บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารก่อเจล (Gelling agent)

สารก่อเจล เป็นสารไฮโดรคอลลอยด์ที่สามารถจับกับน้ำได้ โดยเมื่อนำมาละลายหรือ กระจายตัวอยู่ในน้ำร้อนจะให้สารละลายที่มีความหนืดสูงหรือให้เนื้อสัมผัสกลายเป็นเจลเมื่อทิ้งไว้ให้เย็น ทางด้านอุตสาหกรรมอาหารมีการนำสารก่อเจลชนิดต่างๆ มาใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่น ความข้นหนืด และความคงตัวในผลิตภัณฑ์อาหาร ทางอุตสาหกรรมยามีการนำเจลาตินไปผลิตเป็นแคปซูลยา นอกจากนี้ยังมีการใช้วุ้น หรือ อะกาโรสไปใช้งานด้านปฏิบัติการเคมีและจุลินทรีย์ สารก่อเจลส่วนใหญ่เป็นสารไบโอพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติมีทั้งสารในกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น วุ้น หรือสารในกลุ่มโปรตีน เช่น เจลาติน (Karim and Rajeev, 2009)

เพกทิน (Pectin) เป็นพอลิเมอร์ที่พืชสร้างขึ้นซึ่งเป็นสารกลุ่มพอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharide) เช่นเดียวกับแป้ง และเซลลูโลส ประกอบ ด้วยกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid) เป็นหลัก เชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1,4 ไกลโคซิดิก (α-1,4 glycosidic) พบได้ทั่วไปในผนังเซลล์ของพืช ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าเพกทินจากต่างประเทศ เพื่อใช้เป็นสารทำให้เกิดเจล (Gelling agent) ทำให้เกิดความหนืด (Thickener) ทำให้เกิดความคงตัว (Stabilizer) ใช้เป็นสารก่อเกิดอิมัลชัน (Emulsifier) เป็นตัวเชื่อมประสาน (Adhesives) ป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion inhibitor) และพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) ในอุตสาหกรรมอาหาร ยา เครื่องสำอาง ใช้ในการผลิตอาหารประเภทเจล แยม เจลลี่ และอาหารเสริมประเภทต่างๆ รวมถึงผลิตแผ่นฟิล์มที่กินได้และย่อยสลายได้ (Edible and biodegradable film) (Geo and et al., 2014; Grassino and et al., 2016; Espitia and et al., 2014) ตามข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (Food and Drugs Administration: FDA) ระบุว่าเพกตินต้องประกอบด้วยปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกอย่างน้อยร้อยละ 65 (Notification of the Ministry of Public Health, 2021) โดยประเทศไทยมีการนำเข้าเพกทินปริมาณเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ในปี พ.ศ. 2563 ประเทศไทยนำเข้าเพกทิน 1,914,608 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 735,889,922 บาท (Thai Customs, 2021) ซึ่งเพกทินที่นำเข้ามานั้นมีราคาค่อนข้างแพงและไม่แบ่งขายในปริมาณน้อย ๆ โดยเพกทินทางการค้าส่วนใหญ่นั้นจะผลิตจากผลไม้ตระกูลส้มและกากของแอปเปิ้ล เพื่อให้สามารถผลิตเพกทินใช้เองได้ในประเทศ และลดต้นทุนในการผลิต จึงมีการศึกษาการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เปลือกผลมะพร้าว เปลือกทุเรียน เปลือกผลไม้ตระกูลส้ม กากแครอท เป็นต้น (Jafari and et al., 2016.; Colodel and et al. 2018; Baothong, 2019; Suwannarat and et al.. 2019

เพกทินมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อละลายน้ำจะพองตัวเป็นเจลทำหน้าที่เป็นสารก่อสภาพเจล (Gelling agent) สารเพิ่มความเข้มข้นของของเหลว (Thickness) และสารให้ความคงตัว (Stabilizer) ในผลิตภัณฑ์อาหารหลายประเภท โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม และยา เพื่อทำให้กระบวนการผลิตสะดวกขึ้น และช่วยปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น เช่น อุตสาหกรรมการผลิตแยม เยลลี่ ใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดความเสถียรในผลิตภัณฑ์นมและโยเกิร์ต ใช้เป็นสารข้นหนืดของซอส เครื่องปรุง น้ำเชื่อมเข้มข้น น้ำสลัด และเครื่องดื่ม เป็นต้น ใช้ผลิตเป็นอาหารเด็ก เพราะเพกทินช่วยลดการระคายเคือง นอกจากเพกทินใช้เป็นสารผสมอาหารโดยตรงแล้วยังนำมาเป็นเส้นใยในรูปของอาหารเสริมสุขภาพ เช่น ช่วยลดคลอเลสเตอรอลและระดับน้ำตาลในเลือด และป้องกันโรคระบบทางเดินอาหาร เป็นต้น (ชินานาฏ วิทยาประการ และสมัชญ์ ทวีเกษมสมบัติ, 2559) จึงนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง

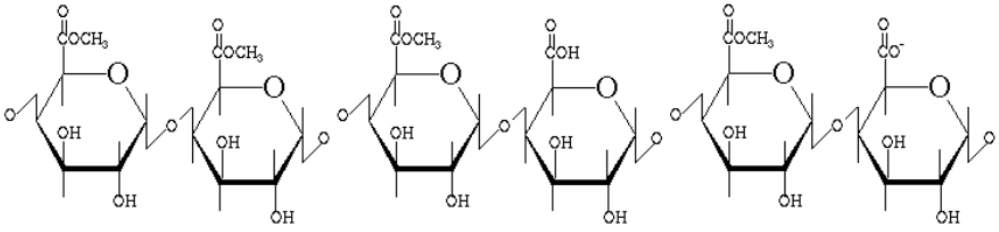
การแบ่งชนิดเพกทินตามลักษณะโครงสร้าง

สามารถแบ่งชนิดของเพกทินตามโครงสร้างได้ 3 ชนิด ได้แก่ (องอาจ เด็ดดวง, 2553)

1.เพกทินที่ละลายน้ำได้ จะมีโครงสร้างเป็นกรดกาแลกทูโรนิกที่มีหมู่เมทอกซิลอยู่ในโครงสร้าง (-$COOCH_3$) ดังภาพที่ 2.1 สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามปริมาณเมทอกซิลที่เป็นองค์ประกอบ คือ

ก. High Methoxyl Pectins (HMP) เป็นเพกทินที่มีปริมาณเมทอกซิลตั้งแต่ร้อยละ 8.16 ขึ้นไป เพกทินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้ในสภาวะที่มีน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสม โดยใช้น้ำตาลในการเกิดเจลประมาณร้อยละ 60 – 65

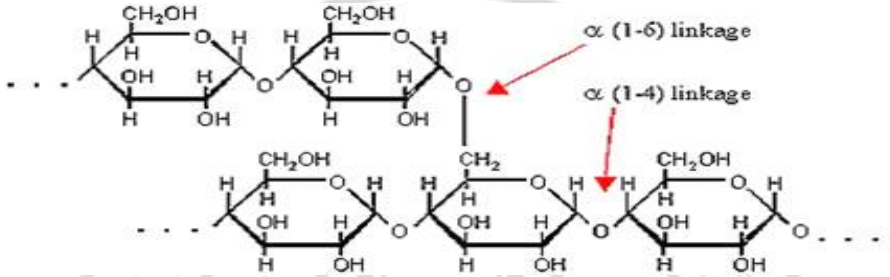
ข.Low Methoxyl Pectins (LMP) เป็นเพกทินที่มีปริมาณเมทอกซิลน้อยกว่าร้อยละ 8.16 เพกทินชนิดนี้เกิดเจลได้เมื่อมีไอออนของโลหะอยู่ด้วย เช่น แคลเซียมไอออน และแมกนีเซียมไอออน



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเพกทินที่มีกรดกาแลกทูโรนิกเป็นองค์ประกอบหลัก

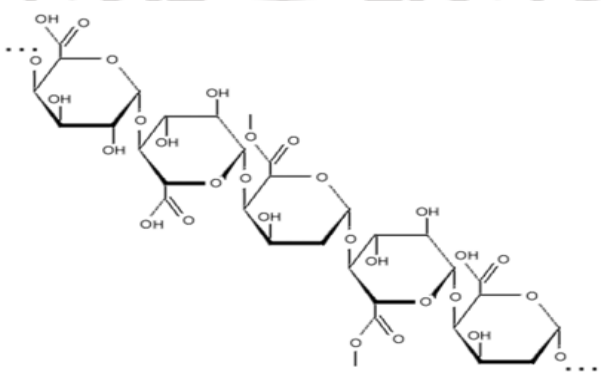
ที่มา : Kertesz, 1951

2. เพกทินที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เป็นเพกทินที่มีหมู่แคลเซียม หรือแมกนีเซียม ดังภาพที่ 2.2 เมื่อนำไปทำปฏิกิริยากับกรด จะสามารถละลายน้ำได้ เนื่องจากไฮโดรเจนจากกรดจะเข้าไปแทนที่แคลเซียมหรือแมกนีเซียม ทำให้เกิดเป็นกรดเพคทินิกที่สามารถละลายน้ำได้ หรือใช้เอนไซม์ทำให้เป็นกรดเพคทินิก เรียกเพกทินชนิดนี้ว่า โปรโตเพกทิน (Protopectin)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของเพกทินชนิดที่ไม่สามารถละลายน้ำได้
ที่มา : Ridley et al. 2001

3. เพกทินที่มีสูตรโครงสร้างเป็นกรดกาแลคทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทอกซิลในโครงสร้าง ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิกที่เชื่อมต่อกันอย่างเดียว เพกทินชนิดนี้จะไม่สามารถเกิดเจลได้ทุกสภาวะ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของเพกทินที่ไม่สามารถเกิดเจลได้
ที่มา : Mukhiddinov et al., 2000

มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การแบ่งเพกทินตามการเกิดเอสเทอร์ริไฟด์

เพกทินแต่ละชนิดมีหมู่เมทอกซิลของกรดกาแลคทูโรนิก ที่ถูกเอสเทอริไฟด์ (Esterified) ด้วยหมู่เมททิลได้ต่างกัน อัตราส่วนของหมู่เมททิลที่ถูกเอสเทอริไฟด์จะแสดงในระดับของการเกิดเอสเทอริฟิเคชัน (Degree of esterification ; DE) ซึ่งปริมาณการถูกเอสเทอริไฟด์ของหมู่กาแลคทูโรนิกใน

โมเลกุลของเพกทินนั้นเกิดขึ้นได้หลายระดับ ตัวอย่าง เช่น เพกทินที่มีค่า DE ร้อยละ 50 คือ เพกทินที่มีหมู่เมททิลในโมเลกุลของกาแลคทูโรนิคที่เป็น โครงสร้างร้อยละ 50 ของจำนวนทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่าแม้ว่าเพกทินที่มีค่า DE เท่ากันแต่อาจมีการจัดเรียงตัวแตกต่างกันได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการสกัด วิธี และเวลาในการเอสเทอริไฟด์ ชนิดของพืช และตำแหน่งของเซลล์ที่นำมาสกัดจะทำให้เพกทินที่ได้มีคุณสมบัติต่างกัน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) สามารถแบ่งเพกทินตามการเกิดเอสเทอร์ริไฟด์ ได้ดังนี้

1. โปรโตเพกทิน เป็นสารประกอบเพกทินที่ไม่ละลายน้ำ และพบมากในผลไม้ดิบ ในโมเลกุลของโปรโตเพกทินมีหมู่เมทอกซิลอยู่ประมาณร้อยละ 9-12 หากเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชั่นอย่างสมบูรณ์จะมีหมู่เมทอกซิลอยู่ในโมเลกุลของโปรโตเพกทินประมาณร้อยละ 16 จัดว่ามีดีกรีออฟเอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นร้อยละ 100 แต่จะไม่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ระหว่างกระบวนการสุกของผลไม้โปรโตเพกทินจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์หรืออาจใช้ด่างจะทำให้หมู่เมททิลถูกแยกออกไปบางส่วน ได้เป็นหมู่คาร์บอกซิลอิสระ เรียกว่า กรดเพกทินิก (Pectinic acid) เป็นสารประกอบเพกทินที่ละลายได้ในน้ำ

2. กรดเพคตินิก เป็นสารประกอบเพกทินหรือพอลิเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิกที่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์เหลืออยู่บางส่วน และเมื่อถูกไฮโดรไลซ์เอาหมู่เมทิลออกจนหมดจะได้เป็นกรดเพคติก (Pectic acid)

3. กรดเพกทิน เป็นสารประกอบเพกติกหรือพอลิเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์อยู่ในโมเลกุลเลย

สมบัติทางเคมีของเพกทิน

1. การเกิดเจลของเพกทินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง ในการเกิดเจลของเพกทินได้ต้องมีปริมาณน้ำตาล และกรดที่เหมาะสมเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากสายเพกทินจะถูกดึงน้ำออกมีผลทำให้เพกทินมีประจุลบ จึงทำให้ลดแรงระหว่างสายโซ่ ความเป็นกรด - ด่างที่เหมาะสมในการเกิดเจลของเพกทินชนิดที่เกิดเจลได้ช้า และเร็วนั้น คือ 3.2 และ 3.4 ตามลำดับที่ ความเป็นกรด - ด่างต่ำค่าความแข็งของเจลจะเพิ่มมากขึ้น และอุณหภูมิในการเกิดเจลก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย (May, 1997)

สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลนั้นมีหลายปัจจัยที่ระดับ ความเข้มข้นของน้ำตาลสูง ๆ พบว่า ความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำตาลจะมีผลต่ออัตราการเกิดเจล โดยพบว่าหากใช้กลูโคสไซรัป ทดแทนน้ำตาลจะมีผลทำให้ความแข็งของเจลลดลง แต่ต้องใช้อุณหภูมิในการเกิดเจลเพิ่มมากขึ้น ในการใช้น้ำตาลฟรุกโตสทดแทนน้ำตาลจะมีผลต่อความแข็งของเจลน้อย แต่จะมีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิในการเกิดเจล น้ำตาลจะช่วยลดการละลายของเพกทินให้น้อยลง และมีกรดในปริมาณที่เหมาะสม โดยไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากกรดจะช่วยลดจำนวนประจุลบของหมู่คาร์บอกซิลให้น้อยลง ทำให้ลดการผลักกันระหว่างประจุลบที่หมู่คาร์บอกซิล ทำให้สายของ

เพกทินโมเลกุลเข้ามาใกล้กันได้ และเกาะตัวกันเป็นตาข่าย ความยาวของสายพอลิเมอร์และดีกรีออฟเอสเทอร์ริฟิเคชัน เพกทินที่เกิดเจลดีที่สุด คือ เพกทินที่มีหมู่เมทอกซิลในโมเลกุลประมาณร้อยละ 8 คือ มีดีกรีออฟเอสเทอร์ริฟิเคชันประมาณร้อยละ 50

การเกิดเจลของเพกทินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ความเป็นกรด- ด่าง ปริมาณน้ำตาล ปริมาณของเพกทิน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเกิดเจล และค่าความแข็งของเจลที่ต้องการ ในการเตรียมเจลมาตรฐานต้องประกอบด้วยความเป็นกรด-ด่าง 3.0 ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 30 โดยให้มีเพกทินร้อยละ 1 และสารประกอบแคลเซียม โดยเพกทินชนิดนี้จะไม่สามารถเกิดเจลได้หากมีปริมาณแคลเซียมไม่เพียงพอ แต่ถ้าหากเพิ่มปริมาณของแคลเซียมค่าความแข็งของเจลก็จะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะลดลง อุณหภูมิในการเกิดเจลก็จะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิปกติ และจุดเดือดจะเพิ่มมากขึ้นตามความแข็งของเจลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณเพกทินที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณเพกทินในเนื้อเยื่อพืชบางชนิด

ชนิดของพืช	ปริมาณเพกทิน
มันฝรั่ง	2.3
มะเขือเมศ	3.0
แอปเปิ้ล	5 – 7
แครอท	7 – 10
เทอร์นิพ	10
กากแอปเปิ้ลที่เหลือจากการคั้นน้ำ (Apple pomace)	15 – 18
หัวบีท	25 – 30
เปลือกส้ม	30 – 40
เลม่อน	30 – 35
เกรพฟรุต	1.6 – 4.5

ที่มา : นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

การลดลงของค่า a_W เนื่องจากการละลายของน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นจะสามารถเกิดเจลได้ง่าย แม้ว่าจะมี Ca^{2+} ต่ำ และเป็นเพกทินที่ไม่ไวต่อ Ca^{2+} หากต้องการใช้น้ำตาลเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 60 ก็จะต้องใช้ Ca^{2+} เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของน้ำตาลที่เพิ่มมากขึ้น

การละลาย เพกทินเป็นสารที่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ หรือของเหลวผสมระหว่างน้ำกับตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง ๆ แต่ละลายในน้ำได้ เมทิลซัลฟอกไซด์ ฟอร์มาไมด์ และกลีเซอรอลอุ่น การละลายของเพกทินจะลดลงเมื่อ ดีกรีออฟโพลีเมอร์ไรเซชัน (Degree of polymerization) เพิ่มขึ้น

การกระจายตัวในน้ำ เมื่อผสมเพกทินกับน้ำ เพกทินที่อยู่บริเวณรอบนอกจะดูดซับน้ำ เกิดการพองตัวข้นเหนียวคล้ายเจลหุ้มผงเพกทินแห้งบริเวณแกนกลางไว้ ทำให้เพกทินที่อยู่แกนกลางไม่เปียกน้ำ การทำให้เพกทินละลายเป็นสารละลายใสจะต้องปั่นผสมด้วยเครื่องปั่นผสมความเร็วสูง

คุณสมบัติด้านประจุ เนื่องจากโครงสร้างของเพกทินเป็นกรดโพลีคาร์บอกซิลิก ดังนั้นที่ค่าความเป็นกรด–ด่าง เป็นกลางประจุของเพกทินจะมีประจุเป็นลบ ส่วนที่พีเอชเป็นกรดประจุจะเป็นศูนย์ การที่เพกทินมีประจุลบจึงทำให้เพกทินสามารถทำปฏิกิริยากับโพลีเมอร์ที่มีประจุบวก เช่น โปรตีนที่สภาวะกรด – ด่าง ต่ำกว่า

สมบัติทางกายภาพของเพกทิน

1. สมบัติการละลายของเพกทิน เพกทินสามารถละลายในน้ำเย็น และทำให้เกิดความข้นหนืดได้ แต่ผงเพกทินจับกันเป็นก้อนได้ง่าย มีผลทำให้ละลายได้ช้าและยาก เพกทินจะสามารถละลายได้ดีในน้ำอุ่น หรือน้ำที่มีอุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส แล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วจากต่ำไปหาสูงสุด ต้องระวังไม่ให้เพกทินจับกันเป็นก้อนเพราะจะทำให้ละลายได้ยาก อีกวิธีที่ละลายเพกทินได้ดีนั้นจะต้องผสมเพกทินกับน้ำตาลโดยอัตราส่วนเพกทิน 1 ส่วนกับน้ำตาล 5 ส่วน หรือกับสารละลายอื่น ๆ เช่น สารละลายน้ำตาล ความเข้มข้นร้อยละ 65 หรือแอลกอฮอล์ เพื่อทำให้เพกทินเปียก ถ้าไม่ได้ผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง ให้ต้มประมาณ 1 นาที เพื่อให้มั่นใจได้ว่าเกิดการละลายได้หมด

2. ความหนืดของเพกทิน ความเข้มข้นของเพกทินนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณแคลเซียม ปริมาณความเป็นกรด–ด่าง ชนิดของเพกทิน และขนาดของมวลโมเลกุล โดยปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของสารละลายเพกทิน

2.1 น้ำหนักโมเลกุลของเพกทิน เพกทินที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความหนืดสูง

2.2 Degree of methoxylation เพกทินที่มีหมู่เมทอกซิลมาก เรียกว่า High Methoxyl Pectin จะมี ดีกรีออฟเอสเทอร์ริฟิเคชันมากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป ซึ่งจะให้สารละลายที่มีความหนืดสูง

2.3 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ การเติมแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) หรืออะลูมิเนียมไอออน (Al^{3+}) จะทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกับเพกทินชนิด Low Methoxyl Pectin

2.4 กรด-ด่าง ที่ให้ความหนืดสูงสุดขึ้นอยู่กับกับดีกรีออฟเอสเทอร์ริฟิเคชัน การเกิดเจลของเพกทินจะได้เป็นเจลที่มีความคงตัวดี จึงนำมาใช้ประโยชน์ในการเติมลงไปในแยม

เจลลี่ และมาร์มาเลด การแบ่งเกรดของเพกทินอาจพิจารณาจากปริมาณน้ำตาลที่ใช้ในการทำให้เกิดเจล ต่อ 1 ส่วน ของเพกทิน เช่น high sugar pectin acid gel จะเกิดเจลที่มีค่าพีเอช 3.2 – 3.5 ใช้น้ำตาลร้อยละ 65 – 70 และใช้เพกทินร้อยละ 0.2 – 1.5 (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545)

ปัจจัยที่บ่งชี้คุณภาพของเพกทิน

การหาปริมาณเพกทินที่มีอยู่ในพืชเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะบอกได้ว่าพืชชนิดนั้นสามารถที่จะนำมาใช้เพื่อเป็นแหล่งของเพกทินในระดับอุตสาหกรรมได้ ต้องวิเคราะห์คุณภาพของเพกทินที่สกัดได้ควบคู่กันไปด้วย (Thakur et al., 1997) ดังนี้

1. ระดับการเกิดเอสเทอร์ (Degree of esterification, DE) เป็นค่าร้อยละของกรดกาแลคทูโรนิกที่ถูกเอสเทอริไฟด์โดยหมู่เมทิลต่อจำนวนกรดกาแลคทูโรนิกทั้งหมด เมื่อหมู่คาร์บอกซิลถูกเอสเทอริไฟด์โดยหมู่เมทิลจะเกิดหมู่เมทอกซิลในโครงสร้างของเพกทิน ค่า DE จึงสัมพันธ์กับปริมาณเมทอกซิลที่มีอยู่ในเพกทิน ค่า DE ตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไปหรือมีปริมาณเมทอกซิลตั้งแต่ร้อยละ 8.16 ขึ้นไป จัดเป็นเพกทินชนิด HMP ส่วนค่า DE ต่ำกว่าร้อยละ 50 หรือมีปริมาณเมทอกซิลต่ำกว่าร้อยละ 8.16 จัดเป็นเพกทินชนิด LMP เพกทินชนิด LMP จะมีเนื้อสัมผัสที่อ่อนนุ่มกว่าจึงสามารถทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อผิวที่ดีขึ้นใช้เติมลงในโยเกิร์ต นมรสช็อกโกแลต ส่วนเพกทินชนิด HMP จะมีความคงตัว ความหนืดสูงทำให้เกิด รูปทรง จึงเติมในอาหารจำพวกแยม เยลลี่ ผลไม้กวน

2. ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก เพกทินที่สกัดได้จะมีความบริสุทธิ์ขึ้นอยู่กับปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก ซึ่งหาได้จากการนำเพกทินไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริก เพื่อให้ไฮโดรเจนไอออนเข้าแทนที่หมู่เมทิลกับไอออนของโลหะ ทำให้ได้กรดกาแลคทูโรนิกที่มีแต่หมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบทั้งหมด แล้วไปทำปฏิกิริยากับสารละลายคาร์บาซอลจะได้สารละลายสีม่วง จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อหาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกในเพกทิน

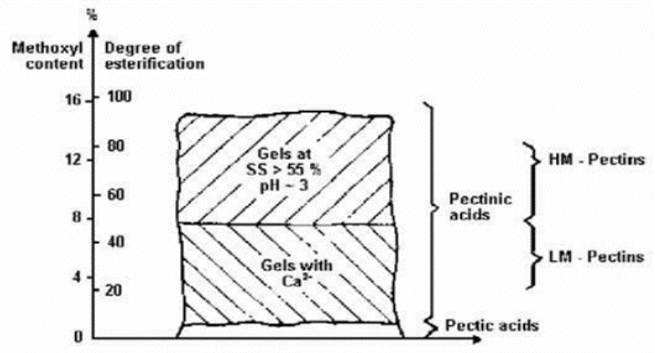
3. ปริมาณน้ำหนักสมมูลย์ (Equivalent weight, Eq.Wt.) ปริมาณน้ำหนักสมมูลย์หมายถึง จำนวนกรัมของกรดโพลีการแลคทูโรนิกบริสุทธิ์ ขึ้นอยู่กับระดับการเกิดเอสเทอร์ ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนกลุ่มของคาร์บอกซิลอิสระ 1 กรัมโมล ที่สมมูลย์กับไฮดรอกซี 1 กรัมโมล หาได้โดยวิธีการไตเตรทด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Ranganna, 1977)

4. ปริมาณเมทอกซิล (Methoxyl content) ปริมาณเมทอกซิล หมายถึง จำนวนของกลุ่มเมทอกซิลที่อยู่ในโมเลกุลของเพกทิน ปริมาณเมทอกซิลนี้มีความหมายคล้ายกับระดับการเกิดเอสเทอร์ และเป็นตัวแปรสำคัญในการควบคุมเวลาในการเกิดเจลของเพกทินโดยหาได้โดยการทำปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่น (Saponification) ของเพกทิน และทำการไตเตรทเพื่อหากลุ่มคาร์บอกซิลอิสระ ที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

5. ปริมาณหมู่อะซิติล (Acetyl content) Ranganna (1977) รายงานว่าพืชบางชนิด เช่น หัวบีท และดอกทานตะวัน อาจมีกลุ่มอะซิทิล (Acethyl group) ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดเจลของเพกทินลดลง Kertesz (1951) พบว่า กลุ่มอะซิทิลส่วนมากอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 โดยมาเกาะแทนที่กลุ่มไฮดรอกซิล ปริมาณอะซิทิลในเพกทินที่ได้จากพืชชนิดต่าง ๆ ที่มีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไป ซึ่งหาโดยการทำปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชั่นของเพกทิน และนำมาทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมซัลเฟต และกรดซัลฟูริก หลังจากนั้นไตเตรทกลุ่มอะซิทิลอิสระที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

6. ปริมาณกรดแอนไฮโดรลูนิก (Anhydrouronic acid; A.U.A) เป็นค่าที่บอกความบริสุทธิ์ของเพกทิน เนื่องจากองค์ประกอบสำคัญของเพกทิน คือ เอสเทอร์ริไฟด์กรดโพลีกาแลกทูโรนิก (Esterified polygalacturonic acid) นอกจากนี้โครงสร้างเพกทินอาจมีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น อะราบิโนส (Arabinose) กาแลกโทส (Galactose) หรือน้ำตาลตัวอื่น ๆ อยู่ด้วย ดังนั้นถ้าเพกทินมีสารเหล่านี้อยู่มากจะมีปริมาณกรดแอนไฮโดรลูนิก ซึ่งสามารถหาได้โดยวิธีเอสเทอร์ริฟิเคชันเพกทินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับ คาร์บอซอล หลังจากนั้นวัดความเข้มของสีที่เกิดขึ้นโดยวัดการ ดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐาน Kintner และ Van Buren. (1982). กล่าวว่า การวิเคราะห์หาแอนไฮโดรลูนิก โดยใช้คาร์บอซอลจะให้ค่าที่สูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากคาร์บอซอลไม่ทำปฏิกิริยาเฉพาะกับ กรดแอนไฮโดรลูนิก มากกว่าคาร์บอซอลและไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์โบไฮเดรตตัวอื่น

7. เจลลี่เกรด (Jelly grade) เป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของเพกทินในการเกิดเจล ประเมินได้จากการนำเพกทินที่สกัดได้มาเตรียมเป็นเยลลี่ในสภาวะที่มาตรฐานกำหนดโดยใช้เพกทินในปริมาณต่าง ๆ กันแล้วนำเยลลี่ดังกล่าวมาเปรียบเทียบความแข็งกับเยลลี่มาตรฐานที่เตรียมได้ในภาวะมาตรฐานกำหนดแล้วประเมินเป็นค่าเจลลี่เกรด แสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า DE กับปริมาณเมทอกซิล
ที่มา : Mukhiddinov et al, 2000

การนำเพกทินไปใช้ประโยชน์ (ธานุวัฒน์ ลาภตันศุภผล และคณะ, 2556)

เพกทินนิยมนำมาใช้ในอาหารประเภทแยม เยลลี่ เบอร์เกอรรี่ เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อคล้ายเยลลี่ เช่น

1. ทำให้เกิดเจล (Gelling agent) เพกทินมีสมบัติพิเศษคือ เมื่อรวมตัวกับน้ำตาลและกรด ในปริมาณที่เหมาะสม เกิดเป็นเจลที่อ่อนนุ่ม ทำให้น่ามาใช้ ในผลิตภัณฑ์ แยม เยลลี่

2. เป็นสารที่ทำให้ข้นหนืด (Thickening agent)

3. เป็นสารที่ทำให้เกิดความคงตัว (Stabilizer) ป้องกันการตกตะกอน (Sedimentation) ของนมเปรี้ยว (Acidified milk) โดยป้องกันการตกตะกอนโปรตีนเคซีน (Casein)

4. เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ทำให้อิมัลชัน (Emulsion) คงตัวโดยลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสของน้ำมันและน้ำ

5. เป็นพรีไบโอติก (Prebiotic) เป็นอาหารของแบคทีเรียกลุ่มโพรไบโอติก (Probiotic) ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ร่างกาย

6. การเติมเพกทินชนิด LM จำนวนเล็กน้อยลงในโยเกิร์ตจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตให้ดีขึ้น

7. สำหรับน้ำผลไม้เข้มข้นจะเติมเพกทินชนิด HM เพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับอนุภาคของเนื้อผลไม้ ทำให้อนุภาคกระจายตัวแขวนลอยอยู่ได้โดยไม่ตกตะกอน

8. ในน้ำผลไม้ผงสำเร็จรูปจะมีการเติมเพกทินชนิด HM ลงไปเพื่อให้เกิดความรู้สึกเหมือนน้ำผลไม้ธรรมชาติขณะดื่ม

9. ในผลิตภัณฑ์ เบเกอร์รี่ เช่น แยม จะให้ลักษณะผิวเรียบเป็นเงาหลังจากอบแล้วและทนต่อการอบ

10. ในทางการแพทย์ ได้ใช้เพกทินเป็นสารรักษาแผล (Wound dressing) ต่อมามีการใช้เพกทินทำเยลลี่รักษาโรคท้องร่วงในเด็ก และทารก และเพกทินยังทำหน้าที่เป็นเยื่อป้องกันไม่ให้น้ำตาลถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ง่าย เพกทินช่วยลดน้ำตาลในเลือด ป้องกันและลดคอเลสเตอรอลที่ตกค้างในหลอดเลือดหัวใจจึงสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้

11. ใช้เป็นสารแทนไขมันในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ขนมหวานแช่แข็ง น้ำปรุงซุป ครีมแต่งหน้าไอศกรีม ครีมแต่งหน้าเค้ก ครีมทาแซนวิส ซอส น้ำสลัด มายองเนส เค้ก คุกกี้ เนยแข็ง โยเกิร์ต เป็นต้น

วิธีการสกัดเพกทิน

งานวิจัยที่ทำการศึกษาวิธีการสกัดเพกทินจากพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่

ชวนิฏฐ์ สิทธิดิลกรัตน์ และคณะ (2548) ศึกษาวิธีการสกัดเพกทินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือทิ้ง โดยพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเพกทินด้วยการหาสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสม ในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ กรด-ด่าง ชนิดของกรด ปริมาณโซเดียมเฮกสะเมตาฟอสเฟต เวลาที่ใช้ในการสกัด และได้ทดลองปรับปรุงสีของเพกทินอีกด้วย พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินได้แก่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กรด-ด่าง 3.0 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและปริมาณโซเดียมเฮกสะเมตาฟอสเฟต ร้อยละ 6 ของน้ำหนักเปลือกและกากผลส้ม เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นตกตะกอนเพกทินด้วยเอทานอลร้อยละ 95 และล้างตะกอนเพกทินด้วยเอทานอลร้อยละ 95 สลับกับอะซีโทน 3 - 5 ครั้ง จะได้เพกทินที่ค่อนข้างบริสุทธิ์และเมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของเพกทินพบว่าเพกทินที่สกัดได้มีผลผลิตร้อยละ 18.48 ปริมาณความชื้นร้อยละ7.79 ปริมาณเถ้าร้อยละ 5.42 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิคร้อยละ 66.25 และปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 4.12 ซึ่งใกล้เคียงกับเพกทินระดับอุตสาหกรรมและมีค่าต่าง ๆ ยกเว้นเถ้าอยู่ในช่วงของมาตรฐาน เพกทินตามที่ The Joint / WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) ได้กำหนดไว้

ธนิสรา ยศวิทย์ (2551) ศึกษากระบวนการสกัดเพกทินจากใบเครือหมาน้อยและการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน คือ สกัดเพกทินด้วยน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสโดยใช้ปริมาณใบเครือหมาน้อยแห้งร้อยละ 1 และใบเครือหมาน้อยแช่แข็งร้อยละ 0.25 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากใบแห้งและใบแช่แข็งได้ร้อยละ 3.34 และ 5.54 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ค่าความหนืดของเพกทินในใบแช่แข็ง 12,190 เซนติพอยส์ และในใบแห้ง 6,664.78 เซนติพอยส์ แล้วนำเอาเพกทินไปศึกษาคุณภาพของเพกทินเจลต่อกรดอินทรีย์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และนำไปประยุกต์ใช้ในมาร์มาเลด เจลลี่รสส้ม และนมเปรี้ยวพร้อมดื่มรสส้ม จากนั้นนำไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วย Hedonic scale แบบ 9 จุด และวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส ค่าความหนืดของสารละลายเพกทินในกรดซิตริก กรดแลกติก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก ได้แก่ 4,081.89 3,269 3,842.221 และ 2,310.89 เซนติพอยส์ ตามลำดับ เมื่อให้ความร้อนแก่เจลลี่รสส้ม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กรด-ด่าง 3.4 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าความแข็งแรงของเจลลดลง ส่วนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากค่า Hedonic scale แบบ 9 จุด มีค่าในระดับมากกว่า 6 ค่าการวัดเนื้อสัมผัสของมาร์มาเลด (16.6 กรัม) และเจลลี่ (8.56 กรัม) มีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับ มาร์มาเลดทางการค้า (48.48 – 64.08 กรัม) และเจลลี่ทางการค้า (63.93 – 215.94 กรัม) และพบว่าเพกทินที่สกัดได้ไม่สามารถป้องกันการแยกชั้นที่เกิดขึ้นในโยเกิร์ตพร้อมดื่มในการศึกษาครั้งนี้ได้

องอาจ เด็ดดวง (2553) สกัดเพกทินโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นสารสกัด ใช้เวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส โดยทำการสกัดเพกทินจากชิ้นส่วนต่างๆ (เปลือก เนื้อ และเนื้อใน) ของฝรั่ง 3 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์กลมสาลี่ พันธุ์แป้นสีทอง และพันธุ์กิมจู ผลการศึกษาพบว่าเพกทินที่สกัดได้จากชิ้นส่วนต่างๆ ของฝรั่งพันธุ์กิมจมีปริมาณมากที่สุดคือร้อยละ 15.55+1.08 - 19.44+0.83 เพกทินที่สกัดได้จากฝรั่งพันธ์กลมสาลี่มีปริมาณรองลงมา คือร้อยละ 8.56+0.56 - 11.45+0.24 และเพกทินที่สกัด ได้จากฝรั่งพันธ์แป็นสีทองมีปริมาณน้อยที่สุดคือร้อยละ 8.69+0.29 - 9.92+0.24 และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากชิ้นส่วนต่างๆ พบว่า เปลือกฝรั่งมีปริมาณเพกทินมากกว่าส่วนอื่นๆ โดยมี ปริมาณเพกทินร้อยละ 11.450.24, 9.92+0.24 และ 18.43+0.96 ในเปลือกฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่ พันธุ์แป้นสีทอง และพันธุ์กิมจู ตามลำดับ เพกทินที่สกัดได้จากชิ้นส่วนของฝรั่งพันธ์แป็นสีทองจัดเป็นชนิด High Methoxyl Pectin (HMP) คือมีปริมาณเมทอกซิลมากกว่าร้อยละ 8.16 โดยพบมากที่สุดในเปลือกฝรั่งคือร้อยละ 10.1960.16 ซึ่ง ใกล้เคียงกับเพกทินมาตรฐาน ซึ่งมีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 10.25+0.00 ส่วนเพกทินที่สกัดได้จาก ชิ้นส่วนของฝรั่งพันธุ์กลมสาลี่และพันธุ์กิมจู จัดเป็นเพกทินชนิด Low Methoxyl Pectin (LMP) คือมี ปริมาณเมทอกซิลน้อยกว่าร้อยละ 8.16 นอกจากนี้ยังพบว่า ชิ้นส่วนต่างๆ ของฝรั่งทั้ง 3 พันธ์ ส่วนใหญ่มีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกสูงกว่าหรือใกล้เคียงกับเพกทินมาตรฐานที่นำมาศึกษา

ธานุวัตน์ ลาภตันศุภผล และคณะ (2556) ศึกษาเปรียบเทียบการสกัดเพกทินจากเปลือกผักและผลไม้ 8 ชนิด โดยการใช้กรดไฮโดรคลอริก และน้ำกลั่น จากผลการวิจัยพบว่า เพกทินจากเปลือกมะนาวที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเพกทินสูงที่สุด คือ ร้อยละ 16.36 ± 1.43 และเพกทินจากเปลือกกล้วยที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก มีปริมาณเพกทินต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 3.27 ± 0.19 จากการเปรียบเทียบปริมาณเมทอกซิล พบว่าเพกทินจากมะม่วงที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเมทอกซิลสูงที่สุดคือร้อยละ 14.43 ± 0.92 เพกทินจากเปลือกมะนาวที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเมทอกซิลต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 11.38 ± 0.47 และมีปริมาณเมทอกซิลใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้า (มีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 11.50 ± 0.13) มากที่สุดจากการเปรียบเทียบค่าความชื้น พบว่า เพกทินจากเปลือกกล้วยที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีค่าความชื้นสูงที่สุด คือ ร้อยละ 12.40 ± 0.40 เพกทินจากเปลือกมะกรูดที่สกัดด้วยน้ำกลั่น มีค่าความชื้นต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 2.93 ± 0.31 และมีค่าความชื้นใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้า (มีค่าความชื้นร้อยละ2.53±0.12) มากที่สุดส่วนสีมีความใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้ามากที่สุดได้จากเพกทินที่สกัดจากเปลือกส้มโอด้วยน้ำกลั่น

สุนันท์ วิทิตสิริ (2557) สกัดเพกทินจากซังขนุนหนังจำปากรอบ โดยใช้วิธีการสกัดเพกทิน 2 วิธี คือ ใช้น้ำร้อน และความดันไอสูง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเพกทินที่สกัดได้ พบว่า วิธีการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที สามารถสกัด เพกทินจากซังขนุนหนังได้

ร้อยละ 15.69 และวิธีการสกัดเพกทินด้วยความดันไอสูง อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถสกัดเพกทินจากซังขนุนหนังได้ร้อยละ 24.63 ซึ่งมากพออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยใช้เวลา 60 นาที เมื่อทำการตรวจสอบสมบัติทางเคมี และกายภาพของเพกทินที่สกัดได้โดยใช้ความดันไอสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 7.25 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 3.85 น้ำหนักสมมูล 738.00 ปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 7.62 ระดับการเกิดเอสเทอร์ร้อยละ 57.77 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก 319.61 มิลลิกรัม หรือร้อยละ 85.67 ซึ่งมีค่าแตกต่างกับเพกทินทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นระดับการเกิดเอสเทอร์

Oni et al. (2015) สกัดเพกทินจากกากผลกีวี่สีทอง โดยใช้กรดซิตริก น้ำ และเอนไซม์เซลลูเคส (Celluclast 1.5 ลิตร) เพื่อนำมาศึกษาผลผลิตเพกทินที่ได้ ปริมาณโปรตีน เถ้า พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง กรดกาแลกทูโรนิค (Gal A) องค์ประกอบของน้ำตาลธรรมชาติ มวลโมเลกุล ความหนืด และระดับกิ่งก้าน พบว่าการสกัดเพกทินด้วยน้ำเป็นการสกัดรูปแบบที่ใกล้เคียงธรรมชาติที่สุด การสกัดโดยใช้เอนไซม์ให้ผลผลิตสูงที่สุด (ประมาณร้อยละ 4.5 น้ำหนัก/น้ำหนัก) เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยกรดและน้ำ (ประมาณร้อยละ3.6-3.8 น้ำหนัก/น้ำหนัก) เพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีต่าง ๆ มีระดับระดับของกิ่งก้านแตกต่างกัน มวลโมเลกุล และรากที่สองของค่าเฉลี่ยยกกำลังสองของรัศมี (RMS) เมื่อสกัดด้วยกรด น้ำ และเอนไซม์ มีค่าเฉลี่ยยกกำลังสองเท่ากับ 8.4×10^5 กรัม/โมล รัศมี 92 นาโนเมตร, 8.5×10^5 กรัม/โมล รัศมี 102 นาโนเมตร และ 6.7×10^5 กรัม/โมล รัศมี 52 นาโนเมตร ตามลำดับ แนวโน้มคล้ายกับความข้นหนืดของเพกทิน การสกัดด้วยน้ำ เพกทินจะมีความข้นหนืดกว่าการสกัดด้วยกรดและเอนไซม์เล็กน้อย การศึกษาแสดงให้เห็นว่าเพกทินจากกากกีวี่สีทองมีประสิทธิภาพในการนำมาปรับปรุงใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้

สุทธิดา ทองคำ (2559) ศึกษาวิธีสกัดเพกทินและสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเพกทินที่สกัดจากจาวตาลและเมล็ดตาลอ่อน โดยใช้จาวตาลและเมล็ดตาลอ่อนจากอำเภอบ้านลาด จากผลการวิจัยพบว่า การสกัดเพกทินจากจาวตาลสกัดได้โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก และน้ำ ทั้ง 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเพกทินจากจาวตาลที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกและน้ำ อย่างไรก็ตามสมบัติของเพกทินจากจาวตาลที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกและน้ำ มีความชื้น เถ้า ปริมาณเมทอกซิล และกรดโพลิกาแลกทูโรนิกแตกต่างกัน สำหรับน้ำหนักของเพกทินจากจาวตาลที่สกัดทั้ง 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนการ สกัดเพกทินจากเมล็ดตาลอ่อนสามารถสกัดได้โดใช้กรดไฮโดรคลอริก

Liew et al. (2016) ได้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้น อุณหภูมิ เวลา ผลผลิตเพกทินที่ได้ และค่าดีกรีออฟเอสเทอริฟิเคชั่น โดยวิธีการสกัดด้วยกรดซิตริก และเอนไซม์ Celluclas โดยการนำเปลือกเสาวรสสีเหลืองมาทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดด้วยกรด และเอนไซม์ โดยผลของการสกัดด้วยกรดให้

ผลผลิตเพกทินร้อยละ 7.16 และ 7.12 ค่าดีกรีออฟเอสเทอริฟิเคชันร้อยละ 71.02 และ 85.45 เวลาที่เหมาะสมต่อการสกัด คือ 120 นาทีโดยใช้กรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.19 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และการสกัดด้วยเอนไซม์ Celluclas ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสกัดร้อยละ 1.67 โดยใช้อุณหภูมิ 61.11 องศาเซลเซียส วิธีการสกัดด้วยเอนไซม์มีการสกัดได้เมทอกซิลในปริมาณมาก คุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาของผงเปลือกผลไม้และเพกทินที่สกัดได้ถูกตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างระดับนาโนของเพกทินจากเสาวรสจะมีคุณภาพหรือไม่ขึ้นอยู่กับกระบวนการสกัดเจลที่เกิดขึ้นนี้มีความสามารถในการก่อให้เกิดความหนืด

Lim et al. (2016) ศึกษาการสกัด เพกทินจากกากส้มยูสุ ซึ่งเป็นของเสียหลักของอุตสาหกรรมน้ำผลไม้สกัดในทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและโครงสร้างเปรียบเทียบกับเพกทินที่สกัดด้วยสารเคมี การสกัดด้วยเอนไซม์ เพกทินที่สกัดได้มีปริมาณกรดกาแลกทูโรนิกร้อยละ 55 และอัตราผลตอบแทนร้อยละ 7.3 ซึ่งต่ำกว่าของเพกทินที่สกัดด้วยสารเคมี ตัวอย่างเพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์มีค่าเอสเทอร์ริฟิเคชันสูง (ร้อยละ 46.30) กว่าเพกทินที่สกัดด้วยสารเคมี (ร้อยละ 40.93) ซึ่งได้รับการยืนยันโดยการวิเคราะห์ธาตุ และสารประกอบ เมื่ออยู่ภายใต้สภาพการไหลคงที่ เพกทินที่สกัดได้ผ่านการอนุญาตให้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

เพ็ญวรัตน์ พันธ์ภัทรชัย (2560) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากกระเจี๊ยบเขียวด้วยน้ำกลั่น ที่อุณหภูมิ 60 80 และ 95 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลา 60 90 และ 120 นาที จากผลการวิจัยพบว่าการสกัดเพกทินที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที มีปริมาณเพกทินที่สกัดได้เท่ากับ 16.15 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าเพกทินที่สกัดได้มีค่าเมธอกซิล และปริมาณน้ำหนักสมมูลสูงกว่าเพกทินทางการค้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 10.70 เปอร์เซ็นต์ และ 5555.56 มิลลิกรัม ตามลำดับ จากการเปรียบเทียบค่าความชื้นพบว่า เพกทินที่สกัดได้จากกระเจี๊ยบเขียวมีแนวโน้มของความชื้นที่ใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้า มีความชื้นอยู่ในช่วงระหว่างความชื้นที่ 3.50– 6.09 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าสีและค่าความหนืดมีความแตกต่างกันตามสภาวะในการสกัด โดยเพกทินที่สกัดได้จัดเป็นเพกทินชนิดที่มีเมธอกซิลสูง ซึ่งสามารถเกิดเจลได้อย่างรวดเร็ว

หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์ และคณะ (2562) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกทุเรียนและประยุกต์ใช้ในการทำแยมและเยลลี่ ทำได้โดยนำเปลือกทุเรียนส่วนสีขาวมาบด ทำแห้งและสกัดโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ น้ำกลั่นและความดันไอสูง จากผลการทดลอง พบว่า วิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกทุเรียน คือ การสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก เนื่องจากค่าระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่น ปริมาณเมทอกซิล และปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค มีค่าใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้า การทดลองต่อไปทำโดยสกัดเพกทินจากเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกทุเรียน คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพกทินที่สกัดได้จัดเป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลสูง มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเพกทินเกรดโรงงานเมื่อเปรียบเทียบกับ

เพกทินทางการค้าตามข้อกำหนดของคณะกรรมการด้านวัตถุเจือปนอาหาร เมื่อนำเพกทินที่สกัดไปประยุกต์ใช้ในแยมสับปะรดและเยลลี่ส้ม และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝน พบว่าผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับแยมสับปะรดและเยลลี่ส้มที่มีการเติมเพกทินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนในระดับชอบเล็กน้อย

เอราวัณ เบ้าทอง (2562) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินที่สกัดจากเปลือกผลมะพร้าวโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นน้ำยาสกัดพร้อมทั้งออกแบบตำรับสภาวะสกัดโดยใช้โปรแกรม minitab โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการสกัดเพกทิน ได้แก่ pH อยู่ในช่วง 2.0-3.0 เวลาที่ใช้ในการสกัด คือ 30-300 นาที และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 70-110 องศาเซลเซียส พบว่าร้อยละผลผลิตที่ดีที่สุด คือ ในตำรับ 6 มีสภาวะในการสกัด คือ pH เท่ากับ 2.5 เวลา เท่ากับ 30 นาที และอุณหภูมิ 70 oC มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 1.85 และในตำรับที่ 4 มีค่าร้อยละผลผลิตน้อยที่สุด สภาวะในการสกัด คือ pH เท่ากับ 2.0 เวลา เท่ากับ 165 นาที และอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 0.10 เมื่อนำผลวิจัยมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม minitab โหมด box - benkein design พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพกทิน คือ ปัจจัยด้าน pH และ เวลา มีค่าสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.00218519

2.2 ทุเรียน

ทุเรียน (*Durio zibethinus* Murray) เป็นไม้ผลเศรษฐกิจสำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งจังหวัดที่ผลิตทุเรียนได้มากที่สุด คือ จังหวัดจันทบุรี สามารถผลิตได้ 339,292 ตัน คิดเป็นร้อยละ 36 ของผลผลิตทั้งหมด (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2563) มีปริมาณการบริโภคสูงทั้งในรูปของผลสดและแปรรูป เช่น ทำเป็นทุเรียนทอดกรอบและทุเรียนกวนทำให้มีเปลือกทุเรียนถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมาก เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงมีการนำเปลือกทุเรียนมาทำเป็นปุ๋ยพืชสดและถ่าน เซลลูโลสจากเปลือกทุเรียนมาเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส หรือ ซีเอ็มซี (Carboxymethyl cellulose, CMC) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีบทบาทมากในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมซักฟอก สิ่งทอ กระดาษ สี กาว อาหารและยา นอกจากนั้นยังใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด สารยึดเกาะ (Binder) สารคงสภาพ (Putri and Kurniyati, 2016) และนำมาสกัดเพกทิน เพื่อใช้ในการเคลือบเม็ดปุ๋ยเพื่อให้เป็นปุ๋ยละลายช้า ช่วยลดการสูญเปล่าในการใช้ปุ๋ย (เอราวัณ เบ้าทอง, 2561) รวมถึงใช้เป็นส่วนผสมในแยมและเยลลี (หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์ และคณะ, 2019)

จากการศึกษาและตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของเปลือกทุเรียนพันธุ์หมอนทองโดยโศรดา วัลภา และคณะ (2553) พบว่า ประกอบด้วยใยอาหารปริมาณร้อยละ 79 ในขณะที่มีส่วนประกอบของ ไขมัน โปรตีน สตาร์ช และเถ้าในปริมาณเพียงร้อยละ 0.82, 5.48, 2.55 และ 3.58 ตามลำดับ นอกจากนี้เปลือกทุเรียนประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน จากข้อมูลข้างต้น

จึงเห็นได้ว่าเปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบที่มีประโยชน์หลายอย่าง จึงได้มีการนำเปลือกทุเรียนมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มากมาย อาทิเช่น การนำเปลือกทุเรียนมาทำกระดาษ (ภาวิณีย์ เจริญยิ่ง, 2555) เพิ่มมูลค่า โดยการผลิตพลาสติกชีวภาพ (กนกศักดิ์ ลอยเลิศ, 2558) เป็นต้น

การนำเปลือกทุเรียนไปใช้ประโยชน์

ปัจจุบันมีการผลิตทุเรียนแทบทุกภาคของประเทศ โดยมีพื้นที่ปลูกเพิ่มขึ้นและผลผลิตต่อไร่เพิ่มสูงขึ้น ประเทศไทยมีการผลิตทุเรียนมากที่สุด รองลงมาคืออินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ ตลาดส่งออกส่วนใหญ่อยู่ในภูมิภาคเอเชีย แหล่งผลิตที่สำคัญของประเทศไทยอยู่ในภาคตะวันออก และภาคใต้ (วลัยรัตน์ วรรณปิยะรัตน์ และคณะ, 2547) ซึ่งในแต่ละปีจะมีเปลือกทุเรียนที่เหลือจากการนำทุเรียนไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เป็นจำนวนมาก เปลือกทุเรียนที่เหลือส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ในการผลิตปุ๋ย แต่เปลือกทุเรียนที่เหลือส่วนมากนั้นจะมีการนำไปทิ้งก่อให้เกิดขยะและกลิ่นเหม็นเกิดปัญหามลพิษทางอากาศตามมา เปลือกทุเรียนมีองค์ประกอบที่มีประโยชน์หลายอย่าง จึงได้มีการนำเปลือกทุเรียนมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มากมาย อาทิเช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูง จำพวกเซลลูโลสอีเทอร์ (Cellulose ethers) ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการเตรียมคาร์บอกซีเมททิล เซลลูโลส (Carboxymethyl cellulose ; CMC) หรือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodiumcarboxy methlcellulose) (กฤษณา ศิรเลิศมุกุล, 2547) จากการทำปฏิกิริยาของแอลฟา–เซลลูโลสปริมาณสูงกับอีเธอริไฟอิงเอเจน (Etherifying agent) ในภาวะด่าง เมื่อ CMC ละลายน้ำจะได้สารละลายหนืดใส ไม่มีกลิ่น และไม่อันตรายต่อร่างกาย จึงนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้มากมาย อาทิเช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ สารซักฟอก สี กาว กระดาษ เซรามิก อาหาร และยา เป็นต้น (สุนันท์ พงษ์สามารถ วิมลมาส ลิปิพันธ์ และพนิดา วยัมหสุวรรณ, 2546) มีการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการแพทย์ เนื่องจากเปลือกทุเรียนมีสารจำพวกพอลิแซ็คคาไรด์ ที่สามารถสกัดออกมาในรูปของเจลที่มีคุณสมบัติในการพองตัวหรือละลายน้ำได้ จึงสามารถนำมาทำเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ ในลักษณะเจลได้ (สุนันท์ พงษ์สามารถ และนรานินทร์ มาดแมน 2532) เจลโพลีแซ็คคาไรด์จากเปลือกทุเรียนมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียหลายชนิด จึงช่วยป้องกันไม่ให้แผลติดเชื้อหรือเป็นหนอง โดยได้นำมาทดลองให้กับแผลที่ติดเชื้อของสุนัขและแมว โดยใช้เจลปิดลงไปที่แผล ผลปรากฏว่าแผลหายได้ นอกจากนี้ยังใช้ได้ผลดีกับผู้ป่วยที่ผ่าตัดต่อมทอนซิล ทำให้อาการเจ็บปวดจากแผลลดลง ในแผลน้ำร้อนลวกในสัตว์ ทดลองก็ใช้ได้ผลดีเช่นกัน รศ.ดร.สุนันท์ พงษ์สามารถ ผู้ศึกษาวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์จากเปลือกทุเรียนเพื่อใช้ประโยชน์ทางด้านการแพทย์มาเป็นเวลานานยังกล่าวว่า นอกจากใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวทำเป็นแผ่นปิดแผลแล้ว ยังมีโครงการจัดทำเจลในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์เจลบำรุงผิว เป็นส่วนผสมในยาสีฟัน เนื่องจากในเปลือกทุเรียนมีนั้นยังมีคุณสมบัติฆ่าเชื้อโรคที่ก่อให้เกิดฟันผุได้ แต่การนำเจลจากเปลือกทุเรียนมาใช้รักษาแผลในคนนั้นต้องพัฒนาต่อไปอีกมากเนื่องจาก

ราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ปิดแผลที่จำหน่ายตามท้องตลาด ใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ สามารถกระตุ้นภูมิคุ้มกันในสัตว์ ทั้งกุ้ง และไก่ได้ (ส่วนส่งเสริม และพัฒนาวิจัย สำนักบริหารวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย, 2550) ใช้ในการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสีย (อรัญ ขวัญปาน, 2550) ถ่านกัมมันต์จากเปลือกทุเรียนมีคุณสมบัติในการดูดติดผิว 4.1 มิลลิกรัมของตะกั่วต่อกรัมของถ่านกัมมันต์ที่เผากระตุ้นด้วยอุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส การนำเปลือกทุเรียนมาทำกระดาษ (ภาวิณีย์ เจริญยิ่ง, 2555) เพิ่มมูลค่า โดยการผลิตพลาสติกชีวภาพ (กนกศักดิ์ ลอยเลิศ, 2558) เป็นต้น

การสกัดเพกทิน

มีการศึกษาการสกัดเพกทินอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าสกัดด้วยน้ำ กรด-ด่าง ความดัน และใช้เครื่องมือต่าง ๆ ร่วมกับวิธีการสกัดแบบต่าง ๆ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการสกัดดียิ่งขึ้น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดเพกทินและสารทำให้เกิดเจลที่จะขอยกตัวอย่างมีดังต่อไปนี้

สุระ สุพแม (2533) ศึกษาการสกัดเพกทินจากใบโคก เพื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการสกัดกับชนิดของใบที่มีผลต่อปริมาณเพกทินที่ได้ และศึกษาคุณสมบัติของเพกทิน พบว่า ปัจจัยที่ใช้ในการสกัดเพกทินที่ เหมาะสมที่สุด อัตราส่วนใบบัวโคกต่อน้ำ 1 : 100 (กรัม : มิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการสกัด 1.30 ชั่วโมง ที่ระดับ กรด – ด่าง 1 และใช้สารโซเดียมเฮกสะเมตาฟอสเฟต (Sodium Hexa Meta Phosphate ; SHMP) ร้อยละ 1 โดยสกัดจากใบโคกสดได้ปริมาณเพกทินที่มากกว่าใบแห้ง ส่วนวิธีการสกัดเพกทินที่ดีที่สุด คือ การสกัดเพกทินทั้งหมด 3 ครั้งจะได้ปริมาณเพกทินมากกว่าวิธีการอื่น ๆ จากนั้นนำเพกทินที่สกัดได้ไปทำการศึกษาคุณสมบัติดังนี้ ความชื้นร้อยละ 7.886 ปริมาณเถ้าร้อยละ 14.7225 น้ำหนักสมมูล 1,000 ปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 9.765 และเมื่อนำเพกทินที่สกัดได้มาทำการแปรรูปเป็นแยม และเยลลี่จะแข็งตัวได้เร็วที่สุดที่อุณหภูมิประมาณ 77.88 องศาเซลเซียส และกรด – ด่าง 3 – 3.4

วาสนา อ่อนหวาน (2534) ศึกษาจลนศาสตร์ในการสกัดเพกทินจากเปลือกเสาวรส พบว่าปัจจัยที่มีต่อการสกัดเพกทิน ได้แก่ ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิในการสกัด อัตราส่วนของน้ำต่อเปลือกเสาวรส ขนาดอนุภาคและความเร็วรอบของใบกวนเพื่อนำมาศึกษาสภาวะที่เหมาะสม และจลนพลศาสตร์ของการสกัดเพกทิน ซึ่งอัตราส่วนของน้ำต่อเปลือกเสาวรส 1 : 10 โดยน้ำหนักแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 1.5 สามารถแยกสกัดสารเพกทินได้ถึงร้อยละ 81 โดยน้ำหนักของเปลือกเสาวรส และกระบวนการสกัดเพกทินจากเปลือกเสาวรสในระบบของเหลว – ของแข็งสามารถใช้แบบจำลองของการสกัดเพกทินในการอธิบายจลนศาสตร์ของการสกัดได้ว่า ไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากสารละลายจะซึมผ่านเข้าไปในเปลือกผลไม้ แล้วจากนั้นก็ทำการไฮโดรไลท์โปรโตเพกทินและจะแพร่จากชั้นเนื้อผลไม้มายังผิวผ่านชั้นของเจลที่ถูก

สร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการสกัดมายังสารละลาย นอกจากการทดลองดังกล่าวแล้วปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าอัตราการสกัดลดลงนั้นคือชั้นของเจล ดังนั้นการสกัดเพกทินจะถูกควบคุมด้วยการแพร่ภายนอกระบบของแข็งเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงขึ้น และยังมีการปรับปรุงอุปกรณ์ในการสกัดเพื่อทำลายชั้นเจลในลักษณะพิเศษในการเพิ่มแรงเฉือนที่ความเร็วรอบต่ำ ๆ ได้

Kalapathy และ Proctor (2001) เพกทินจากเปลือกถั่วเหลืองสามารถสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก และตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ ปัจจัยที่ใช้ในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณและความบริสุทธิ์ของเพกทิน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของกรด และค่าความเป็นกรด – ด่างของสารละลายที่ใช้ในการตกตะกอน กรดแก่สามารถนำมาใช้สกัดเพกทินจากเปลือกถั่วเหลืองได้ และค่าความเป็นกรด – ด่างของสารที่ใช้ในการตกตะกอนมีผลต่อปริมาณเพกทินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณเพกทินที่สกัดได้สูงสุดร้อยละ 26 และ 28 เมื่อสกัดด้วยกรดที่มีความเข้มข้น 0.05 และ 0.1 นอมอล์ตามลำดับ และคำความเป็นกรด – ด่างของสารละลายที่ใช้ในการตกตะกอนมีค่าเท่ากับ 3.5 การสกัดเพกทินที่ใช้กรดที่มีความเข้มข้น 0.2 และ 0.3 นอมอล์ หรือตกตะกอนเพกทินที่กรด – ด่าง 2.0 จะทำให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้ลดลง กรดที่มีความเข้มข้นสูงหรือกรด – ด่างของสารละลายที่ตกตะกอนมีผลต่อความบริสุทธิ์หรือระดับเอสเทอริฟิเคชัน (Degree of esterification , DE) ของเพกทินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก ระดับเอสเทอริฟิเคชันของเพกทินมีค่าตั้งแต่ร้อยละ 68 – 72 และร้อยละ 56 – 60 ตามลำดับ

ณรงค์ ศิขิรัมย์ และเมธินี เห่วซึ่งเจริญ (2546) ศึกษาการสกัดและสมบัติของเพกทินจากกากฝรั่งพันธุ์ กลมสาลี พบว่าปริมาณเพกทินจะเพิ่มขึ้นตามอายุการเจริญเติบโตของฝรั่ง และจะมีปริมาณเพกทินมากที่สุดเมื่อฝรั่งแก่เต็มที่คือ 150 วันซึ่งทำการศึกษาปริมาณเพกทินทั้ง 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายได้ในน้ำ กลุ่มที่ละลายได้ในออกซาเลต และกลุ่มที่ละลายได้ในด่าง ก่อนทำการศึกษาการสกัดเพกทินจะต้องยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพคติเนสโดยวิธีการลวก และเพื่อเป็นการล้างสิ่งปนเปื้อนออกจากวัตถุดิบอีกทางหนึ่ง ส่วนอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมที่นำมาศึกษาได้แก่ อุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาทีซึ่งกระบวนการสกัดเพกทินที่เหมาะสมและได้ปริมาณเพกทินมากที่สุด คือ การใช้กรดไฮโดรคลอริกที่ระดับความเข้มข้น 0.05 นอร์มอล ในอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรด : กากฝรั่ง คือ 5 : 1 ที่อุณหภูมิ 98 องศา เซลเซียสและทำการสกัด 2 ครั้ง ใช้เวลาในการสกัดเพียง 1 ชั่วโมง ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอน คือ แอลกอฮอล์ : เพกทิน เท่ากับ 1.5 : 1 (โดยปริมาตร) และเมื่อทำการศึกษาผลกระทบของอายุการเก็บรักษากากฝรั่งด้วยกระบวนการอบแห้ง จะพบว่าปริมาณเพกทินที่สกัดได้ทั้ง 6 เดือน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

ลำดวน เหลือจาด และวัลภา สระทองอ้อย (2547) ศึกษาการสกัดเพกทินจากมะตูมโดยวิธีไฮโดรไลซีสด้วยกรดไฮโดรคลอริก และตกตะกอนด้วยเอทานอลร้อยละ 95 พบว่าได้ปริมาณเพกทินร้อยละ 3.01 โดยน้ำหนักสด เมื่อนำมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี พบว่าเพกทินที่สกัดได้มีความชื้นร้อยละ 10.94 เถ้าร้อยละ 8.50 เมทอกซิลร้อยละ 8.21 น้ำหนักสมมูล 5500 DE ร้อยละ 65 และกรดกาแลคทูโรนิก 604.25 มิลลิกรัม โดยเพกทินที่สกัดได้จัดเป็นเพกทินประเภทเมทอกซิลสูง (Hight Methoxy Pectin) เมื่อนำเพกทินที่ได้มาทดลองผลิตแยมผิวมะนาว พบว่าแยมมีคุณภาพดี

ฉัตรชัย สังข์ผุด และคณะ (2548) ศึกษาคุณสมบัติเฉพาะทางเคมี และกายภาพของเพกทินจากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของผลส้มโอ ที่สกัดด้วยกรดซิตริกความเข้มข้นร้อยละ 3 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้า พบว่าคุณสมบัติด้านความบริสุทธิ์ในรูปกรดกาแลคทูโรนิค (ร้อยละ 47 – 57) ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (ร้อยละ 88.89 – 90.61) ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน (ร้อยละ 118 – 127.87) และเจลลี่ของเพกทินที่สกัดจากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของผลส้มโอไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p>0.05$) โดยจะมีค่าสูงกว่าเพกทินจากส้มเกรด 150 ยกเว้นค่าความบริสุทธิ์แต่คุณสมบัติด้านความหนืด ความสามารถในการอุ้มน้ำ และปริมาณเมทอกซิลมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p\leq0.05$) ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อจากผลส้มโอ ส้มโอทั้งเปลือกจะมีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 766 mPa.s (ร้อยละ 2) และมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (ร้อยละ 846) สำหรับปริมาณเมทธอกซิล พบว่าเพกทินจากเนื้อเยื่อส่วน ต่าง ๆ จากผลส้มโอมีค่าอยู่ช่วงร้อยละ 7.73 – 8.67 ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเมทอกซิลปานกลาง

ชวนิฏฐ์ สิทธิดิลกรัตน์ และคณะ (2548) ศึกษาวิธีการสกัดเพกทินจากเปลือก และกากผลส้มเหลือทิ้ง โดยพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเพกทินด้วยการหาสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสม ในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิ กรด – ด่าง ชนิดของกรด ปริมาณโซเดียมเฮกสะเมตาฟอสเฟต (Sodium Hexa Meta Phosphate ; SHMP) เวลาที่ใช้ในการสกัด และได้ทดลองปรับปรุงสีของเพกทินอีกด้วย พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินได้แก่ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กรด – ด่าง 3.0 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและปริมาณโซเดียมเฮกสะเมตาฟอสเฟต ร้อยละ 6 ของน้ำหนักเปลือกและกากผลส้ม เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นตกตะกอนเพกทินด้วยเอทานอลร้อยละ 95 และล้างตะกอนเพกทินด้วยเอทานอลร้อยละ 95 สลับกับอะซีโทน 3 - 5 ครั้ง จะได้เพกทินที่ค่อนข้างบริสุทธิ์และเมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของเพกทินพบว่าเพกทินที่สกัดได้มีผลผลิต (Yield) ร้อยละ 18.48 ปริมาณความชื้น (Moisture) ร้อยละ7.79 ปริมาณเถ้า (Ash) ร้อยละ 5.42 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค (Galacturonic acid) ร้อยละ 66.25 และปริมาณเมทอกซิล (Methoxyl) ร้อยละ 4.12 ซึ่งใกล้เคียงกับเพกทินระดับอุตสาหกรรมและมีค่าต่าง ๆ ยกเว้นปริมาณเถ้าอยู่ในช่วงของมาตรฐานเพกทินตามที่ The Joint / WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) ได้กำหนดไว้

Panouille และคณะ (2006) ศึกษาการสกัดเพกทินจากกะหล่ำปลีสีม่วงที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้เอนไซม์ protease และ cellulase ใช้เอนไซม์ที่มีความเข้มข้นต่างกัน ผลการทดสอบการสกัดเพกทิน และปัจจัยแวดล้อมในการสกัด (ความเข้มข้นของเอนไซม์ที่เหมาะสมต่อการสกัด) ได้รับการปรับให้เหมาะสมโดยใช้การสกัดด้วยกรดเป็นตัวเปรียบเทียบ การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะสกัดเพกทินโดยใช้เอนไซม์ protease และ cellulase ซึ่งอัตราผลตอบแทนที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์ประมาณร้อยละ 35 มีค่าสูงกว่าการสกัดด้วยกรดประมาณร้อยละ 28 การสกัดเพกทินด้วยเอนไซม์มีมวลโมเลกุลขนาดเล็ก (300,000 กรัมต่อโมล) แต่การสกัดเพกทินด้วยกรดมีมวลโมเลกุลขนาดใหญ่กว่า (500,000 กรัมต่อโมล) ข้อแตกต่างของสมมติฐานนี้จะมีการทดสอบต่อไปเพื่ออธิบายความแตกต่างของมวลนี้

ธนิสรา ยศวิทย์ (2551)ศึกษากระบวนการสกัดเพกทินจากใบเครือหมาน้อยและการนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อสุขภาพ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน คือ สกัดเพกทินด้วยน้ำเปล่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสโดยใช้ปริมาณใบเครือหมาน้อยแห้งร้อยละ 1 และใบเครือหมาน้อยแช่แข็งร้อยละ 0.25 (น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากใบแห้งและใบแช่แข็งได้ร้อยละ 3.34 และ 5.54 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ค่าความหนืดของเพกทินในใบแช่แข็ง 12,190 เซนติพอยส์ และในใบแห้ง 6,664.78 เซนติพอยส์ แล้วนำเอาเพกทินไปศึกษาคุณภาพของเพกทินเจลต่อกรดอินทรีย์ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และนำไปประยุกต์ใช้ในมาร์มาเลด เจลลี่รสส้ม และนมเปรี้ยวพร้อมดื่มรสส้ม จากนั้นนำไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสด้วย Hedonic scale แบบ 9 จุด และวัดเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (Texture analyzer, TA.XT plus@) ค่าความหนืดของสารละลายเพกทินในกรดซิตริก กรดแลกติก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก ได้แก่ 4,081.89 3,269 3,842.221 และ 2,310.89 เซนติพอยส์ ตามลำดับ เมื่อให้ความร้อนแก่เจลลี่รสส้ม ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กรด – ด่าง 3.4 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าความแข็งแรงของเจลลดลง ส่วนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสจากค่า Hedonic scale แบบ 9 จุด มีค่าในระดับมากกว่า 6 ค่าการวัดเนื้อสัมผัสของมาร์มาเลด (16.6 กรัม) และเจลลี่ (8.56 กรัม) มีค่าต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับมาร์มาเลดทางการค้า (48.48 – 64.08 กรัม) และเจลลี่ทางการค้า (63.93 – 215.94 กรัม) และพบว่าเพกทินที่สกัดได้ไม่สามารถป้องกันการแยกชั้นที่เกิดขึ้นในโยเกิร์ตพร้อมดื่มในการศึกษาครั้งนี้ได้

ธานุวัตน์ ลาภตันศุภผล และคณะ (2556) ศึกษาเปรียบเทียบการสกัดเพกทินจากเปลือกผักและผลไม้ 8 ชนิด โดยการใช้กรดไฮโดรคลอริก และน้ำกลั่น จากผลการวิจัยพบว่า เพกทินจากเปลือกมะนาวที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเพกทินสูงที่สุด คือ ร้อยละ 16.36 ± 1.43 และเพกทินจากเปลือกกล้วยที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก มีปริมาณเพกทินต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 3.27 ± 0.19

จากการเปรียบเทียบปริมาณเมทอกซิล พบว่าเพกทินจากมะม่วงที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเมทอกซิลสูงที่สุดคือร้อยละ 14.43 ± 0.92 เพกทินจากเปลือกมะนาวที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเมทอกซิลต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 11.38 ± 0.47 และมีปริมาณเมทอกซิลใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้า (มีปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 11.50 ± 0.13) มากที่สุดจากการเปรียบเทียบค่าความชื้น พบว่า เพกทินจากเปลือกกล้วยที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีค่าความชื้นสูงที่สุด คือ ร้อยละ 12.40 ± 0.40 เพกทินจากเปลือกมะกรูดที่สกัดด้วยน้ำกลั่น มีค่าความชื้นต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 2.93 ± 0.31 และมีค่าความชื้นใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้า (มีค่าความชื้นร้อยละ2.53±0.12) มากที่สุดส่วนสีมีความใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้ามากที่สุดได้จากเพกทินที่สกัดจากเปลือกส้มโอด้วยน้ำกลั่น

สุนันท์ วิทิตสิริ (2557) สกัดเพกทินจากซังขนุนหนังจำปากรอบ โดยใช้วิธีการสกัดเพกทิน 2 วิธี คือ ใช้น้ำร้อน และความดันไอสูง เพื่อเปรียบเทียบปริมาณเพกทินที่สกัดได้ พบว่า วิธีการสกัดด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที สามารถสกัด เพกทินจากซังขนุนหนังได้ร้อยละ 15.69 และวิธีการสกัดเพกทินด้วยความดันไอสูง อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถสกัดเพกทินจากซังขนุนหนังได้ร้อยละ 24.63 ซึ่งมากพออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.01$) โดยใช้เวลา 60 นาที เมื่อทำการตรวจสอบสมบัติทางเคมี และกายภาพของเพกทินที่สกัดได้โดยใช้ความดันไอสูงที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส พบว่ามีปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 7.25 มีปริมาณเถ้าร้อยละ 3.85 น้ำหนักสมมูล 738.00 ปริมาณเมทอกซิลร้อยละ 7.62 ระดับการเกิดเอสเทอร์ร้อยละ 57.77 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก 319.61 มิลลิกรัม หรือร้อยละ 85.67 ซึ่งมีค่าแตกต่างกับเพกทินทางการค้าอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นระดับการเกิดเอสเทอร์

Oni และคณะ (2015) สกัดเพกทินจากกากผลกีวี่สีทอง โดยใช้กรดซิตริก น้ำ และเอนไซม์เซลลูเคส (Celluclast 1.5 ลิตร) เพื่อนำมาศึกษาผลผลิตเพกทินที่ได้ ปริมาณโปรตีน เถ้า พอลิแซ็กคาไรด์ที่ไม่ใช่แป้ง กรดกาแลกทูโรนิค (Gal A) องค์ประกอบของน้ำตาลธรรมชาติ มวลโมเลกุล ความหนืด และระดับกิ่งก้าน พบว่าการสกัดเพกทินด้วยน้ำเป็นการสกัดรูปแบบที่ใกล้เคียงธรรมชาติที่สุด การสกัดโดยใช้เอนไซม์ให้ผลผลิตสูงที่สุด (ประมาณร้อยละ 4.5 น้ำหนัก/น้ำหนัก) เมื่อเทียบกับการสกัดด้วยกรด และน้ำ (ประมาณร้อยละ 3.6 – 3.8 น้ำหนัก/น้ำหนัก) เพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยวิธีต่าง ๆ มีระดับระดับของกิ่งก้านแตกต่างกัน มวลโมเลกุล และรากที่สองของค่าเฉลี่ยยกกำลังสองของรัศมี (RMS) เมื่อสกัดด้วยกรด น้ำ และเอนไซม์ มีค่าเฉลี่ยยกกำลังสองเท่ากับ 8.4×10^5 กรัม/โมล รัศมี 92 นาโนเมตร, 8.5×10^5 กรัม/โมล รัศมี 102 นาโนเมตร และ 6.7×10^5 กรัม/โมล รัศมี 52 นาโนเมตร ตามลำดับ แนวโน้มคล้ายกับความข้นหนืดของเพกทิน การสกัดด้วยน้ำ เพกทินจะมีความข้นหนืดกว่าการสกัดด้วยกรด

และเอนไซม์เล็กน้อย การศึกษาแสดงให้เห็นว่าเพกทินจากกากกีวี่สีทองมีประสิทธิภาพในการนำมาปรับปรุงใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารได้

สุทธิดา ทองคำ (2559) ศึกษาวิธีสกัดเพกทินและสมบัติทางกายภาพ และเคมีของเพกทินที่สกัดจากจาวตาลและเมล็ดตาลอ่อน โดยใช้จาวตาลและเมล็ดตาลอ่อนจากอำเภอบ้านลาด จากผลการวิจัยพบว่า การสกัดเพกทินจากจาวตาลสกัดได้โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก และน้ำ ทั้ง 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกัน เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของเพกทินจากจาวตาลที่สกัดด้วย กรดไฮโดรคลอริกและน้ำ อย่างไรก็ตามสมบัติของเพกทินจากจาวตาลที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริกและน้ำ มีความชื้น เถ้า ปริมาณเมทอกซิล และกรดโพลิกาแลกทูโรนิกแตกต่างกัน สำหรับน้ำหนักของเพกทินจากจาวตาลที่สกัดทั้ง 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนการ สกัดเพกทินจากเมล็ดตาลอ่อนสามารถสกัดได้โดใช้กรดไฮโดรคลอริก

Liew et al. (2016) ได้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้น อุณหภูมิ เวลา ผลผลิตเพกทินที่ได้ และค่าดีกรีออฟเอสเทอริฟิเคชั่น โดยวิธีการสกัดด้วยกรดซิตริก และเอนไซม์ Celluclas โดยการนำเปลือกเสาวรสสีเหลืองมาทำการสกัดด้วยวิธีการสกัดด้วยกรด และเอนไซม์ โดยผลของการสกัดด้วยกรดให้ผลผลิตเพกทินร้อยละ 7.16 และ 7.12 ค่าดีกรีออฟเอสเทอริฟิเคชันร้อยละ 71.02 และ 85.45 เวลาที่เหมาะสมต่อการสกัด คือ 120 นาทีโดยใช้กรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 0.19 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และการสกัดด้วยเอนไซม์ Celluclas ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการสกัดร้อยละ 1.67 โดยใช้อุณหภูมิ 61.11 องศาเซลเซียส วิธีการสกัดด้วยเอนไซม์มีการสกัดได้เมทอกซิลในปริมาณมาก คุณสมบัติทางสัณฐานวิทยาของผงเปลือกผลไม้และเพกทินที่สกัดได้ถูกตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชี้ให้เห็นว่าโครงสร้างระดับนาโนของเพกทินจากเสาวรสจะมีคุณภาพหรือไม่ขึ้นอยู่กับกระบวนการสกัดเจลที่เกิดขึ้นนี้มีความสามารถในการก่อให้เกิดความหนืด

Lima et al. (2016) ศึกษาการสกัด เพกทินจากกากส้มยูสุ ซึ่งเป็นของเสียหลักของอุตสาหกรรมน้ำผลไม้สกัดในทางที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและโครงสร้างเปรียบเทียบกับเพกทินที่สกัดด้วยสารเคมี การสกัดด้วยเอนไซม์ เพกทินที่สกัดได้มีปริมาณกรดกาแลกทูโรนิกร้อยละ 55 และอัตราผลตอบแทนร้อยละ 7.3 ซึ่งต่ำกว่าของเพกทินที่สกัดด้วยสารเคมี ตัวอย่างเพกทินที่ได้จากการสกัดด้วยเอนไซม์มีค่าเอสเทอร์ริฟิเคชันสูง (ร้อยละ 46.30) กว่าเพกทินที่สกัดด้วยสารเคมี (ร้อยละ 40.93) ซึ่งได้รับการยืนยันโดยการวิเคราะห์ธาตุ และสารประกอบ เมื่ออยู่ภายใต้สภาพการไหลคงที่ เพกทินที่สกัดได้ผ่านการอนุญาตให้ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

พันธุ์เลิศ พรหมสาขา ณ สกลนคร และคณะ (มปป.) ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการและหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากใบเครือหมาน้อย โดยใบเครือหมาน้อย ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ 3 ชนิด ได้แก่ ใบสด ใบที่อบแห้งโดยการตากแดดและใบที่อบแห้ง โดยใช้ตู้อบลมร้อน และได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยปัจจัยที่ทำการศึกษามี 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ 30 - 90 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 30 - 90 นาที และ กรด- ด่าง 2 - 8 จากการทดลองพบว่าการตากแดด และการใช้ตู้อบลมร้อนให้ผลผลิตเพกทินที่สกัดได้สูง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นจึงเลือกกระบวนการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน เนื่องจากใช้เวลาสั้นในการเตรียมวัตถุดิบ ส่วนการหาสภาวะที่เหมาะสม พิจารณาจากปริมาณและคุณภาพของเพกทินที่สกัดได้ สภาวะที่ได้ คือ อุณหภูมิอยู่ในช่วง 68 - 75 องศาเซลเซียส และ กรด – ด่าง อยู่ในช่วง 2.0 - 2.8 ที่เวลา 42 นาที ได้ผลผลิตเพกทินปริมาณกรดกาแลกทูโรนิก (GalA) ปริมาณเมทอกซิล (MeO) และระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชัน (DE) ร้อยละ 35.32 - 42.21, 67.04 - 76.83, 2.62 - 3.28 และ 28.00 - 29.97 ตามลำดับ

วรางคณา สมพงษ์ และคณะ (2560) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกัมเมล็ดมะขามด้วยไมโครเวฟ โดยแปรกำลังแมกนีตรอน 2 ระดับ ได้แก่ 480 และ 640 วัตต์ และแปรระยะเวลาในการสกัด 2 ระดับ ได้แก่ 4 และ 6 นาที พบว่าการใช้กำลังแมกนีตรอน 640 วัตต์ นาน 4 นาที ให้ปริมาณผลผลิตและค่าสี (L*) สูงที่สุด มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต และค่าการดูดซับน้ำมากที่สุด ($p\leq0.05$) จึงใช้สภาวะนี้ในการศึกษาผลของ pH 3 ระดับ ได้แก่ 3, 5 และ 7 อุณหภูมิ 4 ระดับ ได้แก่ 35, 50, 65 และ 80 °C และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 3 ระดับ ได้แก่ 40, 45 และ 50 องศาบริกซ์ ต่อการเกิดเจลของกัมจากเมล็ดมะขาม วัดค่าสี (L* a* b*) และเวลาในการไหลของเจลจากกัมเมล็ดมะขาม พบว่าที่ pH 3 ให้เจลที่มีค่าความสว่าง (L*) มากที่สุด ($p\leq0.05$) เจลที่ละลายที่อุณหภูมิ 80 °C และปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเป็น 45 องศาบริกซ์ มีเวลาในการไหลมากที่สุด จึงเลือกใช้เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลในการผลิตผลิตภัณฑ์แยมสตรอว์เบอร์รี โดยแปรอัตราส่วนระหว่างเพกทินต่อกัมเมล็ดมะขาม 4 ระดับ ได้แก่ 2:0, 1.5:0.5, 1:1 และ 0.75:1.25 โดยน้ำหนักสตรอว์เบอร์รีตีป่น วัดค่าสี (L* a* b*) ระยะทางในการไหล ความสามารถในการแผ่ และการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้สเกลความชอบ 9 คะแนน (9-point hedonic scale) ในด้านลักษณะปรากฏ สี ความสามารถในการแผ่ กลิ่นรส รสชาติ การเกาะตัว และความชอบโดยรวม พบว่าแยมที่ใช้อัตราส่วนเพกทินต่อกัมเท่ากับ 1.5:0.5 มีระยะทางในการไหล ความสามารถในการแผ่ และคะแนนจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้าน กลิ่นรส รสชาติ การเกาะตัว และความชอบโดยรวมไม่แตกต่างจากแยมสูตรมาตรฐาน (2:0) อย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$)

พงษ์เสริฐ ศรีพรหม และคณะ (2561) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพกทินจากเปลือกทุเรียนด้วยน้าส้มสายชู ทำการออกแบบการทดลองแบบ Box-behnken design โดยปัจจัยที่ศึกษามี 4 ปัจจัยได้แก่อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดเวลาที่ใช้ในการสกัดพีเอชและอัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็งซึ่งมีตัวแปรตอบสนอง คือ ปริมาณร้อยละผลได้ของเพกทินผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกทุเรียนด้วยน้าส้มสายชูที่อุณหภูมิในการสกัด100 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัด 20 นาทีค่าpH 2.24 และอัตราส่วนของของเหลวต่อของแข็ง7.42 มิลลิลิตร

ต่อกรัมพบว่าการสกัดด้วยน้ำส้มสายชูมีปริมาณร้อยละผลได้เท่ากับร้อยละ11.95 และมีปริมาณเมทอกซีร้อยละ 40.81ซึ่งพบว่าการสกัดด้วยด้วยน้ำส้มสายชูจะได้เพกทินชนิดที่มีค่าเมทอกซีต่ำ

หยาดรุ้ง สุวรรณรัตน์ (2562) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกทุเรียนและประยุกต์ใช้ในการทำแยมและเยลลี่ ทำได้โดยนำเปลือกทุเรียนส่วนสีขาวมาบด ทำแห้งและสกัดโดยใช้กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ น้ำกลั่นและความดันไอสูง จากผลการทดลองพบว่า วิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกทุเรียน คือ การสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก เนื่องจากค่าระดับการเกิดเอสเทอริฟิเคชั่น ปริมาณเมทอกซิล และปริมาณกรดกาแลคทูโรนิค มีค่าใกล้เคียงกับเพกทินทางการค้า การทดลองต่อไปทำโดยสกัดเพกทินจากเปลือกทุเรียนด้วยกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากเปลือกทุเรียน คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพกทินที่สกัดได้จัดเป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลสูง มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเพกทินเกรดโรงงานเมื่อเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้าตามข้อกำหนดของคณะกรรมการด้านวัตถุเจือปนอาหาร เมื่อนำเพกทินที่สกัดไปประยุกต์ใช้ในแยมสับปะรดและเยลลี่ส้ม และทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ได้รับการฝึกฝน พบว่าผู้ทดสอบชิมให้การยอมรับแยมสับปะรดและเยลลี่ส้มที่มีการเติมเพกทินที่สกัดได้จากเปลือกทุเรียนในระดับชอบเล็กน้อย

2.3 สละและระกำ

สละ (*Salacca zalacca*) และระกำ (*Salacca wallichiana* Mart) มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย พบมากในจีน ไทย พม่า และมาเลเซีย นิยมรับประทานสด เนื่องจากเนื้อนุ่ม รสหวานออกเปรี้ยวเล็กน้อย และมีกลิ่นหอม ให้ผลผลิตต่อเนื่องตลอดทั้งปี สละที่มีราคาตกต่ำในจังหวัดจันทบุรีมีสาเหตุมาจากผลของสละ เนื้อสละจะเป็นสีน้ำตาลค่อนข้างช้าในช่วงเดือนกรกฎาคม-สิงหาคม ซึ่งเป็นฤดูฝนตกชุก ทำให้ไม่เป็นที่ต้องการของตลาดผู้บริโภค จึงมีผู้ผลิตบางรายนำสละเนินวงที่มีราคาตกต่ำ (กิโลกรัมละ 20 บาท (Gaje. 2018) มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สละลอยแก้ว โดยใช้สละเนินวงผสมกับสละสุมาลีเพื่อลดต้นทุนในการขายให้ต่ำลง ส่วนระกำมีลักษณะผลคล้ายสละมาก แต่ผลอ้วนป้อมกว่า และเมื่อสุกเปลือกจะเป็นสีแดงเข้มกว่าสละ เป็นผลไม้ที่นิยมนำผลมารับประทาน มีรสหวานอมเปรี้ยว สามารถรับประทานสดหรือนำมาปรุงรสให้มีความเค็มก่อนรับประทาน เนื่องจากระกำในจังหวัดจันทบุรีเป็นระกำที่มีรสเปรี้ยว จึงไม่เป็นที่นิยมรับประทานสด ทำให้มีราคาตกต่ำลง (กิโลกรัมละ 5-10 บาท (Jintakanon, 2017) จึงนิยมที่จะนำมาแปรรูปมากกว่า เช่น ระกำแก้วของบ้านเสม็ดโพธิ์ศรี ตำบลโขมง จังหวัดจันทบุรี เป็นต้น

สละ เป็นผลไม้ที่ส่วนใหญ่นำมารับประทานสด จากพจนานุกรมสัตว์ และพืชในเมืองไทย 2537 ระบุว่าสละและระกำอยู่ในวงศ์ Palmae สละมีชื่อพื้นเมืองหลายชื่อ เช่น สละชวา สะลัก สะละ และชาเลา มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Salacca edulis* Reinw (กรมวิชาการเกษตร, 2559) เป็นพรรณไม้ประเภทปาล์ม สละเป็นผลไม้ที่มีรสหวานเฉพาะตัว นิยมนำมาเป็นของฝาก เป็นพืชที่มีการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตในเชิงการค้าค่อนข้างรวดเร็ว พันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ เนินวง หม้อ และสุมาลี โดยสละพันธุ์เนินวง นิยมปลูกมากที่สุด บริเวณกาบใบมีสีน้ำตาลทอง ปลายใบยาว ผลมีรูปร่างยาวหัวท้ายเรียวคล้ายกระสวย หนามผลยาว อ่อนนิ่ม ปลายหนามงอนไปทางท้ายผล เนื้อมีสีทองนวลคล้ายน้ำผึ้ง หนานุ่ม รสชาติหวานอมเปรี้ยว มีกลิ่นหอม และเมล็ดเล็ก(พืชเกษตรไทย, 2559) แสดงดังภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.5 สละพันธุ์เนินวง
ที่มา : สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556

ระกำมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Salacca wallichiana* Mart จัดเป็นพืชตระกูลปาล์ม อยู่ในสกุลเดียวกับสละ โดยระกำเป็นพืชที่สร้างรายได้ให้เกษตรกรโดยเฉพาะอย่างยิ่งในจังหวัดตราด เป็นที่รู้จักกันในนามของ “ระกำหวานเมืองตราด” แต่ทั้งนี้ราคาก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพของระกำด้วย คนไทยในสมัยโบราณ จะไม่นิยมปลูกระกำไว้ในบ้านเพราะไม่เป็นมงคลและเชื่อว่าหากปลูกต้นระกำไว้ในบ้านจะทำให้ผู้อยู่อาศัยได้รับความชอกช้ำ ระกำใจ อยู่ตลอดเวลา นอกจากระกำจะเป็นผลไม้แล้วยังมีสรรพคุณหลายด้านด้วย เช่น ผลของระกำรับประทานเป็นยาแก้ไอ เป็นยาขับเสมหะ เป็นต้น (ทวีทอง หงส์วิวัฒน์ และนิดดา หงส์วิวัฒน์, 2550) ออกผลเป็นทะลาย ทะลายกนางจะมีตั้งแต่ 2 - 5 กระปุก ส่วนผลอ่อนมีลักษณะเปลือกเป็นสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน สีส้ม และส้มแดง เมื่อผลเริ่มสุกเปลือกผลมีหนามแข็งงุ้มไปทางท้ายผล ผลหนึ่งจะมี 2 - 3 กลีบเป็นส่วนใหญ่ ผลดิบจะมีรสชาติฝาดและเปรี้ยว ส่วนผลสุกจะมีรสชาติหวานอมเปรี้ยว เนื้อนิ่ม บาง ฉ่ำน้ำ และมีกลิ่นหอม ส่วนเนื้อจะติดกับเมล็ด เมล็ด มีขนาดใหญ่ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในพื้นที่ดอน และชุ่มน้ำ แสดงดังภาพที่ 2.6

ภาพที่ 2.6 ระกำ
ที่มา : นฤมล มานิพพาน, ม.ป.ป.

2.4 แยม (Jam)

แยม คือ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผลไม้ เป็นผลิตภัณฑ์กลุ่ม semi-soft spread มีลักษณะเป็นวุ้นหรือเป็นเจล มีของแข็งที่ละลายน้ำในผลิตภัณฑ์สูงกว่าร้อยละ 65 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรดสูง (Lenanurak, 1992) การเกิดเจลของแยม เกิดจากกรด น้ำตาล และเพกทิน ผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสม ตามมาตรฐานของกระทรวงสาธารณสุขแยมควรมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 2.8-3.5 และไม่มีจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค (JECFA, 2021)

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 213) พ.ศ. 2543 แยม หมายถึง ผลไม้เป็นชิ้น เนื้อผลไม้ปั่นผสมกับน้ำตาล หรือจะผสมน้ำผลไม้เข้มข้นด้วยก็ได้ และทำให้มีความข้นเหนียวที่พอเหมาะ

องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาได้ให้คำจำกัดความของแยมผลไม้ ลักษณะสำคัญของแยมผลไม้ ได้แก่ ลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากความสมดุลของน้ำตาล กรด เพกทินที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของผลไม้ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิต แยมที่ทำจากผลไม้ดิบปนสุกหรือเกือบสุก (Slightyunderripe) จะมีลักษณะดีกว่าเพราะหากทำจากผลไม้สุกเพกทินอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถให้เจลได้ดีนัก ด้วยเหตุนี้ผลไม้ที่ดิบอยู่อาจต้องผสมกับผลไม้ที่งอมแล้วหรือใช้ผลไม้ผสมหลายชนิด และเพกทินจากผลไม้ชนิดหนึ่งหรือแยมทำจากผลไม้ชนิดเดียวกันแต่เติมกรดและเพกทินลงไป เพื่อให้เกิดลักษณะเป็นเจลหลังจากเคี่ยวผลไม้ได้ที่แล้ว

ในช่วงการต้มผลไม้กับน้ำตาล จะเกิดปรากฏการณ์ผกผัน (Inversion) ซึ่งเกิดได้จากการที่น้ำตาลซูโครส (Sucrose) ถูกไฮโดรไลซ์ด้วยกรดจากผลไม้ (รวมถึงกรดที่เพิ่มลงไป) เกิดเป็นน้ำตาลอินเวอร์ส (Invert Sugar) ซึ่งสามารถกันการตกผลึกของซูโครสในแยม โดยเฉพาะในช่วงของการเก็บรักษา อีกทั้งสามารถป้องกันการเจริญของเชื้อรา แต่ถ้าน้ำตาลอินเวอร์สมีมากเกินไปจะลดความแข็งแรงของเจลได้ (อัมพร รุจนไกรกานต์, 2539)

2.4.1 ส่วนประกอบที่สำคัญในการทำแยม

2.4.1.1 ผลไม้และผักบางชนิดก็สามารถนำมาทำแยมและเยลลี่ได้ แต่ต้องเลือกให้เหมาะสมต่อการนำมาทำแยม ควรเลือกว่าผลไม้ที่สด ไม่เน่าเสีย ไม่เป็นโรคหรือมีรา เพราะส่วนที่จะนำมาทำจะเป็นพวกเนื้อผลไม้ (Pulp) น้ำผลไม้ (Juice) อาจเป็นผลไม้สด ผลไม้ที่แช่แข็ง หรือแช่เย็นตลอดจนเนื้อที่บรรจุกระป๋องก็ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการและความเหมาะสม นอกจากนี้ผลไม้สดที่ใช้อาจเป็นผลไม้สดที่ใช้อาจเป็นผลไม้สุกหรือดิบหรือผสมกันระหว่างสุกและดิบก็ได้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่น รส ตามต้องการ ถ้าเป็นผลไม้สดควรล้างกำจัดยาฆ่าแมลงตกค้าง และสิ่งอื่นที่ติดปนมาให้หมดไปก่อนที่จะนำมาทำผลิตภัณฑ์ โดยปกติแยมประกอบด้วย ส่วนของผลไม้ 45 ส่วน ต่อน้ำตาล 55 ส่วน ต้มหรือเคี่ยวไปเรื่อย ๆ จน มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ประมาณ 68.5 – 70 องศาบริกซ์ แยมอาจทำจากผลไม้ชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกันก็ได้ (ไพโรจน์ วิริยจารี และคณะ, 2543)

2.4.1.2 น้ำตาล (พวงทอง ใจสันติ์และคณะ, 2541) เป็นส่วนผสมหลักในการทำแยมจะให้รสหวาน ช่วยเพิ่มเนื้อแยม และช่วยรักษาคุณภาพของแยม น้ำตาลจะตกผลึกเมื่อมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลาย 75.9 องศาบริกซ์ แต่ถ้ามีการเติมน้ำตาลกลูโคสลงไป จะช่วยป้องกันน้ำตาลซูโครสไม่ให้เกิดการตกผลึกปริมาณของน้ำตาลที่ใช้ต่อผลไม้ชนิดหนึ่ง ๆ จะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับปริมาณของเพกทินเป็นส่วนสำคัญ และความเปรี้ยวของผลไม้ ถ้าผลไม้ชนิดใดมีเพกทินสูงจะใช้ปริมาณน้ำตาลต่อน้ำหนักผลไม้ในปริมาณที่ต่ำด้วยแต่โดยทั่วไปจะใช้น้ำตาลร้อยละ 55 ต่อผลไม้ร้อยละ 45 โดยน้ำหนัก เมื่อแยมถูกเคี่ยวจะทำให้น้ำตาลเกิดการแตกตัวให้เป็นเดกซ์โทรส (Dextrose) และฟรุกโทส (Fructose) ซึ่งเกิดจากน้ำตาลถูกไฮโดรไลส์ด้วยกรดจากผลไม้ และกรดที่เติมลงไปเรียกว่า “น้ำตาลอินเวอร์ท” (Invert sugar) ซึ่งแยมที่ดีควรจะมีน้ำตาลอินเวอร์ทร้อยละ 30 – 50 หากมีต่ำกว่าร้อยละ 30 จะทำให้แยมเกิดผลึกของน้ำตาลซูโครส และถ้ามากกว่าร้อยละ 50 จะทำให้แยมมีลักษณะเป็นยางหนืด จะลดความแข็งแรงของเจล เกิดผลึกของน้ำตาลกลูโคส ซึ่งอาจทำให้แยมมีปริมาณน้ำตาลต่ำกว่าปกติ อาจต้องใช้เกลือโลหะช่วยในการเกิดเจล เช่น เกลือแคลเซียมคลอไรด์

คุณสมบัติของน้ำตาล

1. ช่วยในการเกิดเจล น้ำตาลจะช่วยทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของเพกทิน หรืออาจเนื่องจากน้ำตาลเป็นสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมาก จึงอาจเกิดจากไฮโดรเจนกับน้ำ หรืออาจเนื่องจากน้ำตาลเป็นสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลของเพกทินที่เป็นอิสระ ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮดรอกซิลบนโมเลกุลของเพกทินอื่น หรือบนส่วนของโมเลกุลเพกทินได้

2. มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพและอายุการเก็บรักษาของแยมที่เนื่องจากเกิดการเสื่อมเสียโดยจุลินทรีย์ น้ำตาลจะช่วยยับยั้งการเจริญของเชื้อรา และแบคทีเรียในอาหารได้เนื่องจากการที่น้ำตาลมีแรงดันออสโมติกสูง

3. ให้ความหวาน เป็นลักษณะที่เด่นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลที่ละลายน้ำได้ง่าย ทำให้ผู้บริโภครับประทานผลิตภัณฑ์เข้าไปจะรู้สึกหวานเร็วกว่า

4. เป็นสารป้องกัน ซึ่งส่งผลต่อ สี กลิ่น รส และช่วยรักษากรดแอสคอร์บิกไว้ เนื่องจากออกซิเจนสามารถละลายในน้ำตาลทรายได้น้อยกว่าในน้ำ จึงทำให้เกิดออโตออกซิเดชัน (Autooxidation) ของกรดแอสคอร์บิกในแยมช้าลง

5. เป็นตัวเพิ่มพลังงาน เนื่องจากน้ำตาลเป็นสารอาหารคาร์โบไฮเดรต ซึ่งสารกลุ่มนี้จะให้พลังงาน

6. ช่วยปรับปรุงลักษณะปรากฏของแยม ได้แก่ สี และความใส

7. ให้เนื้อและน้ำหนักแก่ผลิตภัณฑ์

8. ช่วยในการละลาย น้ำตาลละลายได้ดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยน้ำ 1 ส่วน จะละลายน้ำตาลได้ 2 ส่วน

9. จุดเดือดของสารละลายน้ำตาล ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารละลายน้ำตาลอิ่มตัวแล้วน้ำตาลจะละลายได้เพิ่มมากขึ้นอีก และจุดเดือดของสารละลายจะสูงขึ้นกว่าเดิม

10. ความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลสามารถวัดได้โดยใช้ Hand Refractometer

11. การเกิดโครงสร้างแบบเจล เป็นส่วนประกอบในการใช้น้ำตาลร่วมกับสารที่ทำให้เกิดเจลชนิดอื่น ๆ ถึงแม้น้ำตาลไม่ได้เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้เกิดเจล แต่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีเนื้อสัมผัสแบบเจลที่ต้องการ

2.4.1.3 กรด ช่วยให้แยมมีรสเปรี้ยวและยังช่วยปรับสภาพระดับความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสม ช่วยในการเกิดเจลของเพกทินให้สมบูรณ์ ในด้านจุลินทรีย์พบว่า กรด– ด่างที่ต่ำสามารถทำหน้าที่เป็นวัตถุกันเสีย (Preservative) ในการป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้ กรดจะช่วยควบคุมปฏิกิริยา inversion ของน้ำตาลทรายให้เกิดขึ้นสม่ำเสมอในแต่ละครั้งที่ทำการผลิต ผลไม้บางชนิดมีกรดไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องเติมกรดลงไปด้วย กรดที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดซิตริก กรดทาร์ทาริก กรดมาลิกหรือน้ำมะนาว การเติมกรดที่เหมาะสมจะช่วยให้เนื้อแยมอยู่ตัวดี และช่วยป้องกันการตกผลึกของน้ำตาล และจะเติมกรดเมื่อเคี่ยวแยมได้ที่แล้วเพราะถ้าเติมกรดก่อนและเคี่ยวนานเกินไป กรดจะทำให้เพกทินสลายตัวจนสูญเสียคุณสมบัติการอยู่ตัว (พวงทอง ใจสันติ์ และคณะ, 2541)

กรดซิตริก หรือกรดมะนาว เป็นกรดอินทรีย์ชนิดหนึ่ง ที่มีชื่อทางเคมีว่า กรด 2-ไฮดรอกซี-1, 2,3-โพรเพน ไตรคาร์บอกซิลิก (2 hydroxy-1, 2, 3-propane tricarboxylic acid) พบทั่วไปในพืชและสัตว์ จัดเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในวัฏจักรเครบส์ (Kreb’ Cycle) ของระบบสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย นอกจากนี้ยังพบได้ในผลไม้อีกหลายชนิด เช่น สับปะรด ส้ม ลูกแพร ผลมะเดื่อ รวมทั้งพืชตระกูลส้มรียกกรดมะนาวที่สกัดได้จากธรรมชาติว่ากรดมะนาวธรรมชาติ (Natural Citric Acid) โดยประโยชน์ของกรดมะนาว คือ เพิ่มรสชาติและความเปรี้ยวในเครื่องดื่มอย่างอ่อน เช่น น้ำอัดลม และ

ไวน์ ช่วยเพิ่มกลิ่นรส ลดความฝาด เพิ่มคาร์บอนไดออกไซด์ ป้องกันการขุ่นของไวน์ ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน เพิ่มสีดำให้แก่ลูกอม เนย แยม เจลลี่ เจลาติน ช่วยปรับกรด–ด่าง ป้องกันการเหม็นหืนในอาหารพวกไขมันและอาหารแช่แข็ง ป้องกันการเปลี่ยนสีของเนื้อสัตว์และหัวหอม ใช้แต่งสีและเป็นอิมัลซิไฟเออร์ในผลิตภัณฑ์นม เนย และไอศกรีม สารปรับกรดในระดับอุตสาหกรรมอาหารมีหลายชนิด แต่ส่วนใหญ่ใช้กรดมะนาวร้อยละ 73 รองลงมาเป็นกรดฟอสฟอริกร้อยละ 15 ส่วนที่เหลือเป็นกรดอื่น ๆ เช่น กรดมาลิก กรดแลกติก และกรดทาร์ทาริก เป็นต้น ในการเติมกรดลงในผลิตภัณฑ์แยมเป็นการใช้เพื่อปรับความเป็นกรด–ด่างที่ให้พอเหมาะแก่การเกิดเจลของเพกทินหรือความเปรี้ยว (Tartness) หรือทั้ง 2 อย่าง และยังช่วยรักษาสีไว้ด้วย การจะใช้กรดชนิดใด และใช้ความเข้มข้นเท่าใดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ข้อกำหนดของกฎหมายราคาของกรด ความเปรี้ยวของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการกรด–ด่าง และความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์ขององค์ประกอบของผลไม้ ปริมาณของผลไม้ในผลิตภัณฑ์ ความหวานของผลิตภัณฑ์ เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ และชนิดของเพกทินที่ใช้ (สรัญญา ดิลกกัลยากุล, 2541)

รสเปรี้ยว (Tartness หรือ Sour) ของกรดต่าง ๆ จะแตกต่างกัน กรดซิตริกกับกรดมาลิกจะให้รสเปรี้ยวที่ใกล้เคียงกันแต่กรดซิตริกจะให้รสเปรี้ยวที่ใกล้เคียงกันแต่กรดซิตริกจะให้รสเปรี้ยวมากกว่าซึ่งกรดมาลิกให้รสที่นุ่มกว่า คงความเปรี้ยวนานกว่า ส่วนกรดทาร์ทาริกมีรสขมเล็กน้อยจะเปรี้ยวกว่า กล่าวคือ กรดซิตริก หรือกรดมาลิก 1 ส่วน จะให้ค่าเท่ากับกรดทาร์ทาริก 0.8 ถึง 0.7 ส่วน ความเปรี้ยวของอาหารที่เกิดจากสารที่ให้ความเป็นกรดอาจมีหลายปัจจัยที่มาเกี่ยวข้อง ได้แก่ ความหนืดของอาหารสูงจะลดความรู้สึกเปรี้ยว ความเปรี้ยวจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของกรดอิสระต่อน้ำตาลลดลง หรือความเปรี้ยวจะลดลง โดยการเติมกลิ่นรสเพิ่ม เช่น มีปริมาณเนื้อผลไม้สูงขึ้น เป็นต้น

การเติมกรดมักเติมในรูปสารละลาย และควรเติมหลังจากเคี่ยวส่วนผสมของน้ำผลไม้ เพกทิน และน้ำตาลจนเกือบได้ที่แล้ว โดยปรับให้ได้กรด – ด่าง ประมาณ 3.2 ทั้งนี้เพื่อป้องกันการไฮโดรไลส์ของเพกทิน และการป้องกันไม่ให้แยมเปรี้ยวเกินไป เนื่องจากน้ำระเหยออกไป ทำให้ความเข้มข้นของกรดเพิ่มขึ้นในด้านความแข็งแรงของเจลพบว่าจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่เพิ่มจนถึงจุดที่เหมาะสมจะได้เจลที่มีความแข็งแรงที่พอดี ถ้าใช้กรดเกินจุดที่เหมาะสมไปแล้วจะไปทำลายความแข็งแรงของเจล แยมที่มีเพกทินร้อยละ 1 น้ำตาลร้อยละ 60 คือ 3.0 ถ้ามีน้ำตาลร้อยละ 65 กรด – ด่างควรเป็น 3.2 และน้ำตาลร้อยละ 70 กรด – ด่างจะเป็น 3.4 ถ้ากรด – ด่าง ต่ำกว่าหรือสูงกว่านี้แยมจะมีคุณลักษณะที่ไม่ดีถ้ากรด – ด่างสูงกว่า 3.6 จะไม่เกิดเจล ความสามารถในการเกิดเจลจะเพิ่มขึ้นเมื่อกรด – เบสลดต่ำลงถึง 3 ถ้าต่ำกว่า 3 มีแนวโน้มที่จะเยิ้มหรือเหลว

2.4.1.4 เพกทิน เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งซึ่งสำคัญในการทำแยม คือ เป็นส่วนที่เป็นโครงร่างเจลโดยตกตะกอนเป็นร่างแหที่ละเอียดซับซ้อน ซึ่งเป็นที่เก็บน้ำเชื่อมไว้ ทำให้ได้เจลที่คงตัว เพกทินจะพบในเนื้อเยื่อของผักและผลไม้ซึ่งอยู่ในรูปของสารเพกทิน (Pectin substance) ทำหน้าที่เป็นสารยึดเหนี่ยว เมื่อผักและผลไม้ถูกความร้อน เพกทินจะถูกสกัดออกมา เพกทินในผลไม้จะมีปริมาณมากหรือน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของผลไม้ ซึ่งมีวิธีตรวจสอบปริมาณเพกทินคือ วิธีแรก การทดสอบด้วยแอลกอฮอล์ (Alcohol test) เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด โดยเอาน้ำผลไม้มาผสมกับแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 อาจเป็นเอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl Alcohol) และ เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl Alcohol) ก็ได้ในปริมาตรเท่า ๆ กัน เขย่าในส่วนผสมเข้ากันดี ถ้าเกิดตะกอนลักษณะคล้ายวุ้นหนา แสดงว่ามีเพกทินมาก ถ้าตะกอนวุ้นเล็กแสดงว่ามีเพกทินน้อย และวิธีที่สอง คือ การใช้เจลมิเตอร์ (Jelmeter) โดยการให้น้ำผลไม้ผ่านรูเล็ก ๆ ของเจลมิเตอร์ ซึ่งความหนืดของน้ำผลไม้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณเพกทิน เนื่องจากเพกทินเป็นสารโมเลกุลใหญ่ น้ำผลไม้ที่มีเพกทินมากจะไหลผ่านรูได้ช้ากว่าน้ำผลไม้ที่มีเพกทินน้อย ข้างหลอดจะมีตัวเลขบอกจำนวนถ้วยของน้ำตาล ซึ่งจะเป็นปริมาณน้ำตาลที่จะใช้ต้มกับน้ำผลไม้ 1 ถ้วย (ช่อลัดดา เที่ยงพุก, 2545) ดังนั้นหากใช้ผลไม้ที่มีเพกทินต่ำในการทำแยม จึงต้องเติมเพกทินลงไปด้วยเพราะเพกทินช่วยในการทำให้เกิดเจลและถ้าต้มสารละลายเพกทินก่อนเติมน้ำตาลเพกทินจะแตกตัวทำให้โครงสร้างของเจลเสียไป และเมื่อเติมน้ำตาลหลังจากต้มสารละลายเพกทิน น้ำตาลจะละลายช้าทำให้ใช้เวลาต้มนาน น้ำตาลจึงจะละลายหมด หากน้ำตาลละลายไม่หมดทำให้น้ำตาลแตกตัวได้น้อยลงทำให้เกิดผลึกซูโครสในแยมในทางปฏิบัติจึงควรใส่เพกทินหลังจากเติมน้ำตาล ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเพกทินมีดังนี้

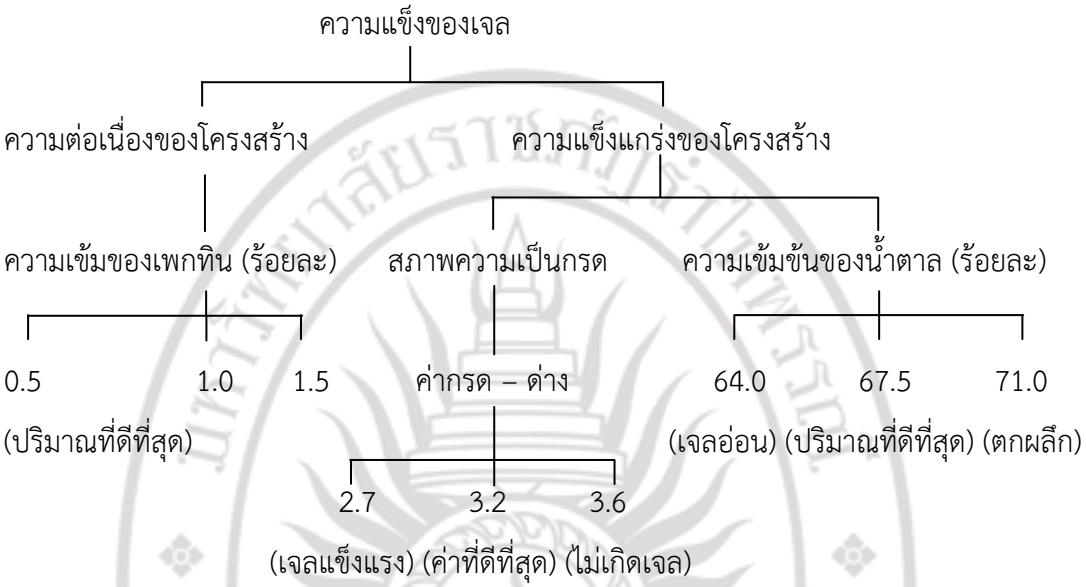
1. น้ำหนักโมเลกุลของเพกทิน จะมีความสำคัญต่อการเกิดเจล ซึ่งขณะเกิดเจลจะมีการเปลี่ยนแปลงในโมเลกุลของเพกทิน จากเดิมซึ่งเป็นลักษณะสายตรงไปเป็นโมเลกุลที่มีลักษณะสามมิติ เป็นผลให้สารละลายนั้นเป็นสารละลายที่มีลักษณะเหนียวหนืด และแข็งตัวขึ้นถ้าโมเลกุลของเพกทินมีลักษณะมีลักษณะสายสั้นการเปลี่ยนแปลงรูปสามมิติจะไม่ค่อยสมบูรณ์เท่าเพกทินที่มีโมเลกุลสายยาวทำให้ได้เจลที่มีลักษณะเหลวและไม่ค่อยแข็งตัว

2. ปริมาณของกลุ่มเมทธิลในโมเลกุลของเพกทิน ถ้าเพกทินที่มีกลุ่มเมทธิลมากจะเปลี่ยนเป็นรูปสามมิติที่แข็งแรงและคงทนกว่า

3. ค่าความเป็นกรด กรด – ด่าง จะมีผลต่อปริมาณของเพกทินที่ไม่แตกตัวและอัตราเร็วของการเซตตัว ซึ่งถ้ากรด – ด่างต่ำไปจะเพิ่มความแข็งแรงของเจล (Gel strength) แต่ถ้ากรด – ด่างสูงกว่า 3.0 จะลดความแข็งแรงของเจล (Gel strength) ทำให้เกิดเจลช้า และถ้ากรด – ด่างสูงกว่า 3.6 จะไม่มีการเกิดเจล นอกจากจะใช้ปริมาณเพกทินมากขึ้นและมีปริมาณแคลเซียมอิออนเพียงพอ ดังนั้นกรด – ด่าง ที่เหมาะแก่การเกิดเจล คือ 3.0 – 3.2 ดังแผนภาพที่ 2.7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

แสดงถึงสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจล และตารางที่ 2.2 และ 2.3 แสดงถึงตัวแปรและผลของตัวแปรต่อการเกิดเจลของเพกทิน



ภาพที่ 2.7 สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลของแยม
ที่มา : ไพบูลย์ รมรัตน์วาสิก, 2529

ตารางที่ 2.2 ตัวแปรและผลของตัวแปรต่อการเกิดเจลของเพกทินที่มีเมทอกซิลสูง

ปัจจัย	ผลของปัจจัย
1. ปริมาณของแข็งที่เหลวในสารละลายเจล	1. เมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งจะทำให้อุณหภูมิ และการเกิดเจลเพิ่มขึ้น
2. ค่าความเป็นกรด – ด่าง	2. เมื่อเพิ่มความเป็นกรด ก็จะทำให้ของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้น
3. Degree of Esterification (DE) ของเพกทิน ที่มีเมทอกซิลสูง	3. เมื่อยิ่งมี DE มาก อัตราการเกิดเจลก็จะเร็วมากขึ้น

ที่มา : พวงทอง ใจสันติ์ และคณะ, (2541)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีนี้

ตารางที่ 2.3 ตัวแปรและผลของตัวแปรต่อการเกิดเจลของเพกทินที่มีเมทอกซิลต่ำ

ปัจจัย	ผลของปัจจัย
1. ความเข้มข้นของแคลเซียม	1. เมื่อเพิ่มแคลเซียมในปริมาณที่เหมาะสมก็จะทำให้ความเร็ว และอุณหภูมิของการเกิดเจลเพิ่มขึ้น และทำให้อุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของเจลเพิ่มขึ้น
2. ปริมาณของแข็งที่เหลวในสารละลายเจล	2. เมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ก็จะมีผลเช่นเดียวกับปริมาณของแคลเซียมที่เพิ่มขึ้น
3. ค่าความเป็นกรด – ด่างของเจล	3. ความเป็นกรดจะเร่งความเร็วและอุณหภูมิของการเกิดเจล
4. Degree of Esterification (DE) ของเพกทินที่มีเมทอกซิลต่ำ	4. เมื่อมี DE ยิ่งต่ำ เพกทินจะไวต่อแคลเซียมและการเกิดเจลจะเร็วที่อุณหภูมิสูงปฏิกิริยานี้จะเกิดการแลกเปลี่ยนระหว่างแคลเซียมและเพกทินเพื่อควบคุมลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลไม่ให้เหลว

ที่มา : พวงทอง ใจสันติ์, (2541)

ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของเจล (ไพโรจน์ วิริยจารี และคณะ, 2543)

ในกรรมวิธีการทำแยม สภาพความเป็นกรด – ด่าง มีผลต่ออัตราการจับตัวกันของเจล ความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นเมื่อสภาพความเป็นกรด - ด่างลดลง แต่ถ้าความเป็นกรด - ด่างสูงเจลจะอ่อนลงหรือไม่เกิดเลยอย่างไรก็ตามความเป็นกรด – ด่าง มีผลต่อการเกิดปรากฏการณ์แยกตัวของของเหลวออกจากเจล (Syneresis) เป็นการแยกตัวของของเหลวอิสระออกจากเจลในระหว่างการเก็บรักษาหรือระหว่างการใช้

ลักษณะของเจลที่ต้องการมีความแข็งแรงพอที่จะคงรูปได้และอ่อนนุ่มพอที่จะแผ่บนขนมปังได้โดยไม่จับกันเป็นก้อน ถ้าปริมาณเพกทินในเปลือกผลไม้มากก็จะทำให้เจลยิ่งแข็งแรงขึ้น เพกทินต้องกระจายตัวอยู่ในรูปคอลลอยด์ก่อนจึงจะเกิดเจลได้ อย่างไรก็ตามถ้าโมเลกุลของเพกทินเล็กร่างแหที่เกิดขึ้นจะไม่จับตัวกันอย่างต่อเนื่องเจลที่ได้ก็จะอ่อน

สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้เกือบทั้งหมดได้มาจากน้ำตาลที่เติมลงไป โดยน้ำตาลที่ใช้ควรเป็นน้ำตาลที่มีคุณภาพสูงระหว่างการต้ม และการทำให้เย็นลงจะเกิดการไฮโดรไลซ์ของน้ำตาลได้น้ำตาลอินเวอร์ส พบว่า อุณหภูมิ และเวลา รวมถึงความเป็นกรด – ด่างของสารละลายล้วนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาล

2.4.1.5 สีและกลิ่น แยมอาจจะมีการแต่งสีเติมกลิ่นหรือสารอื่นลงไป เพื่อให้ผลิตภัณฑ์น่ารับประทานยิ่งขึ้น สีที่เติมในแยมอนุญาตให้ใช้เฉพาะสีผสมอาหารเท่านั้น และเติมลงไปเมื่อใกล้จะถึงจุดยุติส่วนกลิ่นรส โดยปกติแล้วไม่จำเป็นต้องเติมลงไปในแยม เพราะผลไม้ที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ก็มีกลิ่น รส ในตัวเองอยู่แล้วหากเติมกลิ่นรส มักเติมขณะที่แยมกำลังเดือดหรือทำแยมเสร็จแล้ว (อรทัย ศิลปนภาพร, 2533)

2.4.2 หลักการและวิธีการผลิตแยม

การผลิตแยม เป็นการถนอมอาหารโดยการแปรรูป และเก็บรักษาได้โดยอาศัยความเข้มข้นของน้ำตาลเป็นหลักซึ่งต้องมีการตรวจสอบที่ถูกต้อง ส่วนวิธีการผลิตมีทั้งระดับเล็กในครัวเรือนและการผลิตในระดับอุตสาหกรรม มีวิธีการและเครื่องมือในการผลิตต่างกันบ้าง แต่หลักพื้นฐานแล้วจะคล้ายคลึงกัน ขั้นตอนการผลิตมีดังนี้ (รมณี สงวนดีกุล และคณะ, 2538)

2.4.2.1 การเตรียมผลไม้ มีวิธีแตกต่างกันไปตามชนิดของผลไม้ เพื่อนำส่วนที่รับประทานได้มาใช้อาจต้องนำมาสับหรือบดเพื่อให้เนื้อยุ่ยง่ายขณะต้ม ชั่งน้ำหนักให้ถูกต้องตามสูตร นำไปต้มใช้ความร้อนระดับต่ำ บางครั้งอาจต้องเติมน้ำลงไปบ้างขึ้นกับชนิดของผลไม้ต้มจนเดือดนานพอสมควรจึงปฏิบัติขั้นต่อไป

2.4.2.2 การเติมกรด เพื่อปรับระดับความเป็นกรด – ด่างให้เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของเพกทินที่เลือกใช้และชนิดของผลไม้ ถ้าเป็นชนิดเปรี้ยวจัดมีปริมาณกรดสูงพอให้ระดับกรด – ด่างเหมาะสมอาจไม่ต้องเติม

2.4.2.3 การเติมน้ำตาล ปริมาณเป็นไปตามสูตรที่กำหนดไว้ถ้าเป็นการผลิตขนาดเล็กอาจเติมโดยตรง ถ้าเป็นการผลิตขนาดอุตสาหกรรมนิยมเติมในรูปน้ำเชื่อมเข้มข้น เคี่ยวและคนให้ผสมกันจนอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

2.4.2.4 การเติมเพกทิน จำเป็นต้องเติมเมื่อผลไม้นั้นไม่มีเพกทินหรือมีต่ำกว่าระดับที่จะทำให้เกิดเจลได้ปริมาณเพกทินควรเป็นไปตามสูตร

2.4.2.5 การตรวจสอบแยม เป็นขั้นตอนที่สำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แยมมาก การตรวจสอบจะต้องตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายในของเหลว (Soluble solid) ตามระดับที่กำหนดไว้ของผลิตภัณฑ์ซึ่งควรอยู่ในช่วง 65 – 68 องศาบริกซ์ จึงสามารถเก็บรักษาไว้ได้ดี ซึ่งทำได้โดยใช้รีแฟรกโตมิเตอร์ ถ้าไม่มีอาจใช้วิธีตรวจสอบปริมาตรหลังการเคี่ยวหรือการชั่งน้ำหนักหรือวัดอุณหภูมิเดือดขั้นสุดท้ายก็ได้ ส่วนการตรวจสอบสำคัญอีกประการหนึ่ง คือ การเกิดเจลที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์ซึ่งนิยมเรียกว่า setting test ซึ่งทำได้ 2 วิธีคือ

1. ดูความคงตัว (Plate test) ตักแยมมาเทลงบนจานทิ้งไว้ให้เย็น แล้วใช้นิ้วกดดูว่าคงรูปและหยุ่นตัวได้เล็กน้อย แสดงว่าแยมนั้นเคี่ยวได้ที่แล้วคงตัวเหมาะสม

2. ดูการจับตัวเป็นแผ่น (Sheeting test) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายแต่ต้องอาศัยความชำนาญโดยในขั้นตอนที่กวนแยม จะยกพายที่ใช้คนขณะเคี่ยวแยม ให้มีแยมติดขึ้นมาแล้วเอียงพายดูให้อยู่ในแนวนอน แล้วสังเกตการณ์จับตัวเป็นแผ่นยืดหยดลงไปได้ถือว่าแยมเคี่ยวได้ที่แล้วถ้ายังไม่ได้ที่แยมจะหยดเป็นหยด ๆ ไม่จับตัวกันเป็นแผ่น

2.4.2.6 การบรรจุ ควรบรรจุก่อนที่แยมจะเกิดเจล เมื่อบรรจุเสร็จแล้วควรทิ้งให้เย็นและเกิดเจลก่อนจึงจะเคลื่อนย้ายหรือบรรจุหีบห่อต่อไป

2.4.3 ลักษณะที่ดีของแยม (เยาวลักษณ์ เหมือนใบ, 2543)

แยมที่ดีต้องมีลักษณะเหนียวข้นหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลว พอเหมาะสำหรับใช้ทาบนขนมปัง มีสี กลิ่น รส ตามผลไม้ที่ใช้ทำตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 213 แยมในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท จัดเป็นอาหารที่กำหนดคุณภาพหรือมาตรฐาน ซึ่งต้องมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 65 และมีระดับความเป็นกรด-ด่าง 2.8 - 3.5 นอกจากนี้ต้องไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ไม่มีสารจากจุลินทรีย์หรือสารเป็นสารพิษอื่นในปริมาณที่อาจจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมีแบคทีเรียชนิด โคลิฟอร์ม น้อยกว่า 3 โคโลนีต่อผลิตภัณฑ์ 1 กรัม มีสารปนเปื้อนตะกั่วไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัมต่อผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม และดีบุกไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อผลิตภัณฑ์ 1 กิโลกรัม

2.4.4 การเสียของแยม (ไพโรจน์ วิริยจารี และคณะ, 2543)

2.4.4.1 ผลิตภัณฑ์ไม่แข็งแรงเป็นเจลมีสาเหตุมาจาก ปริมาณกรดหรือเพกทินต่ำเกินไป เติมน้ำตาลมากเกินไปเคี่ยวด้วยไฟอ่อนและใช้เวลามากเกินไป เมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นกรดทำให้โมเลกุลของเพกทินเกิดการสลายตัวไม่อาจจับกันเป็นโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรงได้อีก

2.4.4.2 การเน่าเสียถึงแม้ผลิตภัณฑ์จะมีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงถึงร้อยละ 65 ก็ตาม นอกจากนี้ถ้าผลิตภัณฑ์เกิดการแยกตัวของของเหลวจากเจลจะยิ่งทำให้บูดเสียได้ง่ายขึ้น สามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในที่อุณหภูมิต่ำ

2.4.4.3 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะขุ่นมีสาเหตุมาจากใช้เวลาเคี่ยวนานทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะหนืดเหนียวและมีฟองอากาศแทรกตัวอยู่มาก เมื่อเทลงภาชนะจะทำให้เกิดฟอง ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นเกินไปก่อนที่จะบรรจุเทผลิตภัณฑ์ห่างจากภาชนะเกินไปทำให้อากาศแทรกตัวอยู่ในผลิตภัณฑ์ดังนั้นควรเทไม่สูงเกิน 1 นิ้ว จากภาชนะ ใช้ผลไม้ดิบทำผลิตภัณฑ์ซึ่งมีแป้งอยู่มากเกินไป แป้งไม่ละลายจึงเกิดลักษณะขุ่น

2.4.4.4 การแยกตัวของของเหลวจากเจล สาเหตุมาจากปริมาณกรดมากเกินไปเกิดการทำลายโครงสร้างของเจล แก้ไขโดยวิธีการเพิ่มน้ำตาลและเพกทินหรือการผสมน้ำลงไปเพื่อเจือจางกรด มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดน้อยเกินไปทำให้ร่างแหของเพกทินอุ้มของเหลวไว้ไม่หมด