะสม คือ มีปริมาณน้ำตาล 55-65 เปอร์เซ็นต์, ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.9-3.1 ซึ่งเป็นสภาวะปกติที่ใช้ในแยมทั่วไป (Rolin, 1990)

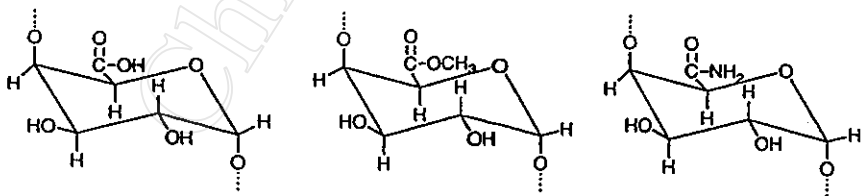
เปกตินเมธ็อกซิลสูงแบ่งตามระยะเวลาการแข็งตัวของเจลได้ 6 ชนิด (Kringelum, 1993)

1. Ultra-rapid-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 82 เปอร์เซ็นต์
2. Extra-rapid-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 76 เปอร์เซ็นต์
3. Rapid-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 72 เปอร์เซ็นต์
4. Medium-rapid-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 68 เปอร์เซ็นต์
5. Slow-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 64 เปอร์เซ็นต์
6. Extra-slow-set pectin : มีปริมาณเอสเทอร์ 58 เปอร์เซ็นต์

2. **เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ** :- มีค่า DM ต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โดยมากมักมีค่า DM อยู่ในช่วง 20-50 เปอร์เซ็นต์ (Baker, 1996) และถ้ามีค่า DM ต่ำมาก ๆ เปกตินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้กับอิออนของโลหะบางชนิด เช่น แคลเซียมอิออน ได้ที่อุณหภูมิห้องและสามารถทำให้เกิดเจลได้ โดยใช้ปริมาณน้ำตาลน้อย หรือไม่ใช้เลย (Axelos, 1991) สามารถเกิดเจลได้ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.0-4.5 ซึ่งเป็นช่วงที่กว้างกว่าเดิม (Rolin, 1990) เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด (Hoefler, 1991) ดังภาพที่ 2.4

2.1 Amidate Low-methoxyl pectin : การที่บางส่วนของกรดกาแลกทูโรนิกเกิดเอสเทอร์กับหมู่เอไมด์

2.2 Conventional Low-methoxyl pectin : การที่บางส่วนของกรดกาแลกทูโรนิกเกิดเอสเทอร์กับหมู่คาร์บอกซิล



ภาพที่ 2.4 หมู่ฟังก์ชั่นในเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ (a) carboxyl (b) ester (c) amide
ที่มา : Axelos, 1991

ค่าที่แสดงสมบัติของเปกตินอีกค่าหนึ่งคือ ค่าแสดงการเกิดเจล (gelling power) หรือ เกรด (grade) ของเปกติน ซึ่งเป็นค่าที่แสดงส่วนของปริมาณน้ำตาลที่ต้องการในการเกิดเจลกับเปกตินนั้นหนึ่งส่วน เพื่อให้ได้เจลที่คงตัวภายใต้สภาวะมาตรฐาน ในสหรัฐอเมริกาจึงกำหนดสภาวะมาตรฐานที่ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.0 และ มีปริมาณน้ำตาล 65 เปอร์เซ็นต์ เปกตินที่มีขายทั่วไปจะมีค่าการเกิดเจล 100 และ 150 เกรด ค่านี้จะนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณเปกตินที่ต้องใช้ในผลิตภัณฑ์ เช่น ถ้าใช้เปกติน 150 เกรด ผลิตภัณฑ์แยมที่มีปริมาณน้ำตาล 65 เปอร์เซ็นต์ จะต้องใช้เปกติน 65/150 คือ 0.43 เปอร์เซ็นต์ จึงจะได้เจลที่มีคุณภาพดี ค่านี้ไม่สามารถบอกได้ว่าเปกตินชนิดนี้จะเกิดเจลได้เร็วหรือช้าอย่างไร (กิตติพงษ์, 2536)

เปกตินจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเจลที่เกิดขึ้น โครงสร้างของเจลที่เกิดขึ้น เกิดจากการเชื่อมข้าม(cross link)ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิลของโมเลกุลน้ำตาล และโมเลกุลเปกติน หรือเกิดจากการเชื่อมข้ามระหว่างโมเลกุลเปกตินเอง นอกจากนี้อาจเกิดพันธะระหว่างกลุ่มเมธิลเอสเทอร์ในโมเลกุลเปกตินขึ้นด้วย (Oakenfull, 1991) ดังภาพที่ 2.5

2.3.2 น้ำตาล

น้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตแยม น้ำตาลทำให้เกิดโครงสร้างเจล นอกจากนี้ยังให้รสหวานแก่ผลิตภัณฑ์แยมอีกด้วย น้ำตาลส่วนใหญ่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์คือน้ำตาลซูโครส และน้ำตาลจะช่วยทำให้เกิดเจลโดยการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของเปกติน หรืออาจจะเนื่องจาก น้ำตาลเป็นสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมาก จึงอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเปกตินเป็นอิสระ สามารถเกิดพันธะไฮดรอกซิลบนโมเลกุลเปกตินอื่น หรือ บนส่วนอื่นของโมเลกุลเปกตินได้ นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยทำให้เกิดพันธะขึ้นระหว่างกลุ่มเมธิลเอสเทอร์ในโมเลกุลเปกตินอีกด้วย (กิตติพงษ์, 2536 และ Baker, 1996)

นอกจากน้ำตาลซูโครสแล้ว ยังอาจใช้น้ำตาลชนิดอื่นทดแทนได้บางส่วน เพื่อช่วยลดการตกผลึกของซูโครส เช่น การเติมน้ำตาลอินเวอร์ท แยมที่ดีควรมีน้ำตาลลอินเวอร์ทอยู่ในช่วง 30-45 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำตาลทั้งหมด ถ้ามีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทน้อยเกินไปจะทำให้น้ำตาลซูโครสตกผลึก แต่ถ้ามีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทมากเกินไป จะได้แยมที่มีลักษณะเป็นยางหนืดและเกิดผลึกของกลูโคส น้ำตาลอินเวอร์ทอาจได้จากการเติมลงไปโดยตรงหรือจากการสลายตัวของน้ำตาลซูโครสด้วยกรดระหว่างการให้ความร้อนระหว่างการทำแยม

บางครั้งอาจมีการเติมน้ำเชื่อมกลูโคสแทนน้ำตาลซูโครสได้ ในปริมาณ 5-15 เปอร์เซ็นต์ การเติมน้ำเชื่อมกลูโคสจะช่วยลดการตกผลึกของซูโครส, เพิ่มความแวววาว, ป้องกันการแยกตัวของน้ำออกจากเจล และยังช่วยลดความหวานของผลิตภัณฑ์ลงไม่ให้หวานจนเกินไปด้วย (กิตติพิงษ์, 2536)

การใช้น้ำตาลชนิดอื่นทดแทน อาจมีผลทำให้ลักษณะเจลและสภาวะเจลเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น การใช้มอลโทสทดแทนซูโครสบางส่วน จะทำให้ระยะเวลาในการแข็งตัวของเจลเร็วขึ้น และเกิดเจลได้ในช่วงความเป็นกรด-ด่าง ที่กว้างขึ้น (Baker, 1996)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์แยม (นัยทัศน์, 2521)ได้แก่

1. เวลาที่ใช้ในการทำแยม ถ้าใช้เวลาสั้นน้ำตาลจะถูก hydrolysed ไปเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าใช้เวลานานปริมาณน้ำตาลจะแตกตัวเพิ่มขึ้นตามลำดับ

2. ความเข้มข้นของกรด ถ้ามีกรดเป็นองค์ประกอบอยู่มาก ปริมาณน้ำตาลก็จะถูก hydrolysed มากขึ้น และเกิดได้เร็ว

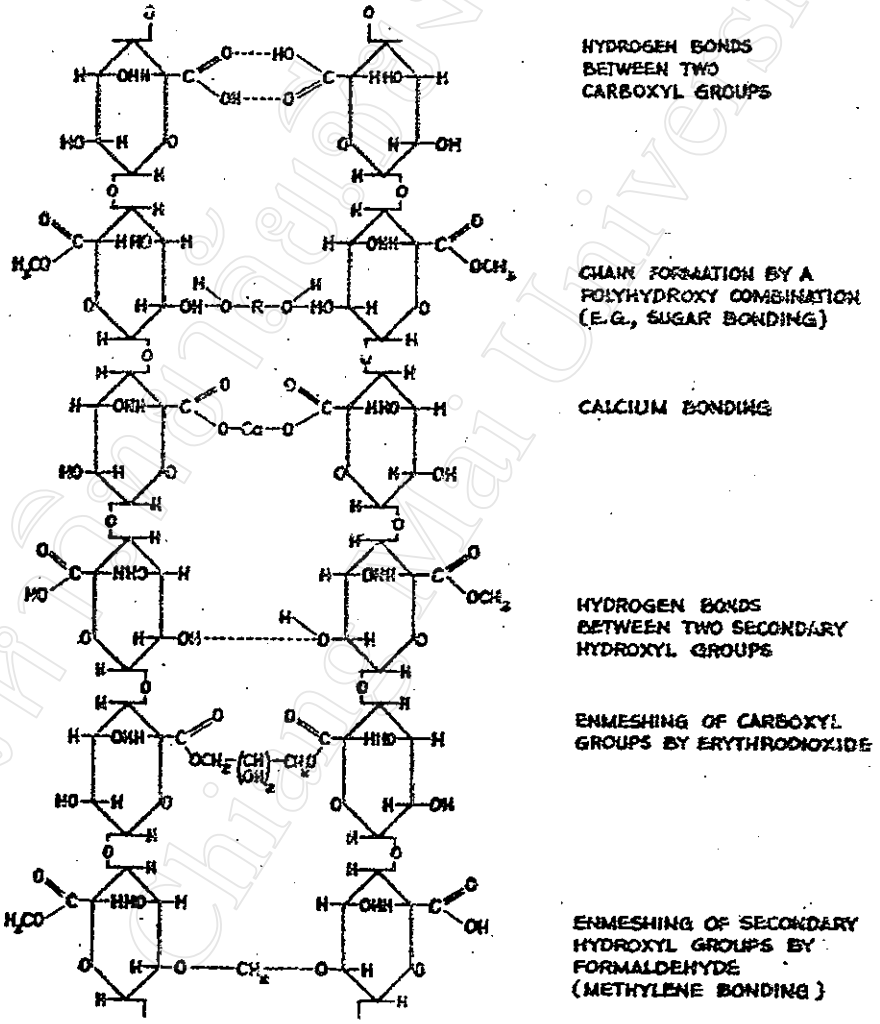
3. ชนิดของกรดที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์ เช่น crab apple jelly ซึ่งประกอบด้วยกรดมาลิกเป็นส่วนใหญ่ titrable acid เมื่อคิดเป็นกรดกำมะถันได้ 0.17 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำให้น้ำตาลแตกตัวได้ถึง 58.8 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับเยลลี่ส้ม ประกอบด้วยกรดมะนาวเป็นส่วนใหญ่ มี titrable acid เมื่อคิดเป็นกรดกำมะถันได้ 0.17 เปอร์เซ็นต์ แต่ทำให้น้ำตาลแตกตัวได้เพียง 4.9 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น

2.3.3 กรด

กรดที่ใช้ในผลิตภัณฑ์แยม มักเป็นกรดอินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติในผลไม้ที่นำมาใช้ ผลไม้ที่มีกรดต่ำ อาจจะต้องเติมกรดลงไป กรดที่นิยมใช้เติมในผลิตภัณฑ์คือ กรดซิตริก, กรดมาลิก และกรดแลคติก กรณีผลไม้ที่มีปริมาณกรดตามธรรมชาติมากเกินไป จะลดความเป็นกรดลงโดยการเติม เกลือที่มีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต, โซเดียมซัลเฟต หรือโซเดียมซิเตรท การใช้บัฟเฟอร์เหล่านี้ต้องไม่ใช้ในปริมาณมากเกินไป เพราะจะมีผลต่อการเกิดเจลของเปกติน และอาจทำลายกรดแอสคอร์บิคที่มีอยู่ (กิตติพงษ์, 2536)

กรดจะเป็นตัวช่วยในการเกิดเจลของเปกติน โดยในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง จะมีผลทำให้หมู่คาร์บอกซิลบนโมเลกุลของเปกตินแตกตัว ซึ่งจะทำให้โมเลกุลมีประจุ และเกิดการผลักกันขึ้นระหว่างโมเลกุลที่มีประจุด้วยกันเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ยากทำให้เกิดเจลไม่ได้ แต่ถ้ามีกรดจะทำ

ให้ความเป็นกรด-ด่างต่ำลง ช่วยลดการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลได้ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนและเกิดเจลได้ง่ายขึ้น (Baker, 1996)



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างและการเชื่อมเข้าด้วยกันระหว่างโมเลกุลของเปกติน

ที่มา : นัยทัศน์ , 2521

2.4 สมดุลขององค์ประกอบในผลิตภัณฑ์

การเกิดเจลและลักษณะของเจลที่ดีในผลิตภัณฑ์จะเกิดขึ้นได้นั้นเกิดจากสมดุลขององค์ประกอบที่สำคัญสามอย่าง คือ ปริมาณเปกติน, ปริมาณน้ำตาล และ ปริมาณกรดที่เหมาะสม ความสมดุลขององค์ประกอบทั้งสาม จะทำให้ได้เจลที่แข็งแรง โดยเปกตินจะเป็นตัวโครงสร้าง และเกี่ยวข้องกับความต่อเนื่องของโครงสร้างเจล ส่วนน้ำตาลและกรดจะมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง (กิตติพงษ์, 2536 และ Baker, 1996)

เนื่องจากเปกตินทำหน้าที่เป็นตัวโครงสร้าง ต้องมีปริมาณมากพอสมควรจึงจะสามารถเกิดเป็นร่างแหโครงสร้างที่ต่อเนื่องได้ ปริมาณเปกตินที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับ เปกตินเกรดที่เลือกใช้ และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ ปริมาณน้ำตาลควรใช้มากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าใช้มากเกินไปอาจเกิดการตกผลึกของน้ำตาลได้ โดยทั่วไปนิยมใช้ 65 เปอร์เซ็นต์ (Rolin, 1990) สำหรับปริมาณกรดในผลิตภัณฑ์นั้นจะควบคุมจากค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ควรอยู่ในช่วง 2.9-3.1 ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 2.5 เจลที่ได้จะไม่แข็งแรง และที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 3.5 จะไม่เกิดเจล (กิตติพงษ์, 2536)

นอกจากนี้ลำดับของการผสมองค์ประกอบต่าง ๆ ก็มีผลต่อการเกิดเจลที่ดีอีกด้วย ตามปกติจะเคี่ยวผลไม้กับน้ำตาลก่อน แล้วจึงเติมน้ำตาลที่ผสมเข้ากันกับเปกตินลงไป เมื่อน้ำตาลและเปกตินละลายหมดจึงเติมกรดรวมทั้งสีและกลิ่นถ้ามีการใช้ แล้วจึงหยุดให้ความร้อน การเติมกรดหลังจากเคี่ยวผลไม้และเปกตินแล้วเป็นเพราะ ถ้าเติมในช่วงแรก เปกตินจะถูกให้ความร้อนในสภาวะที่เป็นกรดเป็นเวลานาน โมเลกุลจะเกิดการแตกตัวทำให้ไม่เกิดเจล หรือเกิดเจลที่มีคุณภาพไม่ดี ซึ่งเป็นเหตุผลที่ต้องนำกรดมาเติมช่วงท้ายของการให้ความร้อน เพราะถ้าเติมกรดในช่วงแรกของการให้ความร้อนนอกจากกรดจะสลายโมเลกุลเปกตินแล้ว กรดยังสลายน้ำตาลซูโครสทำให้มีปริมาณน้ำตาลอินเวอร์ทในผลิตภัณฑ์มากเกินไป ซึ่งอาจเกิดการตกผลึกของกลูโคสได้ (กิตติพงษ์, 2536 และ Pilgrim, 1991)

2.5 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำแยม (กิตติพงษ์, 2536 และ Bhatia, 1997)

2.5.1 แยมไม่แข็งตัว อาจเกิดจาก

- ใช้เปกตินน้อยเกินไป หรือเปกตินในผลไม้หรือเปกตินที่เติมลงไปคุณภาพไม่ดี
- การละลายของเปกตินในผลิตภัณฑ์เกิดอย่างไม่สมบูรณ์
- ให้ความร้อนเปกตินในสภาวะที่เป็นกรดนานเกินไปทำให้เปกตินสลายตัว
- ให้ความร้อนน้อยเกินไป ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่ำเกินไป

- มีความเป็นกรด-ด่างสูงหรือต่ำเกินไป กรณีความเป็นกรด-ด่างสูง จะมีผลยับยั้งการเกิดเจลของเปกติน ถ้ามีความเป็นกรด-ด่างต่ำเกินไป จะทำให้เจลถูกทำลาย และเกิดการแยกตัวของน้ำออกจากเจล
- ใช้อุณหภูมิบรรจุต่ำเกินไป ทำให้เจลแข็งตัวก่อนบรรจุ เมื่อบรรจุจึงทำให้เจลแตก ไม่แข็งตัวในภายหลัง
- มีการเคลื่อนที่ของภาชนะบรรจุ ภายหลังการบรรจุในขณะที่แยมกำลังเกิดเจล
- ผลไม้ที่ใช้มีบัฟเฟอร์มากเกินไป มีผลทำให้ขัดขวางการเกิดเจล
- สูตรไม่สมดุล มีน้ำตาลมากเกินไป

2.5.2 แยมแข็งเกินไป อาจเกิดจาก

- ใช้เปกตินปริมาณมากเกินไป
- มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงเกินไป อาจเกิดจากการใช้น้ำตาลมากเกินไป หรือให้ความร้อนนานเกินไป

2.5.3 มีการแยกตัวของน้ำ อาจเกิดจาก

- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่ำเกินไป ทำให้ร่างแหของเปกตินพยุงของเหลวไว้ไม่หมด
- ความเป็นกรด-ด่างต่ำเกินไป ทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างของเจล โดยเปกตินจะถูก hydrolysed
- มีปริมาณเปกตินน้อยเกินไป
- การละลายของเปกตินไม่สมบูรณ์
- มีการเคลื่อนไหวขณะเจลแข็งตัว
- ภายในผลไม้มีปริมาณน้ำเหลืออยู่มาก มักเกิดในกรณีของแยม ที่ใส่ผลไม้ชิ้นใหญ่ ๆ
- บรรจุที่อุณหภูมิต่ำเกินไป เจลอาจเกิดการแข็งตัวแล้ว มีผลทำให้ premature gelation network ของเปกตินถูกทำลาย ในขณะที่เทผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุ ทำให้ผลิตภัณฑ์อ่อนและแตก

2.5.4 มีการตกผลึก อาจเกิดจาก

- มีกรดมากเกินไป ทำให้เกิดน้ำตาลอินเวอร์ทมากกลูโคสเกิดการตกผลึก
- มีการสลายตัวของซูโครสน้อยเกินไป เนื่องจากมีกรดน้อยทำให้ซูโครสตกผลึก
- กรณีที่มีการใช้กรดทาร์ทาริก หรือมีกรดชนิดนี้ในวัตถุดิบ กรดนี้จะตกผลึกได้ง่าย

2.5.5 แยมขุ่นไม่ใส อาจเกิดจาก

- ใช้เวลาในการกวนแยมนานเกินไป ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะหนืดเหนียว มีฟองอากาศแทรกตัวอยู่มาก เมื่อเทลงในภาชนะแล้ว ฟองอากาศหนีออกไปไม่หมด ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ขุ่น
- ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นเกินไปก่อนบรรจุ
- เทผลิตภัณฑ์ลงภาชนะบรรจุห่างเกินไป ทำให้อากาศแทรกตัวเข้าไปในผลิตภัณฑ์ทำให้ไม่โปร่งใส
- premature gelation ถ้าผลิตภัณฑ์มีเปกตินอยู่มากเกินไป ทำให้เกิด premature gelation ซึ่งจะจับอากาศทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขุ่นไม่ใส

2.5.6 เกิดฟองในภาชนะบรรจุ อาจเกิดจาก

- การบรรจุไม่ถูกต้อง เช่น เทใส่ภาชนะบรรจุเร็วเกินไป หรือเทผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุห่างเกินไป
- ใช้เปกตินชนิดที่เซ็ตตัวเร็วเกินไป
- เกิดการหมักขึ้น

2.5.7 เนื้อผลไม้ในแยมกระจายไม่สม่ำเสมอ อาจลอยอยู่ด้านบนหรือจมอยู่ด้านล่าง อาจเกิดจาก

- ใช้เปกตินชนิดที่ไม่เหมาะสม
- บรรจุที่อุณหภูมิสูงเกินไป ทำให้ผลไม้ลอย

2.5.8 สีผิดปกติ อาจเกิดจาก

- ให้ความร้อนนานเกินไป น้ำตาลอาจเกิดการ caramelization
- บรรจุในภาชนะบรรจุขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิสูงเกินไป อุณหภูมิที่กึ่งกลางภาชนะจะลดลงช้า ทำให้มีสีคล้ำ
- วัตถุดิบคุณภาพไม่ดี เช่น มีการช้ำหรือสุกมากเกินไป
- วัตถุดิบมีการเปลี่ยนสีก่อน เนื่องจากการให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ช้าเกินไป
- ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้ผลไม้มีสีซีด

2.5.9 แยมมีกลิ่นรสผิดปกติ อาจเกิดจาก

- มีการปนเปื้อนของสารเจือปน

- ผลไม้ที่ใช้มีบัฟเฟอร์สูง ทำให้ต้องใช้กรดในการปรับความเป็นกรด-ด่างมาก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีกลิ่นกรด

2.5.10 เกิดการหมักและมีราขึ้น เนื่องจาก

- มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ หรือผลิตภัณฑ์ผ่านการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอร่วมกับการมีปริมาณน้ำตาลต่ำเกินไป ซึ่งอาจเกิดจากการปิดภาชนะไม่สนิท ทำให้แยมดูดความชื้นจากภายนอก หรือปิดฝาภาชนะที่อุณหภูมิสูงเกินไป ไอน้ำจะควบแน่นที่ฝาและหยดกลับลงไปในแยม ทำให้ส่วนที่อยู่ด้านบนมีความเข้มข้นของน้ำตาลต่ำ

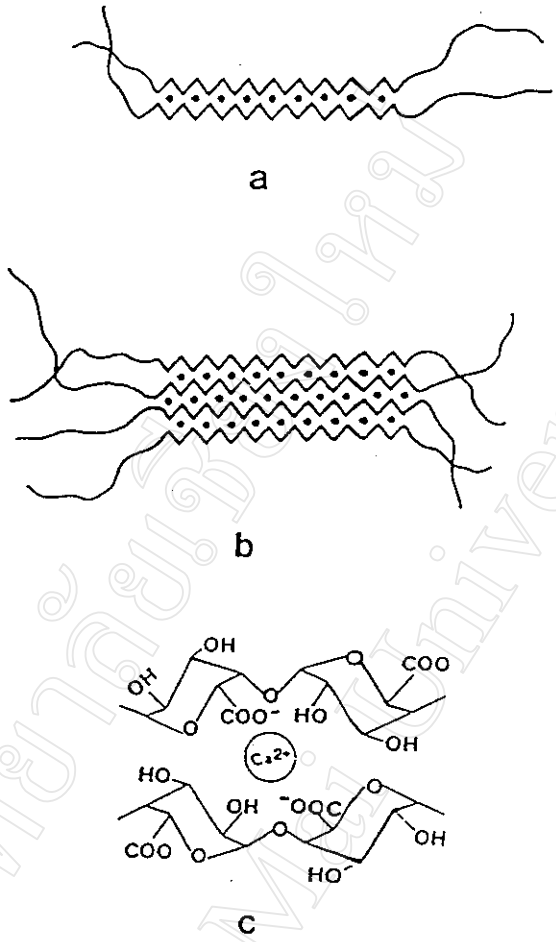
2.6 การผลิตแยมแคลอรี่ต่ำ

การพัฒนาแยมให้มีแคลอรี่ต่ำลงจากสูตรปกติ ซึ่งมีแคลอรี่ประมาณ 260 กิโลแคลอรี่ ต่อ 100 กรัม (ชมรมวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, 2537) จะต้องลดปริมาณน้ำตาลจากเดิม 65 เปอร์เซ็นต์ลง ทั้งนี้เพราะน้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักในผลิตภัณฑ์แยมสูตรปกติที่ให้แคลอรี่ที่สูง และในการลดปริมาณน้ำตาลในแยมลง จะมีผลต่อการเกิดเจลของแยม กล่าวคือ จะทำให้สมดุลองค์ประกอบในแยมเปลี่ยนไป ส่งผลให้โครงสร้างร่างแหของเจลไม่แข็งแรง จะทำให้ของเหลวแยกตัวออกมาจากส่วนที่เป็นของแข็ง หรือส่วนที่เป็นเจล (Syneresis) และยังมีผลในด้านรสชาติของแยมอีกด้วย (กิตติพงษ์, 2536) ดังนั้นการผลิตแยมแคลอรี่ต่ำ โดยลดปริมาณน้ำตาลลง อาจทำได้โดย (Furia, 1983)

1. เลือกใช้สารข้นเหนียวที่เหมาะสมในการทำให้เกิดเจลทดแทนเปกติน
2. ใช้สารให้ความหวานที่มีแคลอรี่ต่ำแทนความหวานจากน้ำตาล

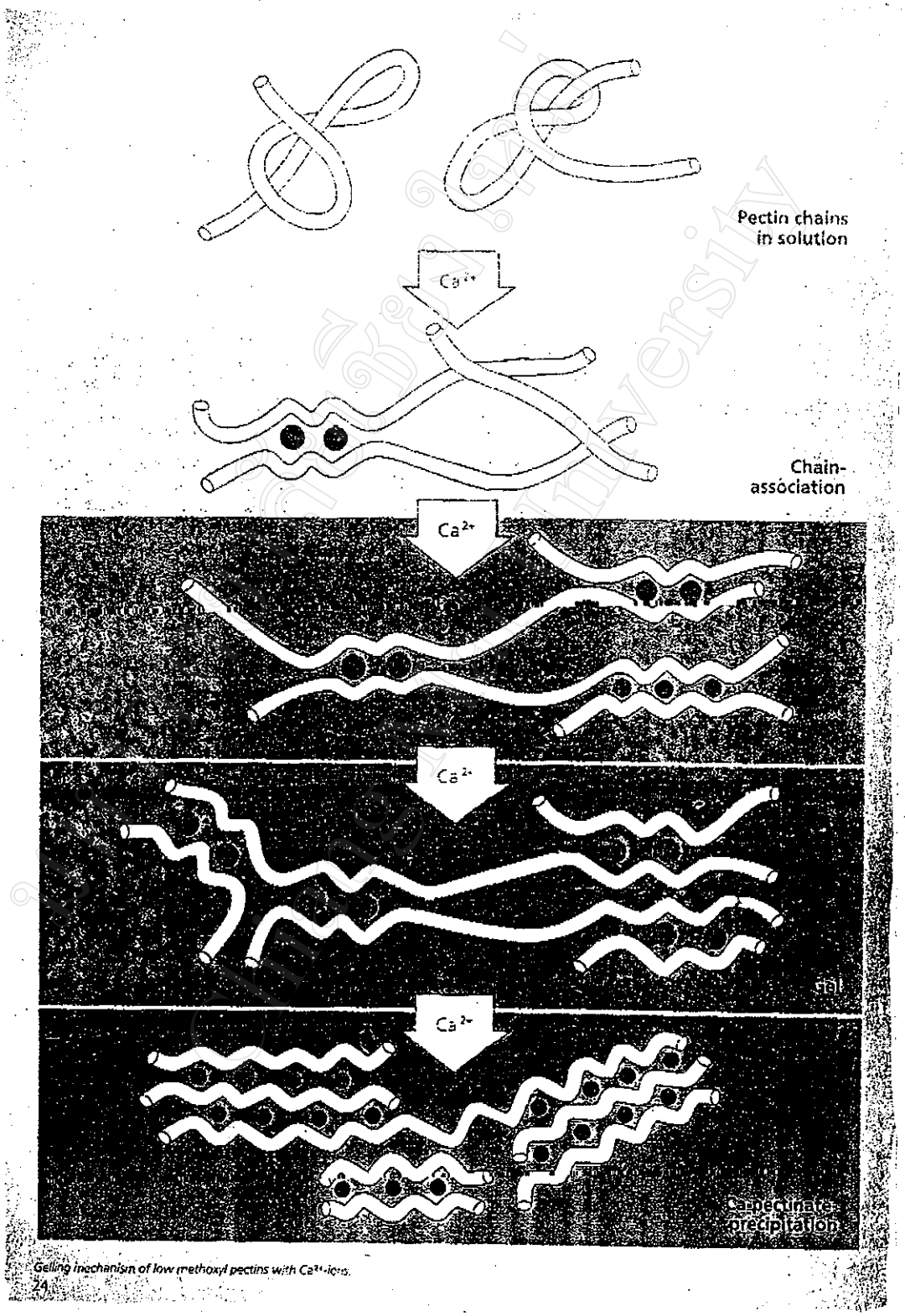
2.6.1 การเลือกใช้สารข้นเหนียวที่เหมาะสมในการทำให้เกิดเจลทดแทนเปกติน

การเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างร่างแหเจลของเปกตินทำได้โดยการเลือกใช้เปกตินอีกชนิดหนึ่งคือ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ (low-methoxyl pectin) ซึ่งสามารถเกิดเจลได้กับอนุมูลโลหะที่มีวาเลนซีสอง เช่น แคลเซียมอิออน และจะใช้น้ำตาลต่ำหรือไม่ใช้เลยก็ได้ พบว่าแคลเซียมอิออนจะเชื่อมโมเลกุลของเปกตินเข้าด้วยกัน โดยแคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลกทูโรนิกซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโมเลกุลเปกติน โดยโครงสร้างเจลจะมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ (egg-box) (Axelos, 1991) ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ :
(a) egg-box dimer ; (b) aggregation of dimer ; (c) an egg-box cavity
ที่มา : Axelos, 1991

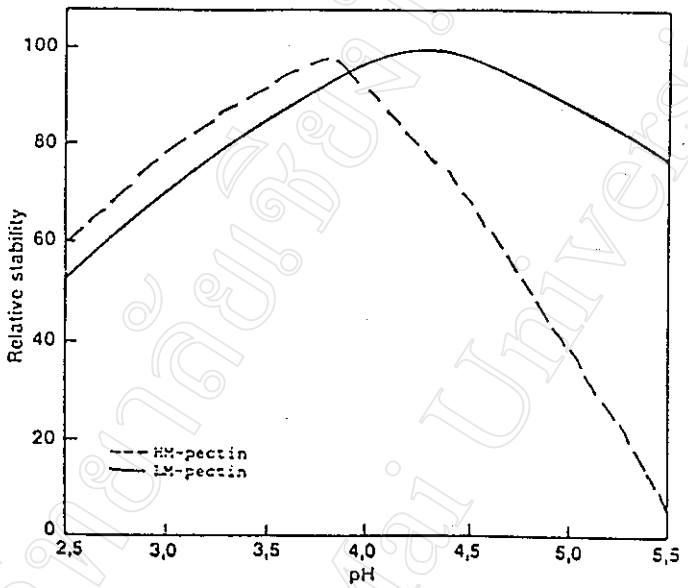
เจลที่ได้จะมีลักษณะแข็งแรงและอุ้มของเหลวไว้ภายในเจลได้ทั้งหมด ไม่เกิดปัญหาของเหลวแยกตัวอีกต่อไป แต่ต้องควบคุมปริมาณแคลเซียมอิออนที่ใช้ เพราะถ้ามีความเข้มข้นมากเกินไปจะทำให้เปกตินตกตะกอนและไม่เกิดเป็นเจล (บริษัทบูรพาซีพ, 2540) ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 กลไกการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำด้วยแคลเซียมอิออน

ที่มา : บริษัทบูรพาซีพ , 2540

ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ จะอยู่ในช่วง 3.0-4.5 ซึ่งเป็นช่วงที่กว้างกว่าเดิมที่ต้องควบคุมให้อยู่ในช่วง 2.9-3.3 มิฉะนั้นจะได้เจลที่ไม่แข็งแรงในกรณีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 2.9 หรือไม่เกิดเจลในกรณีที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 3.3 และสภาวะการเกิดเจลนั้นสามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูงได้อีกด้วย (Somogyi, 1996) ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ความคงตัวของสารละลายเปกตินเมธ็อกซิลต่ำและเปกตินเมธ็อกซิลสูง เมื่อถูกต้มในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างต่างกัน

ที่มา : Somogyi และคณะ , 1996

สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดนั้นไม่มีอิทธิพลกับการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำมากนัก แต่ในกรณีที่มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นก็จะมีผลทำให้ได้เจลที่แข็งแรงขึ้นด้วย (Rolin, 1990) ในทางตรงข้ามถ้าให้ความร้อนในสภาวะการเกิดเจลของเปกตินเมธ็อกซิลต่ำ ที่สูงเกินไปจะมีผลทำให้โครงสร้างของเจลไม่แข็งแรง (Axelos, 1991) Rolin, 1990 กล่าวว่า อุณหภูมิการเกิดเจล จะขึ้นอยู่กับสภาวะที่ต่าง ๆ กัน โดยแปรผันกับค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้, ปริมาณเปกติน และปริมาณแคลเซียม เจลทำได้จากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำนั้นสามารถคืนตัวละลายได้อีกครั้งเมื่อได้รับความร้อน(thermoreversible) ซึ่งจะตรงข้ามกับเจลที่ได้จากเปกตินเมธ็อกซิลสูงที่ไม่สามารถคืนตัว จากคุณสมบัตินี้จะช่วยลดปัญหาการแยกตัวของ ๆ เหลวออกจากเจลได้ เพราะเจลที่ได้เกิดจากเปกตินเมธ็อกซิลต่ำนั้นสามารถสร้างโครงสร้างเจลขึ้นอีกครั้งหลังจากที่โครงสร้างเดิมถูกทำลายไป (Axelos, 1991)

Matias และคณะ (1997) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำแยมแคลอรี่ต่ำจากน้ำองุ่น พบว่าแยมองุ่นที่ดีที่สุดจะมีน้ำตาล 38 องศาบริกซ์ (ช่วง 20-50 องศาบริกซ์), เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 1.2 เปอร์เซ็นต์ (ช่วง 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์) และอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตคือ 69 องศาเซลเซียส (ช่วง 55-90 องศาเซลเซียส) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.4 และไม่ต้องเติมแคลเซียมคลอไรด์ เพราะน้ำองุ่นมีปริมาณแคลเซียม 125.7 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิลิตร ซึ่งเพียงพอต่อความแข็งตัวของเจล

Beach, (1993) ประสบผลสำเร็จในการผลิตแยมแคลอรี่ต่ำโดยใช้ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 0.7 เปอร์เซ็นต์, น้ำตาล 30 เปอร์เซ็นต์, ผลไม้ 45 เปอร์เซ็นต์, โปแตสเซียมซอร์เบท 0.2 เปอร์เซ็นต์ และโซเดียมเบนโซเอท 0.3 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.2

การทดลองของ Sousa และคณะ, (1997) ในการทำเยลลี่พลังงานต่ำจากน้ำองุ่น พบว่าควรใช้น้ำตาล 38 องศาบริกซ์ (ช่วง 20-50 องศาบริกซ์), เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 1.2 เปอร์เซ็นต์ (ช่วง 0.5-1.5 เปอร์เซ็นต์) และใช้อุณหภูมิในการผลิตที่ 69 องศาเซลเซียส (ช่วง 55-90 องศาเซลเซียส) จะได้เยลลี่พลังงานต่ำที่มีลักษณะที่ดีและได้รับการยอมรับมากที่สุด

Nawawi และคณะ, (1995) ได้ประสบความสำเร็จจากการหาสภาวะการเกิดเจลที่เหมาะสมจากการใช้ เปกตินเมธ็อกซิลต่ำพบว่า การใช้น้ำตาลซูโครสที่ 20 หรือ 30 เปอร์เซ็นต์ (ช่วง 10-50 เปอร์เซ็นต์) เปกตินเมธ็อกซิลต่ำ 1 เปอร์เซ็นต์ (ช่วง 0.5-1.2 เปอร์เซ็นต์) และใช้แคลเซียม 45 มิลลิกรัมต่อกรัมของเปกติน (ช่วง 15-100 มิลลิกรัมต่อกรัมของเปกติน) และมีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 3.0 หรือ 3.6 (ช่วง 3.0-3.6) จะได้เจลที่มีความแข็งแรง ไม่เกิดการแยกตัวของของเหลวออกจากเจล

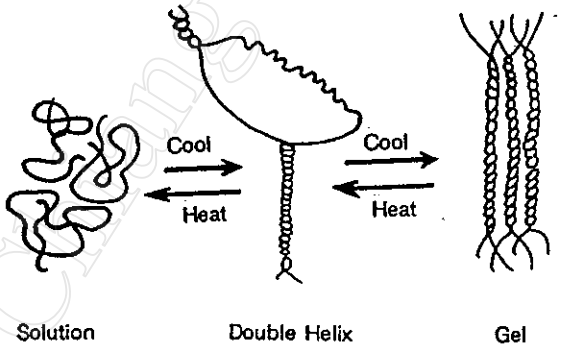
นอกจากนี้การเพิ่มความแข็งแรงของเจลในผลิตภัณฑ์แยมยังอาจทำได้โดยใช้สารข้นเหนียวที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจลโดยปราศจากน้ำตาล ทดแทนเปกตินในผลิตภัณฑ์แยมเป็นบางส่วนหรือทั้งหมด สารข้นเหนียวที่นิยมใช้ เช่น คาร์ราจีแนน (carrageenan), แป้งบุก (konjac flour), อัลจิเนท (alginate), โลคัสบีนกัม (locust bean gum) และวุ้น (agar) โดยอาจเลือกใช้สารข้นเหนียวตัวใดตัวหนึ่งหรือหลาย ๆ ตัวทดแทนเปกตินก็ได้ (Furia, 1983 และชมรมวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, 2537)

2.6.1.1 คาร์ราจีแนน (carrageenan)

คาร์ราจีแนน เป็น sulphated polysaccharides ที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีแดง คาร์ราจีแนนแบ่งออกเป็นสามชนิดใหญ่ ๆ คือ kappa, iota และ lambda ชนิด kappa และ iota เท่านั้นที่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล (นิธิยา, 2534)

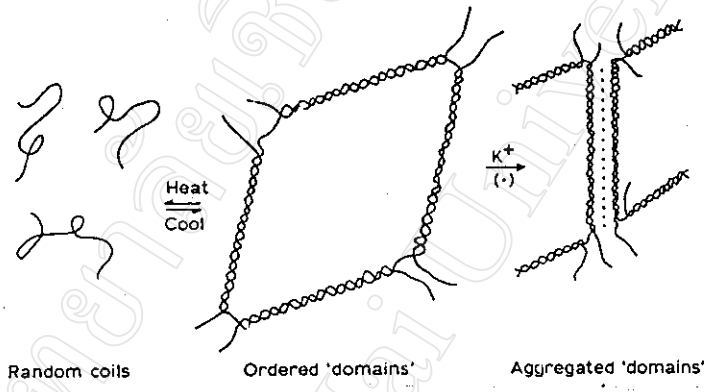
คาร์ราจีแนนทั้งสามชนิดมีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลกาแลคโทสที่ถูกเอสเทอริไฟด์ด้วยกรดซัลฟูริคที่ดีกรีต่าง ๆ กัน ด้วยพันธะ β-1,3- และ α-1,4- สำหรับ kappa และ iota จะเกิดเจลแบบ thermoreversible aqueous gel โดยมีกลไกการเกิดเป็น double-helix carrageenan polymers (นิธิยา, 2534)

คาร์ราจีแนนทุกชนิดจะละลายในน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่า 75 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-ด่างของสภาวะการเกิดเจลอยู่ในช่วง 3-6 คาราจีแนนที่อยู่ในรูปสารละลายน้ำจะมีโครงสร้างเป็น random coil เมื่อทำให้เย็นลงจะเกิด polymer network เป็น 3 มิติ แต่ละสายของโพลีเมอร์จะรวมตัวกันเข้าเกิด junction point เมื่อปล่อยให้เย็นลงอีกจะมีการเกาะตัวกันของ junction point ทำให้เกิดการแข็งตัวของเจล (Stayley, 1990) ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 กลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนน
ที่มา : นิธิยา , 2534

การเติมโลหะอิออนจะมีผลทำให้เกิดเจลที่แข็งแรงขึ้น เช่น การเติมโลหะอิออน เช่น โปแตสเซียมอิออน และแคลเซียมอิออน เช่น กรณีของแคปปา-คาร์ราจีแนน การเติมแคลเซียมอิออนจะทำให้เกิดเจลที่มีความแข็งและโครงสร้างเจลจะแข็งแรงขึ้น และถ้าเติมโปแตสเซียมอิออนจะทำให้เจลมีความยืดหยุ่นได้ดีขึ้น (Norman, 1990) ดังภาพที่ 2.10



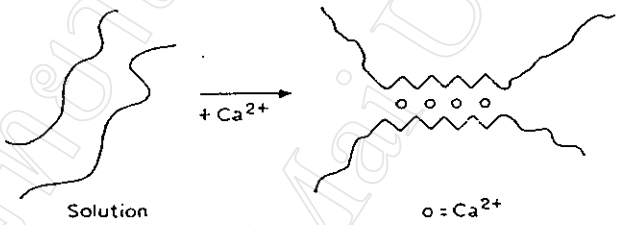
ภาพที่ 2.10 กลไกการเกิดเจลของคาร์ราจีแนนเมื่อมีการเติมโลหะอิออนลงไปด้วย
ที่มา : Stanley , 1990

ได้มีการใช้คาร์ราจีแนน หรือคาร์ราจีแนนร่วมกับโลคัสบีนกัม ในการผลิตเยลลี่แคลอรี่ต่ำด้วย (Stanley, 1990) และมีการทำเยลลี่ผลไม้แคลลอรี่ต่ำ หรือแยมแคลอรี่ต่ำ โดยใช้คาร์ราจีแนนซึ่งอาจใช้ร่วมกับเปกติน หรือแทนที่เปกตินเลยก็ได้ (Rolin, 1990) นอกจากนี้สามารถนำคาร์ราจีแนนมาใช้ร่วมกับแป้งบุกในอัตราส่วน 70 : 30 ถึง 50 : 50 จะให้เจลที่มีความยืดหยุ่นและแข็งแรงมากที่สุด เจลที่ได้สามารถผันกลับได้โดยความร้อน (thermal reversible gel) ใช้ในผลิตภัณฑ์แยมแคลอรี่ต่ำได้ด้วย (อดิศักดิ์, 2538)

2.6.1.2 อัลจิเนท (Alginate)

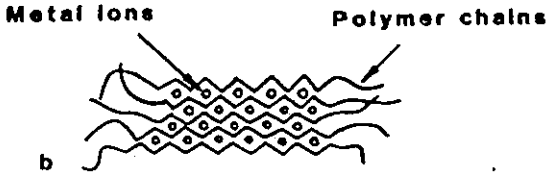
อัลจิเนท เป็นสารที่สกัดได้จากสาหร่ายทะเลสีน้ำตาล อัลจิเนทมักอยู่ในรูปของเกลือซึ่งมีอยู่หลายรูป เช่น K^+, Na^+, NH_4^+ และ Ca^{2+} อัลจิเนทเป็น linear copolymer ในโมเลกุลประกอบด้วย polymer segment สามชนิดของ D-mannuronic acid, L-guluronic acid และทั้งสองชนิดแรกสลับกัน สัดส่วนของทั้งสาม segment และโครงสร้างของโพลีเมอร์จะเป็นตัวชี้บ่งคุณสมบัติของอัลจิเนท

อัลจิเนทบางชนิดเท่านั้นที่มีคุณสมบัติเป็นเจลและจะเกิดเจลได้เมื่อทำปฏิกริยากับแคลเซียมอิออน โครงสร้างของเจลมีลักษณะคล้ายกล่องไข่ ดังภาพที่ 2.11 และ2.12 โดยมีแคลเซียมอิออนจับอยู่กับสายโพลีเมอร์ คุณสมบัติของอัลจิเนท คือ เกิดเจลแบบ irreversible gel และสามารถเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำในสภาวะที่เป็นกรดได้ (นิธิยา, 2534 และ Sime, 1990)



ภาพที่ 2.11 กลไกการเกิดเจลของของอัลจิเนท

ที่มา : Sime, 1990

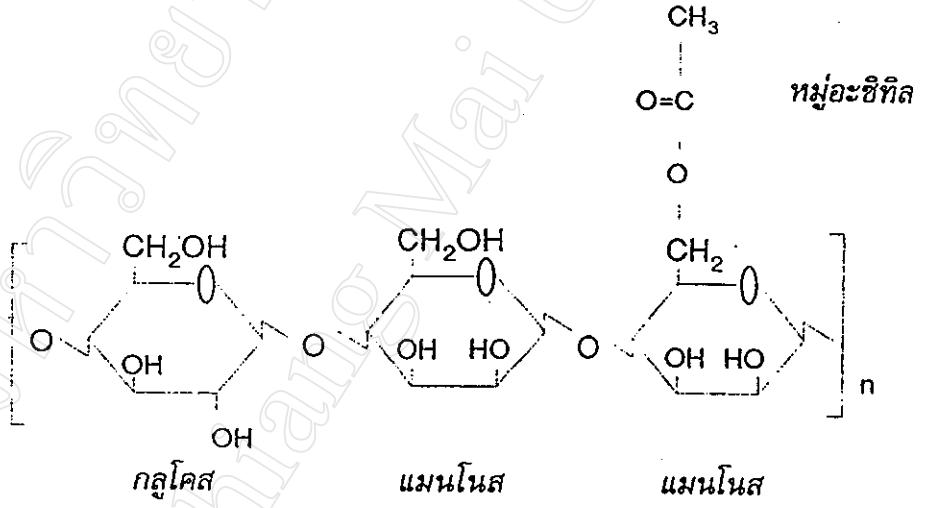


ภาพที่ 2.12 โครงสร้างเจลของของอัลจิเนท (a) โครงสร้างของ calaium alginate gel ; (b) the egg-box model

ที่มา: นิธิยา, 2534

2.6.1.3 แป้งบุก (Konjac flour)

แป้งบุกประกอบไปด้วยเม็ดแป้งกลมขนาด 100-500 ไมครอน องค์ประกอบที่พบในแป้งบุก คือ กลูโคแมนแนน หรือที่เรียกว่า คอนยัคแมนแนน (Tye, 1991 ; Sugiyama and Shimahara, 1976) ซึ่งเป็นสารประเภทคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนส และน้ำตาลกลูโคส ในอัตราส่วน 2:1 เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลัยโคไซด์ ที่ตำแหน่งเบตา 1,4 แป้งบุกมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 300,000 ดัลตัน และมีหมู่อะซิธิลกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปบนสายโมเลกุลของกลูโคแมนแนน โดยทุก ๆ 19 หน่วยของโมเลกุลต่อแมนโนสจะพบหมู่อะซิธิลอยู่ 1 หมู่ ดังภาพที่ 2.13 ซึ่งหมู่อะซิธิลนี้มีผลต่อการละลาย เมื่อนำแป้งชนิดนี้มาละลายน้ำจะได้เป็นสารละลายข้นหนืด และสามาถเกิดเจลได้เมื่อใช้ร่วมกับสารละลายด่าง หรือสารไฮโดรคอลลอยด์บางชนิด เช่น คาร์ราจีแนน และแซนแทนกัม เป็นต้น (Tye, 1991)



ภาพที่ 2.13 โครงสร้างบางส่วนของกลูโคแมนแนนในแป้งบุก
ที่มา Tye (1991)

แป้งบุกมีคุณสมบัติหลาย ๆ ด้านด้วยกัน เช่น เป็นสารให้ความหนืดเมื่อละลายน้ำที่อุณหภูมิห้อง แป้งบุกจะพองตัวและขยายตัวได้ประมาณ 20-30 เท่า (บุปผา, 2535) การเกิดเจลของแป้งบุกจะต่างจากโพลีแซคคาไรด์อื่น ๆ ที่เกิดเจลทนต่อความร้อนจนถึงระดับอุณหภูมิหนึ่ง ๆ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นเจลจะแตกหรือเกิดการแยกตัวของโครงสร้างตาข่ายโพลีเมอร์(polymer network) ทำให้สูญเสียความเป็นเจล (อดิศักดิ์, 2538) ส่วนแป้งบุกจะให้เจลที่ทนต่อความร้อน (thermal stability) มีความ

เหนียวและมีความทรงตัวสูงแม้นำไปต้มในน้ำเดือด การให้ความร้อนซ้ำแก่เจลมีส่วนทำให้เจลมีความแข็งแรงและมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น ด่างที่นิยมใช้ในการเกิดเจลของแป้งบุกนั้น ได้แก่ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมคาร์บอเนท เจลที่ได้จะเป็นชนิดไม่ผันกลับโดยความร้อน (thermal irreversible gel) แต่การใช้สารละลายด่างในการเกิดเจลมักทำให้เกิดปัญหาบางประการ เช่น เจลที่ได้มีความเป็นกรด-ด่างสูง มีกลิ่นด่าง เกิดการสูญเสียน้ำได้ง่าย และขั้นตอนการเตรียมเจลค่อนข้างยาก (Tye, 1991)

การนำเอาแป้งบุกมาใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทแยมและเยลลี่ อาจเกิดปัญหาบางประการ เช่น กลิ่นด่างตกค้าง และลักษณะของเจลที่ได้บางครั้งไม่เป็นที่ต้องการ การนำแซนแทนกัมมาใช้ร่วมกับแป้งบุกในการผลิตแยมและเยลลี่สามารถลดปัญหาเรื่องด่างได้ (อดิศักดิ์, 2538)

2.6.1.4 โลคัสบีนกัม (Locust bean gum)

ได้มาจาก endosperm ของเมล็ดต้น carob เรียกว่า carob seed gum ก็ได้ โครงสร้างของโลคัสบีนกัมมี back bone เป็นโพลีเมอร์สายยาวของโพลีแมนแนน โมเลกุลของน้ำตาลแมนโนสต่อกันด้วยพันธะ β-1,4- และมีแขนงแยกเป็นน้ำตาลกาแลกโทสโมเลกุลเดี่ยวต่อกันด้วยพันธะ 1-6 โดยมีอัตราส่วนของแมนโนสต่อกาแลกโทส เป็น 4:1 และมีน้ำหนักโมเลกุล ประมาณ 310,000 (นิธิยา, 2534 และ Furia, 1983)

โลคัสบีนกัมมีคุณสมบัติพองตัวได้ในน้ำเย็น และต้องใช้ความร้อนช่วยในการละลาย จะให้สารละลายที่มีความหนืดสูงสุดเมื่อได้รับความร้อนสูงถึง 95 องศาเซลเซียส สามารถทนต่อความเป็นกรด-ด่างได้ในช่วง 3-11 (Furia, 1983)

โลคัสบีนกัมไม่มีคุณสมบัติในการเกิดเจล ต้องนำมาผสมกับแซนแทนกัมจึงจะทำให้เกิดเจลได้ และเมื่อนำมาใช้ร่วมกับแคปปา-คาร์ราจีแนน จะทำให้เจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และลดการแยกตัวของน้ำออกจากเจลได้ เช่น ใช้คาร์ราจีแนน 50 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับโลคัสบีนกัม 33.33 เปอร์เซ็นต์ และโปแตสเซียมคลอไรด์ 16.67 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ได้เจลที่มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น(นิธิยา, 2534)

หน้าที่หลักของโลคัสบีนกัม คือ เพิ่มความหนืดและความคงตัวให้กับอีมัลชั่น และยับยั้งการแยกตัวของน้ำออกจากเจล มักนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิด เช่น ซอส, ขนมหวาน, เยลลี่, เครื่องดื่ม และไอศครีม เป็นต้น (นิธิยา, 2534)

2.6.2 การใช้สารให้ความหวานที่มีแคลอรี่ต่ำแทนความหวานจากน้ำตาล

สำหรับการใช้สารให้ความหวานแทนน้ำตาลนั้นจะใช้สารให้ความหวานที่มีรสหวานมากกว่าน้ำตาลและปริมาณที่ใช้เพียงเล็กน้อยทำให้ผู้บริโภคได้รับแคลอรี่น้อยลง สารให้ความหวานที่นิยมใช้ในแยม เช่น แอสพาร์เทม (aspartame), อะซีซัลเฟม-เคม (acesulfame-K), ซูคราโลส (sucralose) และซอร์บิทอล์ (sorbitol) (Nabors และคณะ, 1991)

การใช้สารให้ความหวานพลังงานต่ำทดแทนน้ำตาลมีจุดประสงค์เพื่อ
(ศิริลักษณ์, 2533 และSunyer, 1993)

1. เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ทำให้ผู้ป่วยโรคเบาหวานไม่ว่าจะเป็นชนิดไม่ต้องการอินซูลินเลย หรือต้องการอินซูลินเพียงเล็กน้อย ได้กินอาหารที่มีรสหวานอร่อย จึงนับว่าเป็นสารที่มีคุณค่าทางการแพทย์

2. เพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการลดพลังงานจากอาหาร หรือควบคุมน้ำหนักร่างกาย และใช้สำหรับผู้ป่วยโรคอ้วน มีข้อมูลทางสถิติชี้ชัดว่ายิ่งน้ำหนักตัวมากเท่าใดอายุก็จะยิ่งสั้นลงเท่านั้น คำแนะนำในการให้ได้รับแคลอรี่นั้นขึ้นอยู่กับอายุและความสูง เมื่ออายุเกินวัยกลางคน แคลอรี่ที่จำเป็นต้องใช้ใน 1 วัน จะยิ่งลดต่ำลง ถ้าสามารถลดการใช้น้ำตาลลงวันละ 100 กรัม ก็จะเป็นการช่วยลดแคลอรี่ลงได้วันละ 400 กิโลแคลอรี่ การใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในผลิตภัณฑ์อาหารก็จะทำให้กลุ่มคนที่ต้องการกำจัดแคลอรี่ลงดังกล่าวได้กินอาหารที่ยังหวานอร่อยกันได้

3. น้ำตาลซูโครสมีข้อจำกัดทางกายภาพ เช่น เกิดคาราเมลในอุณหภูมิสูงดังนั้นสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลจึงมีข้อได้เปรียบในการใช้ เช่น ในกรณีของน้ำตาลไหม้ในผลิตภัณฑ์ผลไม้กระป๋อง ในกรณีดังกล่าวสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลจะมีข้อได้เปรียบทางเทคนิค

4. ในระยะที่มีการขาดน้ำตาล เป็นไปได้ที่จะมีการผสมกลูโคสกับสารให้ความหวานที่แทนน้ำตาล เพื่อให้ได้ความหวานเท่ากับซูโครส (กลูโคสมีความหวานเพียงสองในสามของความหวานซูโครส) และใช้ทดแทนน้ำตาลซูโครสที่ขาดแคลน

คุณสมบัติของสารให้ความหวาน (ศิริลักษณ์, 2533 และ Nabors, 1991)

1. คุณสมบัติทางด้านประสาทสัมผัส

น้ำตาลที่เราใช้ในอาหารนั้นให้รสหวาน และคนเราก็มีความเคยชินกับรสหวานเฉพาะตัวของน้ำตาล ในการใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลในอาหาร เพื่อให้แน่ใจว่าผู้บริโภคจะยอมรับได้ดี สารให้ความหวานนั้นจำเป็นต้องมีเค้าโครงความหวาน (sweetness profile) ที่คล้ายคลึงกับเค้าโครงของน้ำตาลพอสมควรและจะต้องให้เฉพาะรสหวาน นั่นคือ ต้องปราศจากรสขมหรือรสอื่น ๆ จะเป็นการดีที่สุดถ้าสารให้ความหวานนั้นสามารถทำให้เรารู้สึกในรสหวานได้ภายใน 2-3 วินาที และคงความรู้สึกหวานนั้นได้นานประมาณ 30 วินาที สารให้ความหวานที่ให้รสปร่า (off tastes) ออกไปหรือให้รสติดลิ้น (after tastes) จะทำให้เกิดปัญหา และถ้ารสหวานนั้นคงความรู้สึกได้นานก็จะทำให้เกิดรสทะแม่ง ๆ (funny tastes) โดยทั่วไปยิ่งสารให้ความหวานใดให้รสหวานที่คล้ายคลึงกับซูโครสมากเพียงใดก็ยิ่งจะทำให้เรานำสารให้ความหวานนั้นมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มได้มากขึ้นเพียงนั้น ถ้าสารให้ความหวานที่ให้รสอื่นหรือให้เค้าโครงรสหวานที่แปลกออกไป ก็จะเป็นจุดอ่อนในการที่จะนำสารให้ความหวานนั้นมาใช้

2. คุณสมบัติทางเคมี

เนื่องจากการใช้ซูโครสหรือสารให้ความหวานในอาหารนั้น เป็นการให้รสหวานของมันผสมผสานไปกับรสอื่น เกิดเป็นระบบกลิ่นรสที่สลับซับซ้อน ในขณะเดียวกันก็เป็นการใช้ร่วมกันไปกับกลิ่นรส (ธรรมชาติหรือสังเคราะห์) และสีด้วย ดังนั้น สารให้ความหวานจึงควรต้องให้รสหวานที่เข้ากันได้ดีกับสารต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในอาหารนั้น และเพื่อให้มีอายุการเก็บนานพอสารให้ความหวานจะต้องไม่ทำปฏิกริยาเคมีได้ง่าย หรือเฉื่อยต่อสารประกอบธรรมชาติและสารปรุงแต่งทางเคมีทั้งหมดในผลิตภัณฑ์ที่ได้นำไปใช้นั้น ๆ

3. คุณสมบัติทางกายภาพ

สารให้ความหวานจำเป็นต้องมีความคงทนต่ออุณหภูมิสูง เนื่องจากว่า การแปรรูปอาหารนั้นมักจะเกี่ยวข้องกับการทำให้สุก ดังนั้นสารให้ความหวานจำเป็นต้องคงทนต่อการต้ม การอบ และการ

ใช้หม้ออัดความดัน และในทำนองเดียวกัน สารให้ความหวานต้องคงทนต่อการแปรรูปโดยใช้อุณหภูมิต่ำด้วย เช่น การแช่แข็งอย่างเร็ว และการทำอบแห้งแบบแช่แข็ง (freeze drying)

เนื่องจากอาหารจะต้องผ่านการเก็บ การขนส่ง และต่อมาก็เก็บสต็อคไว้บนหิ้งตามร้านขายของชำ ดังนั้นสารให้ความหวานจำเป็นต้องคงทนต่อสภาวะการเก็บต่าง ๆ ดังกล่าว อายุการเก็บจะนานเท่าใดนั้นย่อมขึ้นกับว่าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดใด โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปมักต้องมีอายุการเก็บ 6 เดือนเป็นอย่างน้อย

อาหารหลายชนิดเป็นของเหลว มีปริมาณความชื้นสูงหรือบางอย่างก็จะเกิดการเปลี่ยนลักษณะเป็นของเหลวในขณะที่ผ่านการแปรรูป ความคงทนของสารให้ความหวานในสารละลายเป็นสิ่งสำคัญ ความเป็นกรด-ด่างของอาหารและเครื่องดื่มจะอยู่ในช่วง 2.5-8.0 ดังนั้นสารให้ความหวานที่สามารถคงทนต่อช่วงความเป็นกรด-ด่างดังกล่าวได้ จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้สามารถใช้สารให้ความหวานได้อย่างกว้างขวาง

อาหารหลายชนิดประกอบด้วยซูโครสเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ หรือน้อยกว่า แต่ผลิตภัณฑ์อาหารพวกเยลลี่ และน้ำเชื่อม อาจมีความเข้มข้นของน้ำตาลมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น เพื่อให้ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง สารให้ความหวานจำเป็นต้องละลายได้อย่างดี เพื่อจะใช้แทนรสหวานของน้ำเชื่อมซึ่งประกอบด้วยซูโครสถึง 70 เปอร์เซ็นต์ ได้ดี

4. คุณสมบัติทางความปลอดภัย

การที่มีกำหนดให้ต้องพิสูจน์ความปลอดภัยในการใช้สารปรุงแต่งอาหารใหม่ใด ๆ นั้นเป็นปัญหาใหญ่ในการใช้สารให้ความหวาน เนื่องจากจะต้องมีการทดลองใช้เลี้ยงสัตว์ทดลองในปริมาณที่สูงพอที่จะทำให้เกิดผลร้ายต่อสัตว์ทดลองนั้น จะต้องมีการศึกษาเพื่อจะหาระดับความปลอดผลร้ายสูงสุด (maximum no-effect level) จะต้องมีการศึกษาในระดับเมตาบอลิซึมและระบบการขับถ่ายเพื่อทราบถึงปริมาณที่เหมาะสมในการใช้สารให้ความหวานชนิดต่าง ๆ

ข้อควรคำนึงในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแคลอรี่ต่ำ (ศิริลักษณ์, 2533 และ Sunyer, 1993)

การผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแคลอรี่ต่ำสำหรับผู้บริโภคที่ต้องการลดพลังงานจากอาหาร หรือควบคุมน้ำหนักร่างกาย และในกรณีของผู้ป่วยโรคอ้วนที่ต้องการให้น้ำหนักลดลงนั้น มีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับแบบแผนการกินและการกระตุ้นให้เกิดการกิน โดยปกติมักจะทึกทักว่าคนเราจะกินผลิตภัณฑ์อาหารแคลอรี่ต่ำที่มีรสชาติดีเพื่อทดแทนอาหารที่เคยกินอยู่และจะกินผลิตภัณฑ์อาหารแคลอรี่

ต่ำดังกล่าวในปริมาณที่เท่ากันกับผลิตภัณฑ์เดิมด้วย ซึ่งข้อสมมติในเรื่องนี้ ได้รับการยอมรับในพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารแคลอรี่ต่ำด้วย แต่อย่างไรก็ตาม มีปัจจัยหลายประการที่ควรแก่การคำนึงถึงในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารแคลอรี่ต่ำที่ยึดหลักการใช้สารให้ความหวานที่มีศักยภาพสูงเป็นเกณฑ์ ปัจจัยดังกล่าวได้แก่

1. เปอร์เซ็นต์ของการลดแคลอรี่ต่อส่วน (serving size) ของผลิตภัณฑ์อาหารแคลอรี่ต่ำจะต้องเท่ากับส่วนของอาหารที่กินตามปกติ และต้องเป็นไปตามข้อกำหนดทางกฎหมายและมาตรฐานอาหาร ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่อาจจะให้ลดแคลอรี่โดยถือน้ำหนักเป็นเกณฑ์ การลดวิธีนี้มักจะใช้วิธีการเพิ่มน้ำหรือให้มีสารเพิ่มปริมาณมากขึ้นในสูตร หรือทำได้โดยการลดปริมาณไขมัน ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมาก เช่น เครื่องดื่มที่มีน้ำตาลเป็นแหล่งสำคัญที่ให้แคลอรี่ นับเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ง่ายแก่การเปลี่ยนแปลงสูตรใหม่ โดยจะยังคงเป็นไปตามข้อกำหนดของกฎหมาย

2. อาหารที่จะลดแคลอรี่นั้นควรจะเลือกอาหารที่มีแคลอรี่สูง

3. อาหารที่จะลดแคลอรี่จะเลือกอาหารที่ให้แคลอรี่ในสัดส่วนที่สูง

4. อาหารที่จะลดแคลอรี่โดยการใช้สารให้ความหวานที่มีศักยภาพสูง จะเลือกอาหารที่ได้รับแคลอรี่ในอัตราส่วนที่สูงจากน้ำตาลซูโครสที่ถูกแทนที่

5. อาหารที่ลดแคลอรี่นั้นจะต้องเป็นอาหารที่สารให้ความหวานมีคุณสมบัติทดแทนน้ำตาลที่จะถูกแทนที่ได้ด้วย ทั้งนี้เพราะนอกจากน้ำตาลจะทำหน้าที่ให้รสหวานแล้วยังมีหน้าที่อื่น ๆ อีกด้วย เช่น น้ำตาลเป็นสารเพิ่มปริมาณ, น้ำตาลเป็นสารช่วยให้เกิดการเป็นสีน้ำตาล และน้ำตาลเป็นสารลด Aw (water activity) ซึ่งเป็นการควบคุมจุลินทรีย์ สารให้ความหวานมักจะถูกใช้ได้ง่ายในการลดแคลอรี่ในส่วนผสมสำเร็จรูปประเภทเครื่องดื่ม และเครื่องดื่มบรรจุขวดหรือบรรจุกระป๋องชนิดต่าง ๆ สารให้ความหวานนี้ใช้ได้ไม่ดีในอาหารประเภทของแข็ง เช่น อาหารพวกแป้งอบ และขนมหวาน

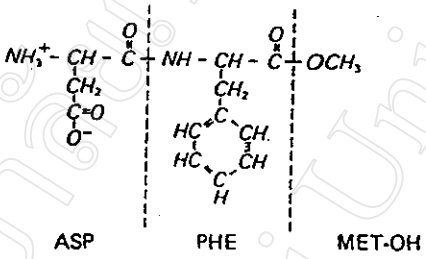
6. อาหารที่จะลดแคลอรี่จะต้องมีส่วนประกอบ กลิ่นรส อายุการเก็บ และกรรมวิธีการผลิตที่เข้าได้กับคุณสมบัติทางกายภาพของสารให้ความหวานที่จะใช้นั้น

7.นอกจากจะสามารถลดแคลอรี่แล้ว ผลิตภัณฑ์อาหารแคลอรี่ต่ำนั้นจะต้องมีรสดี และมีการยอมรับสูงอีกด้วย

2.6.2.1 แอสพาร์เทม

ปัจจุบันพบว่าแอสพาร์เทม เป็นสารให้ความหวานที่ประสบความสำเร็จในด้านการนำไปใช้มากที่สุด เนื่องจากมีรสหวานที่คล้ายคลึงกับน้ำตาลมากที่สุด และยังเป็นที่ยอมรับของตลาดการค้า มีการใช้แอสพาร์เทม ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ทั่วโลกมากกว่า 4,100 ชนิด (ทวีชัย, 1996)

แอสพาร์เทม เป็นไดเปปไทด์เอสเทอร์ของกรดอะมิโน 2 ชนิด คือ L-aspartic acid และ L-phenylalanine (ดังภาพที่ 2.14) เป็นผงสีขาวสะอาดไม่มีกลิ่น และมีรสหวานคล้ายน้ำตาล ไม่มีรสขม และมีความหวานมากกว่าน้ำตาลประมาณ 180-200 เท่า (Homler และคณะ, 1991)

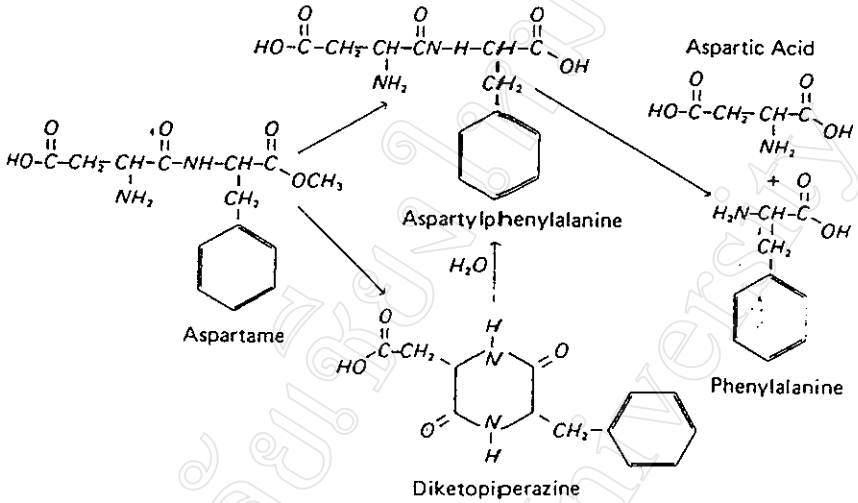


รูปที่ 2.14 โครงสร้างทางเคมีของแอสพาร์เทม
ที่มา: Homler และคณะ, 1991

แอสพาร์เทมมีรสหวานสนิท ไม่มีรสขมติดลิ้นหลังรับประทาน ได้มีการทดลองเปรียบเทียบรสของแอสพาร์เทมกับน้ำตาล โดยใช้ผู้ชิมทั้งที่มีและไม่มีประสบการณ์ ปรากฏว่าผู้ชิมลงความเห็นว่าแอสพาร์เทมมีรสหวานสนิท ไม่มีรสขมเจือปนเลย แต่มีผู้ให้ข้อสังเกตว่า แอสพาร์เทมมีรสหวานติดลิ้น ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้บางครั้งก็เป็นที่ต้องการ แต่ถ้าไม่ต้องการก็สามารถทำได้โดยผสมกับสารให้ความหวานชนิดอื่นหรืออาจลดปริมาณของแอสพาร์เทมลง (Giese, 1993)

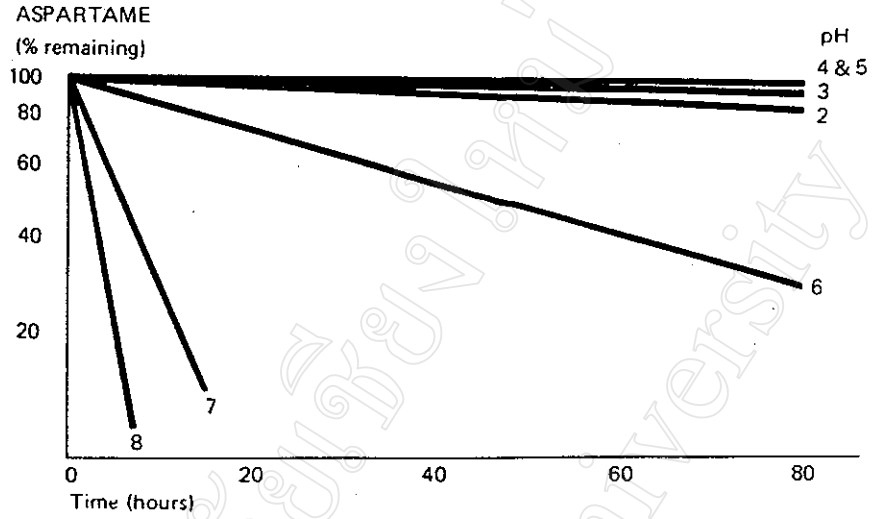
นอกจากนี้แอสพาร์เทมยังช่วยให้กลิ่นรสของอาหารดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำผลไม้ที่มีกรดสูง เช่น น้ำส้ม, น้ำมะนาว และน้ำองุ่น เป็นต้น จากการทดลองพบว่าคุณสมบัตินี้จะให้ผลดีกับน้ำผลไม้มากกว่าเครื่องดื่มที่เติมสารให้สีและกลิ่นรสผลไม้ที่เป็นสารสังเคราะห์ (Homler และคณะ, 1991)

สำหรับความคงตัวของสารละลายแอสพาร์เทมขึ้นกับปัจจัยสามประการ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง, อุณหภูมิและเวลา ถ้าปัจจัยที่ไม่เหมาะสมจะทำให้แอสพาร์เทมถูกไฮโดรไลซ์เป็น aspartylphenylalanine (AP) หรือ diketopiperazine (DKP) และ DKP ring สามารถเปลี่ยนรูปกลายเป็น AP และไฮโดรไลซ์ไปเป็น aspartic acid และ phenylalanine ซึ่งฟอร์มต่าง ๆ เหล่านี้เป็นสารประกอบที่ไม่มีความหวาน (Homler และคณะ, 1991) ดังแสดงในภาพที่ 2.15

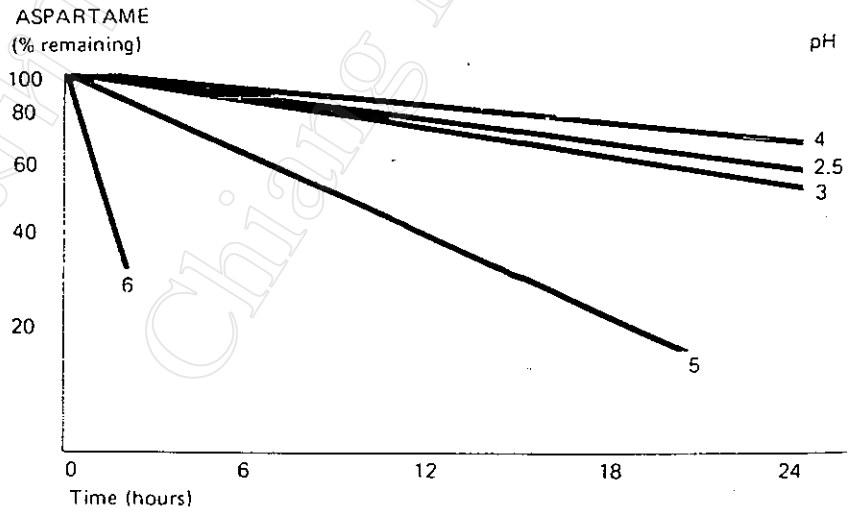


ภาพที่ 2.15 กลไกการเปลี่ยนแปลงของแอสพาร์เทมเมื่ออยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม
ที่มา: Homler และคณะ, 1991

แอสพาร์เทมในสภาพสารละลายเก็บที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานจะเกิดการสลายตัวได้มาก แต่แอสพาร์เทมจะคงตัวดีที่สุดเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 3.0-5.0 จากการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและสภาพความเป็นกรด-ด่างที่มีต่อความคงตัวของสารละลายแอสพาร์เทม พบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างในช่วง 3-5 เป็นเวลา 80 ชั่วโมง จะมีการสลายตัวของแอสพาร์เทมเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บสารละลายแอสพาร์เทมที่ 80 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่างในช่วง 2.5-4 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แอสพาร์เทมยังคงเหลืออยู่ 60 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 2.16 และ 2.17

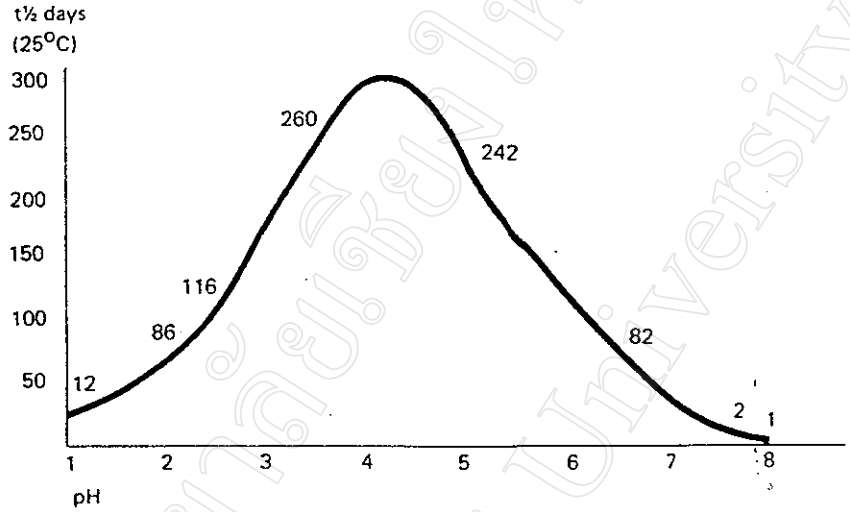


ภาพที่ 2.16 ความคงตัวของสารละลายแอสพาร์เทมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
ที่มา: Homler และคณะ, 1991



ภาพที่ 2.17 ความคงตัวของสารละลายแอสพาร์เทมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
ที่มา: Homler และคณะ, 1991

สำหรับครึ่งชีวิต (Half life) ของสารละลายแอสพาร์เทมที่ความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 3 และ 4.3 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส มีค่า 180 วัน และ 280 วัน ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 2.18



ภาพที่ 2.18 ครึ่งชีวิตของสารละลายแอสพาร์เทมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในสภาวะต่าง ๆ
ที่มา: Homler และคณะ, 1991

มีการนำเอาแอสพาร์เทม มาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ (Homler และคณะ, 1991) เช่น

1. เครื่องดื่มต่าง ๆ
2. โยเกิรต์
3. ผลิตภัณฑ์ผสมแห้ง เช่น กาแฟผง
4. หมากฝรั่ง
5. fruit-spread
6. อาหารที่พร้อมบริโภค

สถาบันวิจัยโภชนาการได้ผลิตแยมแคลอรี่ต่ำ เช่น แยมสับปะรด, ผลไม้รวม และมาร์มาเลด โดยใช้บุกและแอสพาร์เทมแทนเปกตินและสารให้ความหวาน ทำให้ลดปริมาณการใช้น้ำตาลลงได้ ปริมาณแคลอรี่ที่ได้คือ 84 กิโลแคลอรี่ ต่อ 100 กรัม และจากงานวิจัยของอดิศักดิ์, 2540 ได้ทดลองทำแยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำโดยใช้บุก : แซนแทนกัม (ความเข้มข้นรวม 3 เปอร์เซ็นต์) ในอัตราส่วน

50 : 50, สับปะรดหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ 55 เปอร์เซ็นต์ และใช้แอสพาร์เทม 1.1 เปอร์เซ็นต์ จะได้แยมสับปะรดแคลอรี่ต่ำที่มีเนื้อสัมผัสและความหวานอยู่ในเกณฑ์ที่ผู้บริโภคยอมรับ

Bakr ,(1997) ได้พัฒนาคุณภาพอาหารพลังงานต่ำ และอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน โดยได้ทำการผลิตแยมสตรอเบอร์รี่และแยมฝรั่ง ซึ่งใช้สารให้ความหวานผสมกันระหว่าง ไซลิทอล์-ซอร์บิทอล์-แอสพาร์เทม พบว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของแยมที่เหมาะสมนั้นจำเป็นต้องเพิ่มแคลเซียมคลอไรด์ลงไป 0.2 เปอร์เซ็นต์ และเก็บรักษาแยมไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จึงจะได้แยมที่มีคุณภาพดี

Damasio และคณะ ,(1997) ได้ทดลองทำเจลรสส้มโดยใช้น้ำตาลในปริมาณต่ำ พบว่าลักษณะปรากฏ ลักษณะเนื้อสัมผัส และกลิ่นรสที่ได้รับการยอมรับมาก คือ การใช้น้ำตาลซูโครสที่ 30 บริกซ์ แอสพาร์เทม 0.5 เปอร์เซ็นต์ และใช้เจลแลนกัม 0.55 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจใช้กัมผสมกันที่ความเข้มข้น 0.7 เปอร์เซ็นต์ ระหว่าง เจลแลนกัม : แซนแทนกัม : โลคัสบีนกัม ในอัตราส่วน 3 :1 :1

Hoerlein และคณะ ,(1995) ได้ทำการพัฒนากระบวนการผลิตแยมสตรอเบอร์รี่พลังงานต่ำสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ที่ใช้สารให้ความหวานคือ อะซีซัลเฟม-เค : แอสพาร์เทม ในอัตราส่วน 1:1 พบว่าควรให้ความร้อนแยมในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 15 นาที ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC แล้วพบว่า มีการสลายตัวของแอสพาร์เทมน้อยมาก และไม่มีการสลายตัวของอะซีซัลเฟม-เคเลย

ปัจจุบันได้มีการใช้แอสพาร์เทมกันอย่างแพร่หลาย มากกว่า 90 ประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะประเทศอุตสาหกรรมหลัก เช่น อังกฤษ เยอรมันนี และญี่ปุ่น ในประเทศแคนาดาได้มีการนำแอสพาร์เทมมาใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ถึง 145 ชนิด สำหรับกลุ่มประเทศยุโรปปัจจุบัน ตามที่กฎหมายเกี่ยวกับสารให้ความหวานและคณะกรรมการวิทยาศาสตร์การอาหารของกลุ่มประเทศยุโรปได้อนุญาตให้ใช้แอสพาร์เทมในผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่าง ๆ ได้ (Montijano ,1998) ผลการศึกษาความปลอดภัยของแอสพาร์เทมที่มีผลกระทบต่อระบบเมตาบอลิซึม, ความเป็นพิษต่อร่างกาย ,สารก่อมะเร็ง ,สารก่อกลายพันธุ์ และผลต่อตัวอ่อน พบว่าการรับประทานแอสพาร์เทมไม่มีอันตรายแต่อย่างใด ดังนั้นคณะกรรมการอาหารและยาสหรัฐอเมริกา (FDA) จึงได้กำหนดค่าต่ำสุดที่ยอมรับให้รับบริโภคได้ต่อวัน (acceptable daily intake) ของแอสพาร์เทมเท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

น้ำหนักตัวต่อวัน (the International Food Information Council Foundation,1998 และ American Dietetic Association,1998)

2.6.2.2 อะซีซัลเฟม-เค

อะซีซัลเฟม-เค เป็นสารให้ความหวานที่ไม่ให้แคลอรี่ มีความหวานประมาณ 200 เท่าของซูโครส มีความคงตัวที่อุณหภูมิห้องได้นาน 6 ปี โดยไม่เสื่อมสลาย และทนต่อความร้อนในระหว่างการหุงต้มอาหารได้ แต่รสหวานของอะซีซัลเฟม-เคจะถูกทำลายอย่างรวดเร็วถ้าใช้ในปริมาณมากจะเกิดรสขม อะซีซัลเฟม-เค จะไม่ถูกย่อย ดังนั้นจึงไม่ให้พลังงานแก่ร่างกายใช้ อะซีซัลเฟม-เคถูกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมากกว่า 4000 ชนิดทั่วโลก เช่น ผลิตภัณฑ์ลูกอม, หมากฝรั่ง, เครื่องดื่ม, ผลิตภัณฑ์นมต่าง ๆ , ผลิตภัณฑ์ขนมอบ และเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ อีกทั้ง Joint Expert Committee on Food Additives(JECFA) of the World Health Organization และคณะกรรมการวิทยาศาสตร์การอาหารของสหภาพยุโรป ได้รับประกันความปลอดภัยของอะซีซัลเฟม-เค ว่าไม่เป็นสารพิษ ไม่ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ และไม่เป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นคณะกรรมการอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกาจึงได้กำหนดค่าต่ำสุดที่ยอมรับให้บริโภคได้เท่ากับ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน (the International Food Information Council Foundation,1998 และ American Dietetic Association,1998)

2.6.2.3 ซูคราโลส

ซูคราโลสเป็นผลึกสีขาวมีความหวาน 400-800 เท่าของน้ำตาล มีความคงตัวที่อุณหภูมิสูงและในสภาวะที่เป็นกรดได้ดี ไม่เกิดรสขมหลังบริโภค (Miller,1991) และร่างกายจะไม่ดูดซึมซูคราโลสดังนั้นจึงไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย

คณะกรรมการอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกาอนุญาตให้ใช้ซูคราโลสได้ในผลิตภัณฑ์อาหาร 15 ชนิด (International Food Information Council Foundation, 1998) คือ

1. ผลิตภัณฑ์ขนมอบ
2. เครื่องดื่มต่าง ๆ
3. หมากฝรั่ง
4. กาแฟและชา
5. ผลิตภัณฑ์ลูกอมต่าง ๆ

6. ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายผลิตภัณฑ์นม
7. น้ำมันและไขมัน
8. ของหวานที่ทำมาจากผลิตภัณฑ์นม
9. ของหวานพวกผลไม้ในน้ำเชื่อม
10. เจลาตินและพุดดิ้ง
11. แยม และเยลลี่
12. ผลิตภัณฑ์นม
13. ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้
14. สารให้ความหวานแทนน้ำตาล
15. ซอสต่าง ๆ และไซรัป

สำหรับการประเมินความปลอดภัยโดยรวมซึ่งได้มีการรับรองความปลอดภัยของซูคราโลส จากองค์กรต่าง ๆมากกว่า 30 ประเทศทั่วโลก พบว่าซูคราโลสไม่เป็นพิษ, ไม่เป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์, ไม่ก่อให้เกิดการกลายพันธุ์ และไม่ใช่สารก่อมะเร็ง และJECFA(The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) ได้กำหนดค่าต่ำสุดที่ยอมรับให้บริโภคเท่ากับ 15 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัวต่อวัน (the International Food Information Council Foundation,1998 และ American Dietetic Association,1998)

2.6.2.4 ซอร์บิทอล์

ซอร์บิทอล์เป็นสารให้ความหวานที่มีความหวาน 0.7 เท่าของน้ำตาล และนิยมใช้ในผลิตภัณฑ์แคลอรี่ต่ำสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน ทั้งนี้เพราะ ซอร์บิทอล์จะถูกดูดซึมช้า ทำให้มีระดับน้ำตาลกลูโคสและระดับอินซูลินในเลือดต่ำ คณะกรรมการอาหารและยาประเทศสหรัฐอเมริกา กำหนดค่าต่ำสุดที่ยอมรับให้บริโภคได้ไม่เกิน 50 กรัมต่อวัน หากบริโภคมากเกินไปจะทำให้เกิดอาการท้องร่วงได้ (American Dietetic Association,1998)

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้สารให้ความหวานนั้น ควรพิจารณาถึง ความปลอดภัยเมื่อบริโภค ,รสชาติ, ความคงตัวของสารให้ความหวาน และราคาที่เหมาะสม (Giese, 1992)

2.6.3 อาหารลดน้ำหนัก (กฎหมายอาหาร, 2535)

อาหารลดน้ำหนักมักอยู่ในรูปของอาหารที่มีไขมันต่ำ และมีเส้นใยสูง ซึ่งจะมีผลทำให้ระบบการย่อยช้าลง ทำให้เกิดความรู้สึกอิ่มได้นาน สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา กำหนดให้อาหารลดน้ำหนักเป็นอาหารควบคุมเฉพาะ ตามประกาศฉบับที่ 121 พ.ศ.2532 โดยแบ่งประเภทอาหารเป็น 2 ประเภทหลัก คือ

1. อาหารที่ใช้กินแทนอาหารที่ใช้กินตามปกติใน 1 มื้อ หรือแทนอาหารทั้งวัน มีแคลอรี่ระหว่าง 200-400 กิโลแคลอรี่ ต่อการรับประทาน 1 มื้อ

- มีพลังงานจากโปรตีนไม่น้อยกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ และไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานทั้งหมด โปรตีนที่มีอยู่จะต้องมีคุณค่าทางโภชนาการเทียบเท่าเคซีน
- พลังงานจากสารไขมันไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมด และต้องมาจากกรดไลโนเลอิค ในรูปของกลีเซอไรด์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 3 ของพลังงานทั้งหมด
- มีสารคาร์โบไฮเดรตซึ่งอยู่ในรูปของน้ำตาลและ/หรือน้ำตาลแอลกอฮอล์ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก
- มีปริมาณเกลือแร่และวิตามินตามค่าที่กำหนด

2. อาหารใช้กินแทนอาหารบางส่วน ได้แก่ อาหารที่ถูกลดพลังงาน (Reduced Calorie diet) และอาหารที่ให้พลังงานต่ำ (Low Calorie diet)

2.1 อาหารลดน้ำหนักจะมีพลังงานไม่เกิน 66 เปอร์เซ็นต์ หรือ 2/3 ของอาหารนั้นก่อนถูกลดพลังงาน มีคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนตามลักษณะอาหารนั้น

2.2 อาหารพลังงานต่ำมีพลังงานได้ไม่เกิน 40 กิโลแคลอรี่ ต่อส่วนที่กำหนดให้รับประทาน (serving size ของผลิตภัณฑ์แยม เท่ากับ 15-20 กรัม)

2.6.3.1 อาหารถ่วงท้อง (ชมรมวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, 2537)

อาหารถ่วงท้องอาจจัดเป็นอาหารลดน้ำหนักชนิดพลังงานต่ำ ถ้ามีพลังงานไม่เกิน 40 กิโลแคลอรี่ต่อส่วนที่กำหนดให้รับประทาน แต่อาหารถ่วงท้องมีคุณสมบัติเฉพาะในการเป็นอาหารช่วยในการลดน้ำหนัก โดยกินก่อนอาหารหลักเพื่อบรรเทาความหิว เป็นการเพิ่มความอิ่ม ทำให้การกินอาหารลดลง เพราะพื้นที่ในกระเพาะถูกสารถ่วงท้องไปแทนที่บางส่วนแล้ว

สารถ่วงท้องนี้จะเป็นสารโพลีแซคคาไรด์ที่มีโมเลกุลยาว ทำให้มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำได้มาก โมเลกุลของน้ำจะเข้าไปอยู่ในโมเลกุลของสารนี้ สารนี้จึงพองตัวได้ในระดับหนึ่งเมื่อกินเข้าไปก่อนอาหารมื้อหลักจะช่วยถ่วงกระเพาะ และช่วยทำให้ระบบขับถ่ายคล่องตัวด้วยอาหารชนิดนี้เป็นที่นิยมกันมาก ได้แก่ สารสกัดจากแมงลักนำมาปรุงแต่งเป็นเครื่องดื่มแมงลักรสชาติต่างๆ

ส่วนอาหารลดน้ำหนักชนิดกินแทน 1 มื้อ มักจะเป็นผงบรรจุซองเครื่องดื่ม, เครื่องดื่มบรรจุขวด หรือแม้แต่อาหารจานเดียวชนิดสำเร็จรูป เช่น ซุป, ก๋วยเตี๋ยว

อาหารลดพลังงานและพลังงานต่ำ ได้แก่ เครื่องดื่มไดเอท, สลัดเดรสซิ่ง, มายองเนส, พุดดิ้ง, เจลาติน, เยลลี่, แยม และผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น คุ้กกี้, ขนมปัง, เค้ก เป็นต้น

การลดพลังงานในอาหาร (Sunyer, 1993)

การลดพลังงานในอาหารสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบภายในอาหารนั้นๆ ซึ่งอาจทำได้โดยใช้เทคนิคสองประการคือ

1. การแทนที่ส่วนประกอบในอาหารด้วยสารให้พลังงานต่ำ คือ
    1. การเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสม
    2. ลดปริมาณไขมัน หรือใช้สารทดแทนไขมัน
    3. เติมสารเพิ่มปริมาณ (Bulking ingredients) เช่น คอลลอยด์ หรือใยอาหาร
    4. ลดปริมาณน้ำตาลโดยใช้สารให้ความหวานทดแทนน้ำตาล

2. การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบหลักที่ให้แคลอรี่สูงในอาหาร

    1. การลดปริมาณพลังงานจากไขมันซึ่งให้พลังงานถึง 9 กิโลแคลอรี่ต่อไขมัน 1 กรัม โดยการลดส่วนลง หรือใช้สารทดแทนไขมัน (Fat Substitute)

    2. การลดพลังงานจากสารคาร์โบไฮเดรตด้วยสารพวกกัม คอลลอยด์ ใยอาหาร และสารให้ความหวานแทนน้ำตาล (Sugur Substitute) หรือพวกน้ำตาลแอลกอฮอล์ (polyols)

2.6.3.2 สารเพิ่มปริมาณและเส้นใย (เนตรนภิส, 2535 และ Sunyer, 1993)

การเติมสารเพิ่มปริมาณและเส้นใยในอาหาร เป็นวิธีการหนึ่งในการลดพลังงานในอาหาร ดังเช่น การเพิ่มน้ำและอากาศซึ่งถือว่าเป็นสารเพิ่มปริมาณในกระบวนการผลิตอาหารว่างโดยใช้กระบวนการอัดพอง (extrusion process)

สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการใช้น้ำตาลซูโครสเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวโครงสร้างและให้ปริมาตรของผลิตภัณฑ์นอกเหนือจากการให้รสหวานนั้น เพื่อที่จะให้มีปริมาตรดังที่ได้รับจากการใช้น้ำตาล เมื่อใช้สารให้ความหวานอื่นจึงจำเป็นต้องอาศัยสารเพิ่มปริมาณเข้าช่วย แต่ที่สำคัญต้องไม่ให้แคลอรี่เหมือนน้ำตาลซูโครส ตัวอย่างสารเพิ่มปริมาณที่ไม่ให้แคลอรี่หรือให้ในปริมาณต่ำ เช่น เส้นใยอาหาร, โพลีเมอร์สังเคราะห์ และเอสเทอร์ของซูโครส

เส้นใยอาหาร (dietary fiber) เป็นสารเพิ่มปริมาณที่ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนและลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืช เนื่องจากเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารของคนไม่สามารถย่อยได้ จึงไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย การเติมในผลิตภัณฑ์อาหารยังมีผลดีต่อสุขภาพ คือ ช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ เช่น โรคหัวใจ, โรคเบาหวาน และโรคมะเร็ง เส้นใยอาหารมีหลายชนิด เช่น เปกติน, กัม, ลิกนิน และเซลลูโลส

เส้นใยอาหารส่วนใหญ่มีความสามารถรวมกับน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อเติมในผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเหลวจะเพิ่มความหนืดให้อาหาร ส่วนเส้นใยอาหารชนิดที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้น้อยหากเติมในเครื่องดื่มจะทำให้รู้สึกระคายลิ้น จึงนิยมนำมาผสมกับผลิตภัณฑ์ประเภทคุ้กกี้และขนมปังกรอบ เพราะจะช่วยเพิ่มความกรอบ และเนื้อสัมผัสที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์ แต่อาจมีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์บาง ผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน เช่น ธัญพืชเส้นใยสูง (high fiber cereal)