บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามและลักษณะของผลิตภัณฑ์แยม

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม ในปี พ.ศ. 2521 ได้กำหนดมาตรฐานของผลิตภัณฑ์แยม โดยให้คำจำกัดความว่า " แยมเป็นผลิตภัณฑ์จากเนื้อผลไม้กับสารให้ความหวาน อาจผสมน้ำผลไม้หรือผลไม้เข้มข้นแล้วทำให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะสำหรับใช้ทา (spreadibility) มี สี กลิ่นรส ตามชนิดของผลไม้ที่ใช้ทำอาจใช้สีผสมอาหารที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ในการปรุงแต่งสีได้" ทั้งนี้ยังได้แบ่งแยมออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ประเภทที่มีเนื้อผลไม้ทั้งหมดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 45 ของน้ำหนักและประเภทที่มีเนื้อผลไม้ต่ำกว่าร้อยละ 33 ของน้ำหนัก ผลไม้ที่ใช้อาจเป็นผลไม้ชนิดเดียวหรือผลไม้ผสมหลายชนิด กรณีที่ใช้ผลไม้ชนิดเดียว ถ้าใช้ฝรั่งต้องมีเนื้อชนิดหลักร้อยละ 50-75 ของน้ำหนักส่วนที่เป็นผลไม้ทั้งหมด ยกเว้น ผลไม้จำพวก แตง มะละกอ อาจมีได้ถึงร้อยละ 95 ของน้ำหนักส่วนที่เป็นผลไม้ทั้งหมด สำหรับมะนาว ขิง จะต้องมีเนื้อผักผลไม้ไม่น้อยกว่าร้อยละ5โดยส่วนผสมหลักอาจมากกว่าร้อยละ75กรณีที่ใช้ผลไม้ 3 ชนิดจะต้องมีส่วนผสมที่เป็นผลไม้ชนิดหลัก ร้อยละ 33.3-75.0 ของส่วนที่เป็นผลไม้ทั้งหมดและกรณีที่ใช้ผลไม้ 4 ชนิด จะต้องมีส่วนที่เป็นผลไม้ชนิดหลักร้อยละ 25-75ของส่วนที่เป็นผลไม้ทั้งหมด" (มอก. 236,2521)

2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตแยม

วัตถุดิบหลักที่สำคัญในการผลิตแยม คือ ผลไม้, เพกทิน, น้ำตาล และกรด นอกจากนี้อาจมีการเติมสารกันบูด (preservative) หรือสารกันการเกิดฟอง (antifoaming agent) ด้วยก็ได้ (Baker and others, 1996) ลักษณะที่สำคัญของแยมผลไม้ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากความสมดุลของปริมาณ น้ำตาล ต่อกรด ต่อ เพกทิน ที่เหมาะสมนอกจากนี้โครงสร้างและองค์ประกอบของผลไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบก็ส่งผลให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของแยมเช่นกัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.1 ผลไม้

การเลือกผลไม้ที่มีความสุกพอดีไม่ดิบหรือสุกงอมจนเกินไปผลไม้ต้องไม่มีรอยเจาะของแมลงหรือเน่าเสีย แยมที่ทำจากผลไม้ดิบปนสุกหรือเกือบสุกจะให้ลักษณะที่ดีกว่า ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณเพกทินที่มีอยู่ในผลไม้สุกเต็มที่ ไม่สามารถทำให้เกิดเจลที่ดีนัก ด้วยเหตุนี้จึงอาจมีการใช้ผลไม้ผสมกันหลายชนิดหรือใช้ผลไม้สุกงอมแล้วผสมกับผลไม้ดิบ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดลักษณะเป็นหลังจากที่เคี่ยวเสร็จแล้ว แหล่งผลไม้ที่นำมาใช้ในการทำแยมได้แก่ ผลไม้สด ผลไม้แช่เยือกแข็ง ผลไม้กระป๋อง และ ผลไม้แห้ง (Bhatia,1997)

ลำไย*(Euphoria longana Lamk)*

ลำไยเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศจัดผลไม้ที่นิยมบริโภคทัดเทียมกับผลไม้ชนิดอื่นๆ ลำไยได้กลายเป็นไม้ผลที่สำคัญของภาคเหนือ โดยเฉพาะในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และลำพูนการผลิตได้ขยายไปสู่จังหวัดอื่นๆ ของภาคเหนือตอนบน เช่นจังหวัดเชียงราย ลำปาง แพร่ น่าน พะเยาและตากปัจจุบันขยายไปสู่ภาคตะวันออกได้แก่จังหวัดจันทบุรี และภาคตะวันออกเฉียงเหนือได้แก่จังหวัดเลย แต่มีปริมาณผลิตน้อยกว่า (กรมการค้าภายในภาคเหนือ , 2529)

ลำไยเป็นผลไม้ชนิดบ่มไม่สุก มีกลิ่นหอม มีรสหวาน ความหวานประมาณ องศาบริกซ์(^{o}B) ค่าพีเอช(pH) ส่วนประกอบทางเคมีของลำไยสด จากการวิเคราะห์ของกองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของลำไยสด

ส่วนประกอบ	**ปริมาณ**
ความชื้น (ร้อยละ)	81.10
เส้นใย (ร้อยละ)	0.28
เถ้า (ร้อยละ)	0.56
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (total sugar; g/100)	184.00

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2ไฮโดรคอลลอยด์(กัม)

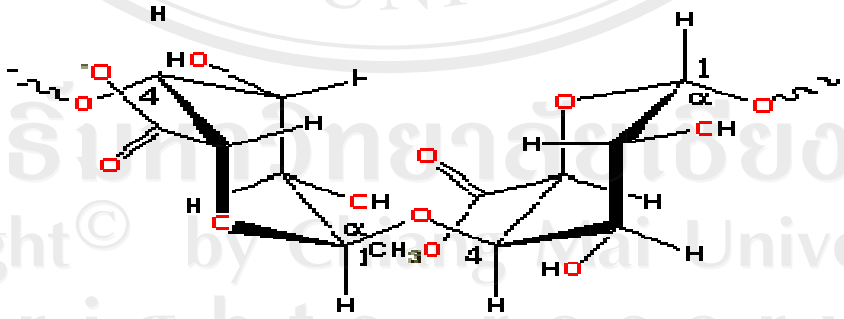
ไฮโดรคอลลอยด์ ในทางวิทยาศาสตร์หมายถึง พอลิแซกคาไรด์และโปรตีนต่างๆ ที่พิจารณาว่าเป็นสารคอลลอยด์(colloidal)ในวัฏภาคของน้ำเนื่องจากมีขนาดของโมเลกุลใหญ่มากเมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของน้ำในอุตสาหกรรมอาหารมักมีการใช้ไฮโดรคอลลอยด์เป็นส่วนประกอบของอาหาร เพื่อทำหน้าที่เป็นสารให้ความหนืดและหรือทำให้เกิดเจลเพื่อปรับให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสต่างๆโดยควบคุมสมบัติทางการไหล(rheology) เพื่อให้ได้เนื้อสัมผัสที่ต้องการ รวมทั้งมีผลต่อลักษณะปรากฏและกลิ่นรส ทำให้โฟม อิมัลชัน และสารที่ทำให้เกิดการกระจายตัว(dispersion)มีความคงตัวยับยั้งการตกผลึกหรือใช้เป็นสารให้ความคงตัวต่อผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในระหว่างการเก็บรักษา ความเข้มข้นของกัมที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 0.25- 0.50

2.2.2.1เพกทิน

เพกทิน เป็นสารประกอบประเภทพอลิแซกคาไรด์ ทำหน้าที่เป็นตัวยึด (adhesive) หรือ firming agent ในผลไม้และผักหลายชนิด (Gross, 1978) สกัดได้จากเปลือกผลไม้ตระกูลส้ม และพบได้ในเนื้อผลไม้ เช่น แอปเปิล และฝรั่ง (นิธิยา, 2543) เพกทินที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ในผลิตภัณฑ์แยมและ เยลลี่ ทั้งยังเป็น สารคงตัวในผลิตภัณฑ์นมที่มีสภาพเป็นกรด (Pilnik and Rombouts, 1985)

โครงสร้างของเพกทิน

โครงสร้างโมเลกุลของเพกทิน ประกอบด้วยสายพอลีเมอร์หลักของกรดกาแลกทูโรนิก (D-glalacturonic acid) จำนวน 200- 1000 หน่วยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α (1-4) (Nussinovitch, 1997; Schols and Voragen, 2002) ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.1โครงสร้างโมเลกุลของเพกทิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ชนิดของเพกทิน

เพกทินในทางการค้าแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ เพกทินชนิดเมทอกซีสูง และชนิดเมทอกซีต่ำ (Rolin and De Vries, 1990) เพกทินชนิดเมทอกซีสูง (High methyl pectin) คือเพกทินที่มีค่า Degree of Methyl (DM) ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป เพกทินที่มีในทางการค้าจะมีค่า DM แปรผันอยู่ในช่วงร้อยละ 55-75 การเกิดเจลโดยเพกทินชนิดนี้จะต้องมีส่วนผสมที่เหมาะสม คือ มีปริมาณน้ำตาลร้อยละ 55-65 ค่า pH อยู่ระหว่าง 2.9-3.1 (Rolin and De Vries, 1990) เพกทินชนิดเมทอกซีสูงยังสามารถแบ่งออกได้ตามอัตราเร็วของการเกิดเจล คือ ชนิด เกิดเจลเร็ว (rapid set) จะมีค่า DM อยู่ในช่วงร้อยละ 70-75 เพกทินชนิดนี้จะเกิดการเซตตัวเป็นเจล อย่างรวดเร็วเหมาะในการนำมาใช้ในการทำแยมผลไม้ เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการเซตตัวของเจลน้อย ช่วยป้องกันการจมตัวของผลไม้ ชนิดเกิดเจลช้า (slow set) จะมีค่า DM อยู่ในช่วงร้อยละ 50-70 เพกทินชนิดนี้จะเกิดการเซตตัวเป็นเจลช้าการเกิดเจลต้องมีปริมาณน้ำตาลในระบบสูง อุณหภูมิที่ใช้ในการเซตเจลจะต่ำกว่าชนิดแรก เหมาะในการใช้ทำเยลลีและผลิตภัณฑ์ลูกกวาดชนิดอื่นๆ(May,1997)

เพกทินชนิดเมทอกซีต่ำ (Low methoxyl pectin) คือ เพกทินที่มีค่า DM ต่ำกว่า 50 เปอร์เซนต์ ส่วนใหญ่ จะมีค่า DM อยู่ในช่วงร้อยละ 20-40 แต่ในทางการค้าจะนิยมใช้ค่า DM ในช่วงร้อยละ 20-40 การเกิดเจลโดยเพกทินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้โดยต้องมีแคลเซียมไอออน อยู่ด้วยอย่างเพียงพอต่อการเกิดเจล(May, 1997) อาจใช้น้ำตาลเล็กน้อยหรือไม่ใช้เลยก็ได้ (Alexos and Thibualt, 1991) เพกทินชนิดเมทอกซีต่ำยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มตามอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลของแคลเซียมไอออน คือ กลุ่มที่มีความไวต่อแคลเซียมสูง จะมีค่า DM มากและเกิดเจลได้เร็วที่สุด กลุ่มที่มีความไวต่อแคลเซียมปานกลาง จะมีค่า DM ปานกลาง และกลุ่มที่มีความไวต่อแคลเซียมต่ำ จะมีค่า DM ต่ำ โดยการเกิดเจลของเพกทินชนิดเมทอกซีต่ำทั้ง 3 กลุ่ม จะเกิดเจลได้เร็ว ปานกลางและช้าตามลำดับ

เพกทินที่พบในผลไม้ มีทั้งรูปที่ไม่ละลายน้ำ เรียกว่าโพรโทเพกติน (protopectin) และรูปที่ละลายน้ำได้ ซึ่งประกอบด้วย กรดเพกทินิก (pectinic acid) และกรดเพกทิก (pectic acid) (Crandall and Wicker, 1986) ในผลไม้ที่ยังไม่สุกโมเลกุลของเพกทินจะประกอบด้วยหมู่เมทิลจำนวนมาก และไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อผลไม้สุกโพรโทเพกติน (protopectin) จะละลายน้ำได้มากขึ้น และเมื่อผลไม้แก่จัดจะเริ่มมีการเสื่อมสลายเพกทินจะถูกไฮโดรไลซ์จนถึงจุดที่ทำให้ผลไม้สูญเสียความหนาแน่นของเนื้อ และเพกทินจะมีกำลังในการเกิดเจลลดลง (Gross,1978)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แซนแทนกัม(Xanthan gum)

แซนแทนกัม(Xanthan gum)เป็นสารประกอบโพลีแซคคาไรด์ ประเภท Heteropolysaccharide ที่เชื้อแบคทีเรียสกุล *Xanthanmonas* สร้างขึ้นบริเวณผนังเซลล์บางครั้งจึงเรียกว่า Extracellular polysaccharide (EPS) โดยมีลักษณะเป็นแคปซูลห่อหุ้มเซลล์ไว้หลวมๆ ทำให้หลุดลอกง่ายเมื่อเขย่าแรงๆ โมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 ชนิด คือ น้ำตาลดีกลูโคส (D-glucose), น้ำตาลดีแมนโนส (D-mannose) และ กรดดีกลูคูนิค (D-glucuronic acid) โดยมีหมู่ไพรูวิล (Pyruvyl) และ หมู่อะซิทิล (Acetyl group) เกาะอยู่ด้วยในอัตราส่วนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ของเชื้อแบคทีเรียทำให้คุณสมบัติของ สารแซนแทนกัมที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป โดยทั่วไปแล้วสารแซนแทนกัมมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีมีความคงตัวแม้ในสภาพที่อุณหภูมิเปลี่ยนไป จึงสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมได้อย่างแพร่หลาย

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส(carboxymethylcellulose,CMC)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสอีเทอร์ที่อยู่ในรูปเกลือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส อาจเรียกว่า เซลลูโลสกัม (cellulose gum) หรือ ใช้ชื่อย่อว่า CMC เป็นพอลิเมอร์ชนิดประจุลบที่ละลายน้ำได้การเตรียม CMC ทำได้โดยใช้เซลลูโลสบริสุทธิ์มาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อให้เส้นใยเซลลูโลสพองตัวออกได้เป็นสารละลายเซลลูโลสในด่าง แล้วทำปฏิกิริยาต่อกับโซเดียมโมโนคลอโรอะซิเตต ได้เป็นโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ดังสมการ

$$R\text{-}OH + NaOH \longrightarrow R\text{-}ONa + H_2O$$

$$R\text{-}ONa + Cl\text{-}CH_2\text{-}COONa \longrightarrow R\text{-}O\text{-}CH_2\text{-}COONa + Na\,Cl$$

สมบัติของ CMC แต่ละชนิดที่ได้จากสมการการแทนที่ดังกล่าวจะแปรผันไปตามปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความสม่ำเสมอของการแทนที่(uniformity of substitution) ระดับของการแทนที่ (degree of substitution, DS) และระดับของการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) มีลักษณะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ความสามารถในการดูดน้ำ และความหนืดของสารละลายอีกด้วย CMC ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร จะมี DS ประมาณ 0.9 ทำให้ CMC สามารถละลายได้ทั้งในน้ำร้อนและน้ำเย็น CMC ที่มีค่า DS เท่ากับ 0.3 หรือต่ำกว่า 0.3 จะละลายได้ในด่างแต่ไม่ละลายในน้ำ และสามารถละลายในน้ำได้ตั้งแต่ค่า DS ตั้งแต่ 0.45 ขึ้นไป สำหรับความหนืดของสารละลายจะขึ้นอยู่กับ DP ถ้ามี DP สูง จะทำให้ได้สารละลายที่มีความหนืดเพิ่มขึ้น สารละลาย CMC มีลักษณะคล้าย ซูโดพลาสติก CMC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะได้สารละลายที่มีความหนืดต่ำ และมีความเป็นซูโดพลาสติกน้อยกว่าสารละลาย CMC ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สารละลาย CMC จะมีความคงตัวที่พีเอช

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระหว่าง 4-10 แต่จะให้ค่าความหนืดสูงสุด และมีความคงตัวดีที่สุดที่พีเอช7-9 ความหนืดของสารละลายจะลดลงเมื่อค่าพีเอชลดลงและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยหากค่าพีเอชต่ำกว่า 3 อาจทำให้ CMC ที่อยู่ในรูปอิสระตกตะกอนและถ้าพีเอชสูงกว่า 10 จะทำให้สารละลายมีความหนืดลดลงเล็กน้อย (นิธิยา, 2545) CMC ใช้เติมลงไปในไอศกรีมจะช่วยอุ้มน้ำ ลดการเคลื่อนตัวของน้ำ ทำให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อนุ่ม และยังใช้เติมลงในอาหารเพื่อให้อาหารมีพลังงานต่ำ (low calories food) โดยทำหน้าที่เป็น bulking agent นอกจากนี้ยังสามารถนำมาทำเป็นฟิล์มใสและมีความแข็งแรง โดยไม่มีผลกระทบจากน้ำมัน และตัวทำละลายอินทรีย์ (นิธิยา, 2545)

2.2.3น้ำตาล

น้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตแยมด้วยน้ำตาลทำให้เกิดโครงสร้างเจลร่วมกับเพกทิน นอกจากนี้ยังให้รสหวานแก่ผลิตภัณฑ์ น้ำตาลที่ใช้ในการผลิตแยมส่วนใหญ่คือน้ำตาลซูโครส น้ำตาลจะช่วยทำให้เกิดเจลโดยการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของเพกทิน หรือหมู่คาร์บอกซิลที่มีจำนวนมากในน้ำตาลอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเป็นอิสระสามารถเกิดพันธะไฮดรอกซิล บนโมเลกุลเพกทินหรือบนส่วนอื่นของโมเลกุลเพกทินได้นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยทำให้เกิดพันธะขึ้นระหว่างกลุ่มเมธิลเอสเทอร์ในโมเลกุลเพกทินอีกด้วย ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลในผลิตภัณฑ์แยมได้แก่ เวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน เนื่องจากถ้าใช้เวลาในการทำแยมนานจะทำให้โอกาส ในการที่น้ำตาลจะถูก hydrolyse มากขึ้นทำให้เกิดการแตกตัวเพิ่มขึ้น และในทางกลับกันในช่วงเวลาที่สั้น ก็ทำให้โอกาสที่จะถูก hydrolyseของน้ำตาลก็จะลดลง นอกจากนี้ความเข้มข้นของกรดก็ส่งผลต่อการเกิด hydrolyse ของน้ำตาลด้วย ทั้งนี้หากมีกรดเป็นองค์ประกอบของผลิตภัณฑ์ในปริมาณมาก น้ำตาลก็จะถูกhydrolyse มากขึ้นและเกิดขึ้นได้เร็วบางครั้งมีการเติมน้ำตาลชนิดอื่นลงไปด้วยเช่นการเติมน้ำเชื่อมกลูโคสในขั้นตอนการผลิต จุดประสงค์เพื่อลดการตกผลึกของซูโครส เพิ่มความวาว ป้องกันการแยกตัวของน้ำออกจากเจล และช่วยลดความหวานของผลิตภัณฑ์ไม่ให้หวานเกินไปอีกด้วย อย่างไรก็ตามการเติมน้ำตาลชนิดอื่นแทนน้ำตาลซูโครสอาจมีผลทำให้ลักษณะเจลและสภาวะการเกิดเจลเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น การใช้น้ำตาลมอลโทส ทำให้ระยะเวลาในการแข็งตัวของเจลเร็วขึ้น และเกิดเจลได้ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างที่กว้างขึ้น (Baker and others, 1996)

2.2.4 กรด

กรดที่ใช้ในการผลิตแยมโดยทั่วไปเป็นกรดอินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติในผลไม้ ผลไม้ที่มีกรดต่ำอาจจะต้องเติมกรดลงไปกรดที่นิยมใช้เติมในผลิตภัณฑ์คือ กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดแลคติก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กรณีผลไม้ที่มีปริมาณกรดตามธรรมชาติมากเกินไป ควรลดความเป็นกรดลงโดยการเติมเกลือที่มีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ เช่นแคลเซียมคาร์บอเนต โซเดียมซัลเฟต หรือโซเดียมซิเตรท การใช้บัฟเฟอร์เหล่านี้ต้องไม่ใช้ในปริมาณมากเกินไป เพราะจะมีผลต่อการเกิดเจลของเพกทิน และอาจทำลายกรดแอสคอร์บิคที่มีอยู่ (กิตติพงษ์, 2536) กรดจะเป็นตัวช่วยในการเกิดเจลของเพกทิน โดยในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่างสูง จะมีผลทำให้หมู่คาร์บอกซิลบนโมเลกุลของเพกทินแตกตัว ซึ่งจะทำให้โมเลกุลมีประจุและเกิดการผลักกันขึ้น ทำให้เกิดเจลไม่ได้ แต่ถ้ามีกรดจะทำให้ความเป็นกรด-ด่างลดลง ทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนและเกิดเจลได้ง่ายขึ้น ช่วยลดการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิลได้ (Baker and others, 1996)

2.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำแยม(กิตติพงษ์, 2536; Bhatia,1997)

2.3.1แยมไม่แข็งตัวอาจเกิดจากสาเหตุต่างๆดังต่อไปนี้

- การใช้เพกทินน้อยเกินไป หรือเพกทินในผลไม้หรือเพกทินที่เติมลงไปคุณภาพไม่ดี
- การละลายของเพกทินในผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์
- การให้ความร้อนเพกทินในสภาวะที่เป็นกรดนานเกินไปทำให้เพกทินสลายตัว
- การให้ความร้อนน้อยเกินไป ทำให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่ำเกินไป

2.3.2 แยมแข็งเกินไป

อาจเกิดจากการใช้เพกทินในปริมาณมากเกินไปหรือมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูงเกินไป หรืออาจเกิดจากการใช้น้ำตาลมากเกินไปหรือให้ความร้อนนานเกินไป

2.3.3 มีการแยกตัวของน้ำ จากเจลอาจเกิดจากสาเหตุต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ต่ำเกินไป ทำให้ร่างแหของเพกทินพยุงของเหลวไว้ได้ไม่หมด
- ค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำเกินไปทำให้เกิดการทำลายโครงสร้างของเจลโดยเกิดการ hydrolyse ของ เพกทิน
- มีปริมาณเพกทินน้อยเกินไป
- การละลายของเพกทินไม่สมบูรณ์
- มีการเคลื่อนไหวขณะเจลแข็งตัว
- ภายในผลไม้มีปริมาณน้ำเหลืออยู่มาก มักเกิดในแยมที่ใส่ผลไม้ชิ้นใหญ่ๆ
- การบรรจุที่อุณหภูมิต่ำเกินไปเจลอาจเกิดการแข็งตัวมีผลทำให้ premature gelation network ของเพกทินถูกทำลายในขณะที่ทาผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุ ทำให้ผลิตภัณฑ์อ่อนและแตก

2.3.4 แยมขุ่นไม่ใส อาจมีสาเหตุมาจาก

- การใช้เวลาในการกวนแยมนานเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์ข้นเหนียวมีฟองอากาศแทรกตัวอยู่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟองอากาศหนีออกไปไม่หมด ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ขุ่น

- การปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นก่อนบรรจุ

- การเทผลิตภัณฑ์ลงภาชนะบรรจุห่างเกินไปทำให้อากาศแทรกตัวเข้าไปในผลิตภัณฑ์ทำให้ไม่โปร่งใส

- การเกิด Premature gelation ถ้าผลิตภัณฑ์ที่มีเพกทินอยู่มากเกินไป ทำให้เกิด premature gelation ซึ่งจับกับอากาศทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขุ่น ไม่ใส

2.3.5 เกิดฟองอากาศในภาชนะบรรจุ อาจมีสาเหตุมาจาก

การบรรจุที่ไม่ถูกต้องเช่นเทใส่ภาชนะเร็วเกินไปหรือเทผลิตภัณฑ์ลงในภาชนะบรรจุห่างเกินไปหรือใช้เพกทินชนิดที่แข็งตัวเร็วเกินไป หรือ เกิดการหมักขึ้น

2.3.6 เนื้อผลไม้ในแยมกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ อาจลอยอยู่ด้านบนหรือจมอยู่ด้านล่าง

อาจมีสาเหตุมาจากการใช้เพกทินชนิดที่ไม่เหมาะสมกับผลไม้หรือ บรรจุที่อุณหภูมิสูงเกินไป

2.3.7 สีผิดปกติ อาจมีสาเหตุมาจาก

- การให้ความร้อนนานเกินไป น้ำตาลเกิดการ caramelization

-การบรรจุในภาชนะขนาดใหญ่ที่อุณหภูมิสูงเกินไปอุณหภูมิที่กึ่งภาชนะจะลดลงช้าทำให้มีสีคล้ำ

- การใช้วัตถุดิบคุณภาพไม่ดี เช่นมีการช้ำหรือสุกมากเกินไป

-การใช้วัตถุดิบมีการเปลี่ยนสีก่อน เนื่องจากการให้ความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ช้าเกินไป

-การใช้ใช้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้ผลไม้มีสีซีด

2.3.8 แยมมีกลิ่นผิดปกติ อาจมีสาเหตุมาจาก

มีการปนเปื้อนของสารเจือปนผลไม้ที่ใช้มีบัฟเฟอร์สูงทำให้ต้องใช้กรดในการปรับค่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีกลิ่นกรด

2.3.9เกิดการหมักและมีราขึ้นอาจมีสาเหตุมาจาก

มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์หรือผลิตภัณฑ์ผ่านการฆ่าเชื้อไม่เพียงพอรวมกับการมีปริมาณน้ำตาลต่ำเกินไปซึ่งอาจเกิดจากการปิดภาชนะไม่สนิททำให้แยมดูดความชื้นจากภายนอกหรือปิดภาชนะที่อุณหภูมิสูงเกินไปไอน้ำจะควบแน่นที่ฝา และหยดลงไปในแยม ทำให้ได้ส่วนที่อยู่ด้านบนมีความเข้มข้นต่ำ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4การแปรรูปโดยใช้ความดันสูง

การแปรรูปโดยใช้ความดันสูงในการแปรรูปหรือถนอมรักษาอาหารเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีศักยภาพในการรักษาคุณค่าทางโภชนาการและสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน ในการแปรรูปโดยใช้กระบวนการทางความดันสูงเพื่อที่จะสามารถนำวิธีการนี้มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและทำให้อาหารปลอดภัยต่อผู้บริโภคนั้น จะต้องใช้ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์หลายแขนงมาประกอบรวมกัน ทั้งทางด้านเคมี จุลินทรีย์และทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ (Leward and others, 1995)

เนื่องจากนิยามความดันว่าเป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่หน่วยของความดันจึงมีหลายหน่วยและแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเทศที่ใช้ เช่น ในแถบประเทศยุโรปและประเทศญี่ปุ่นใช้หน่วยของความดันเป็น kg/cm^2 ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้หน่วยของความดันเป็น psi จะเห็นได้ว่าหน่วยของความดันที่ใช้จึงอาจมีหลากหลายเนื่องจากเป็นค่าที่ได้จากเครื่องมือของประเทศที่ใช้ ดังนั้นจึงได้มีการระบุหน่วยของความดันในหน่วยเอสไอ (SI) คือ Pa การแปลงหน่วยของความดันทำได้ดังสมการ

1 psia = 0.068947 Bar = 0.06804 atm = 6.8947 kPa = 0.0703 kg/cm^2

ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์อาหารที่ผลิตและแปรรูปโดยกระบวนการนี้และประสบผลสำเร็จทางการค้าโดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตและจำหน่ายในตลาดในญี่ปุ่นและยุโรป ปัจจุบันได้แก่อาหารที่มีความเป็นกรด (acid food) เช่น แยม เยลลี่ ผลิตภัณฑ์จากเนื้อ แฮมแผ่น น้ำสลัด เค้กจากข้าว เครื่องดื่มน้ำผลไม้และโยเกิร์ต เป็นต้น ส่วนในตลาดในประเทศอเมริกา ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จากอะโวคาโด้ (guacamole) แยม น้ำผลไม้ และหอยนางรมสด เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.1หลักการของกระบวนการใช้ความดันสูง

ความดันเป็นตัวแปรที่สำคัญของปฏิกิริยาเทอร์โมไดนามิกส์ที่มีผลต่อโครงสร้างและกระบวนการทางชีวเคมีและความดันมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นไปตามกฎของ Le Chatalier ที่กล่าวไว้ว่า “ภายใต้สภาวะสมดุลเมื่อให้ความดันแก่ระบบจะทำให้ปริมาตรลดลงและในทางกลับกัน เมื่อลดความดันลงปริมาตร ก็จะเพิ่มขึ้น” นอกจากนั้น การที่ความดันเกิดขึ้นโดยทันทีและสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุด(isostatic) กระบวนการใช้ความดันสูงไม่ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และองค์ประกอบของอาหาร(Farkas and Hoover,2000) เป็นผลให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการแปรรูปอาหารลดลง (Zimmermann and Bergman, 1993)

2.4.2เครื่องมือและระบบที่ใช้ในกระบวนการให้ความดันสูงแก่อาหาร

เครื่องมือและระบบที่ใช้ในกระบวนการให้ความดันสูงแก่อาหารสามารถแบ่งตามหน้าที่การทำงานได้แก่ ตัวถังและฝาปิด ระบบที่ทำให้เกิดความดันสูง อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิ ในระบบและระบบลำเลียงซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมการแปรรูปอาหารด้วยความดันสูงก็อาจมีทั้ง ระบบกะหรือระบบต่อเนื่อง โดยทั่วไปตัวถังเครื่องจะทนความดันสูงขนาด 10-15 ลิตร และเครื่องผลิตความดันสูงเมื่อวางอาหารในภาชนะบรรจุลงในถังแล้วจะปิดฝาที่ด้านบนของเครื่อง ต่อจากนั้น จะเป็นการสูบตัวกลางในการให้ความดัน ซึ่งนิยมใช้น้ำเข้ามาทางใต้ถังความดันจะส่งผ่านตัวกลางอย่างรวดเร็วและสม่ำเสมอทั่วชิ้นอาหารเมื่อได้ความดันตามที่ต้องการแล้วระบบปั๊มจะหยุดวาล์วปิดและความดันจะคงที่โดยไม่จำเป็นต้องให้พลังงานแก่ระบบอีก

2.4.3ผลของความดันสูงต่อจุลินทรีย์และเอนไซม์ในอาหาร

ปัจจุบันการใช้ความร้อนเพื่อการฆ่าเชื้อเป็นสิ่งที่ทำกันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตามการใช้ความดันสูงก็มีผลในการฆ่าเชื้อเช่นกันโดยระดับของการฆ่าเชื้อขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ระดับของความดัน เวลาที่ให้ความดัน ชนิดของจุลินทรีย์ อุณหภูมิที่ใช้ และชนิดของอาหาร มีนักวิจัยหลายท่านที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับจลนพลศาสตร์และกลไกการทำลายเชื้อ *Escherichia Coli* และเชื้อ *Listeris spp.* (Prestamo, and others 1999 ; Tedford and others, 1998) มีการรายงานว่าการทำลายจุลินทรีย์ที่ความดันสูงคาดว่า จะเกิดการเลี่ยนแปลงคุณสมบัติการแทรกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์เอนไซม์และโปรตีนถูกทำลายผลดังกล่าวอาจไม่เป็นการทำลายอย่างสมบูรณ์อาจเป็นแค่เพียงการทำให้เกิดบาดแผลหรือความเสียหายเท่านั้นจลนพลศาสตร์ของการทำลายจุลินทรีย์ด้วยความดันสูงและความร้อนมีความแตกต่างกันมาก กล่าวคือมีจุลินทรีย์จำนวนหนึ่งที่ทนทานต่อความดันสูง ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาวิจัยอย่างละเอียดเพิ่มขึ้นหากมีความต้องการใช้ความร้อนในการฆ่าเชื้ออาหารชนิดอื่นๆอีก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ที่ความดันสูงระดับมากกว่า 100 เมกกะปาสคาล สามารถยับยั้งจุลินทรีย์ แต่ทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงโดยไม่ก่อให้เกิดการเสื่อมสลาย นอกจากนี้ความดันสูงยังสามารถรักษา กลิ่น รสของผลิตภัณฑ์ได้ ซึ่งการใช้ความดันที่ความดันในระดับสูงกว่า 600 เมกกะปาสคาล ร่วมกับการเพิ่มอุณหภูมิ และเปรียบเทียบกับการใช้ความร้อน พบว่าการใช้ความดัน ไม่ทำให้เกิดการสูญเสียของ สารที่มีประโยชน์ เช่น วิตามิน สารต้านอนุมูลอิสระ ในแครอท มะเขือเทศ และบร็อคโคลี แต่ความดันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นผลเนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี เช่น การสลายตัวของน้ำตาลกลูโคสลดลง ปริมาณความชื้นที่คงที่(Butz, and others; 2002)

ที่ความดันสูงระดับ 300 เมกกะปาสคาล ที่ 25 และ 40 องศาเซลเซียส สามารถลดจุลินทรีย์ในหัวหอมได้ แต่ไม่สามารถยับยั้งเอนไซม์ที่ไม่ต้องการ กลิ่นของหัวหอมสดจะเปลี่ยนแปลงไปคล้ายกับกลิ่นหัวหอมทอด เมื่อได้รับความดันที่ระดับ 30 นาที 40 องศาเซลเซียส นอกจากนี้จะเกิดการทำลายโครงสร้างของเซลล์เยื่อหุ้มเซลล์จุลินทรีย์และกระตุ้นการปล่อยเอนไซม์ซึ่งมีผลต่อกลิ่น รส และความคงตัวของผลิตภัณฑ์ เมื่อหัวหอมได้รับความดันที่มากกว่า 100 เมกกะปาสคาล อย่างไรก็ตามกิจกรรมของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (PPO) ในหัวหอมยังคงดำเนินต่อไปแม้จะใช้ความร้อนสูงถึง 700 เมกกะปาสคาล ก็ตาม (Butz and others; 1994)

ในการศึกษาผลของความดันสูงต่อจุลินทรีย์ สี ปริมาณกรดแอสคอร์บิค และกิจกรรมของเอนไซม์ peroxidase ในถั่วเขียว โดยเปรียบเทียบกับการถนอมอาหารแบบดั้งเดิม พบว่าไม่มีการเพิ่มของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ความดันสูงยังคงช่วยรักษาความแข็งของเนื้อถั่ว และสามารถรักษาปริมาณกรดแอสคอร์บิคหลังจากการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เป็นเวลา 1 เดือน (Krebbers and others, 2002)

ความดันสูงมีผลต่อความสม่ำเสมอ ความหนืด สี ปริมาณไลโคปีน (lycopene) กิจกรรมของเอนไซม์ และปริมาณจุลินทรีย์ ในซุปมะเขือเทศ จากการเปรียบเทียบวิธีการพาสเจอร์ไรซ์กับสเตอริไลซ์ พบว่าที่ความดัน700 เมกกะปาสคาล 20 องศาเซลเซียส ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีและความหนืดได้เหมือนกับการพาสเจอร์ไรซ์ทั้งนี้ยังสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ให้มีปริมาณน้อยกว่า และเพื่อทำให้ช่วงความหนืดของซุปเพิ่มมากขึ้นในระหว่างการรักษาที่อุณหภูมิแช่เย็น และในช่วงการเก็บรักษาสามารถยับยั้งเอนไซม์polygalacturonaseได้70% แต่ความดันจะทำให้เอนไซม์ pectin methylesterase เพิ่มขึ้น (Krebbers and others, 2003)ในขณะที่การใช้ความดันสูงร่วมกับการใช้ความดันสูงจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคงที่โดยใช้ความดัน 700 เมกกะปาสคาล 30 นาที 90 องศาเซลเซียส ทั้งยัง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สามารถลดระดับการปนเปื้อนของ *B.Stearothermophilus* สปอร์ในซุปมะเขือเทศได้ต่ำสุด 4.5 log CFU/mL เอนไซม์ polygalacturonase และ เอนไซม์ pectin methylesterase ถูกยับยั้งได้มากกว่า 99% ยังผลให้ซุปมีความหนืดลดลง สีของผลิตภัณฑ์สวย และมีปริมาณ lycopene คงอยู่ในปริมาณที่สูง ในขณะที่การใช้ความร้อนทำให้ lycopene ถูกทำลายลงไปถึง 40 %

การใช้ความดันสูงในการลวกเห็ด เพื่อยับยั้งเอนไซม์ polyphenol oxidase ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาลในเห็ด โดยที่ความดันที่ระดับต่างกันจะส่งผลต่อเอนไซม์ polyphenol oxidase ต่างกัน ที่ความดัน จะทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ polyphenol oxidase ในขณะที่ความดัน จะสามารถยังยั้งเอนไซม์ได้ นอกจากนี้ยังมีการค้นพบว่าเห็ดที่เก็บไว้ในบรรยากาศแบบสุญญากาศ ก่อนนำมาผ่านกระบวนการความดันสูง จะทำให้สีของเห็ดที่ลวกได้ใกล้เคียงกับ การลวกแบบธรรมดา (Matser and others, 2000)

2.4.4ผลของความดันสูงในการแปรรูปเครื่องดื่มน้ำผลไม้

ความใช้ความดันสูงที่ระดับความดัน 800 เมกกะปาสคาล 44 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 นาที ในน้ำส้ม แอปเปิ้ล ลูกพีช น้ำผลไม้รวม แครอท มะเขือเทศ สตรอเบอรี่ และราสเบอรี่ ไม่มีผลต่อสารป้องกันการก่อการกลายพันธุ์(anti-mutagenic) , สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (anti-oxidative) ปริมาณน้ำตาล ปริมาณกรดแอสคอร์บิคและคาโรทีนอยด์ได้แต่ความดันไม่สามารถยับยั้งการสูญเสียของปริมาณน้ำตาลระหว่างการเก็บรักษาราสเบอรี่ได้ (Butz and others, 2003) นอกจากนี้ความดันสูงที่ระดับ 200 เมกกะปาสคาล ที่ 25 องศาเซลเซียส 5 นาที สามารถยับยั้งการเจริญของ *E.coli, Penicillium spp., Saccharomyces cerevisiae, Listeria plantarum* และ *Listeria mesenteroides* ได้ (Tahiri and others, 2006) ในน้ำส้ม แอปเปิ้ล แอปปริคอท และน้ำ เชอรี่ ที่ผ่านกระบวนการความดันสูงที่ระดับความดัน 350 เมกกะปาสคาล 5 นาที 40 องศาเซลเซียส สามารถทำลายเชื้อ *Staphylococcus aureus 485, E.coli 0157:H7 933* (Bayindirli and others, 2006) ที่ความดันระดับ 500 เมกกะปาสคาล 10 นาที สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำผักผลไม้สดปราศจากโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ยีสต์ รา และ *Salmonella* ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา 30 วัน ทั้งนี้ยังสามารถลดปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดได้มากกว่า 5 log CFU/mL (Houska and others, 2005)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.5ผลของความดันสูงในการผลิตแยม

ปัจจุบันได้มีการนำเอาผลไม้หลายชนิดมาแปรรูปเป็นแยมโดยใช้เทคโนโลยีความดันสูง เช่น การทำแยมสตรอเบอรี่ที่ผลิตภายใต้ความดัน 294 เมกกะปาสคาล เป็นเวลา 20 นาที ทำให้ได้แยมที่มีรสชาติเหมือนของสด ทั้งยังมีปริมาณวิตามินซีเหลืออยู่ถึงร้อยละ 95 เมื่อเทียบกับของสด (Horie and others, 1991) ลักษณะเนื้อสัมผัสและสีของแยมสตอเบอรี่ที่ผ่านการใช้ความดัน 400 เมกกะปาสคาล อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที สามารถเก็บไว้ได้นาน 8 สัปดาห์ กว่าที่สีและเนื้อสัมผัสของสตรอเบอรี่จะเปลี่ยนไปจากลักษณะของสตรอเบอรี่สด (Dervisi and others, 2001) อย่างไรก็ตามแยมที่ผลิตด้วยเทคโนโลยีความดันสูงนี้ ถึงแม้จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะทางเนื้อสัมผัสและสี กลิ่นรสชาติ คล้ายของสดแต่แยมที่ผ่านกระบวนการการใช้ความดันสูงไม่สามารถเก็บไว้ได้ ที่อุณหภูมิห้องได้ ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาของเอนไซม์และออกซิเจนทำให้คุณภาพของแยมเสื่อมลงจะต้องเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ 4 องศาเซลเซียส และสามารถเก็บไว้ได้นานถึง 3 เดือนโดยมีการสูญเสียคุณค่าทางอาหารและลักษณะประสาทสัมผัสน้อยมาก (Kimura and others, 1994)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved