

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขนุน

ขนุน (Jackfruit) เป็นไม้ผลเขตร้อนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในโลก มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Artocarpus heterophyllus* อยู่ในวงศ์ Moraceae (Mulberry) มีถิ่นกำเนิดในประเทศอินเดีย เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดใหญ่ที่สามารถปลูกและดูแลรักษาง่าย สามารถเจริญเติบโตได้ในทุกสภาพพื้นที่ของประเทศไทย แต่ต้องไม่มีน้ำท่วมขังและดินต้องระบายน้ำได้ดี สามารถขึ้นได้ในดินเกือบทุกชนิด สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมได้ค่อนข้างดีและทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี ขนุนจะให้ผลผลิตได้หลังจากปลูกประมาณ 2-4 ปี (มานพ เหลืองพันธ์, 2543) ผลสุกมีคุณค่าทางโภชนาการสูง และเป็นแหล่งของเพกทิน (สัมฤทธิ์ เพ็ญจันทร์, 2538)

ชนิดของขนุน

ขนุนแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ ขนุนป่า และขนุนหนัง (มานพ เหลืองพันธ์, 2543) ดังนี้

1. ขนุนป่า มีลักษณะลำต้นใหญ่กว่าขนุนหนังมาก ทรงต้นสูง ผลขนุนป่ากินไม่ได้
2. ขนุนหนัง มีลักษณะลำต้นคล้ายขนุนป่ามาก แต่ต้นจะเตี้ยกว่าขนุนป่า ผลสามารถรับประทานได้ทั้งผลดิบและผลสุก ผลสุกฝักจะมีสีเหลือง กลิ่นหอม เนื้อยวงแห้งเหนียวหรือแน่น แข็งกรอบ รสชาติหวาน ขนุนหนังมีหลายสายพันธุ์ สามารถจัดกลุ่มพันธุ์ต่างได้ 2 กลุ่ม คือ

2.1 ขนุนพันธุ์หนัก ติดผลเมื่ออายุได้ 4 ปี ได้แก่ พันธุ์ทองสุคใจ พันธุ์ศรีบรรจง เป็นต้น

2.2 ขนุนพันธุ์เบา เป็นที่ให้ผลผลิตเร็วเมื่ออายุเพียง 2-3 ปี ได้แก่ พันธุ์จำปากรอบ พันธุ์ทองประเสริฐ พันธุ์ป่าจ้อ เป็นต้น

ขนุนพันธุ์ทองประเสริฐ

ขนุนพันธุ์ทองประเสริฐเป็นขนุนพันธุ์เบา สามารถออกดอกติดผลได้เมื่ออายุ 2 ปี หลังการปลูก และให้ผลผลิตทะวาย (นอกฤดูฤดูกาล) ผลมีลักษณะเป็นทรงกลม ฝักสวย เปลือกมีสีเขียวถึงสีเขียวอมน้ำตาล เปลือกบาง หนามใหญ่ ฐานกว้าง ผลมีน้ำหนักประมาณ 10-15 กิโลกรัม เนื้อยวงมีสีเหลือง เนื้อหนา รสชาติหวาน กรอบ อร่อย มีเนื้อ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผล มีช่ำน้อย ลักษณะต้นเป็นทรงพุ่มสูงโปร่ง ใบกลมใหญ่ ปลายใบมนมีสีเขียวเข้ม

ความสำคัญของขนุน

ขนุนรับประทานได้ทั้งผลอ่อนและผลสุก เนื้อผลสุกมีสมบัติช่วยระบาย บำรุงร่างกาย สามารถนำมาผสมกับอาหารประเภทอื่นให้มีรสชาติมากขึ้น เช่น ไอศกรีม รวมมิตร เป็นต้น และสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ และของหวานได้อีกหลายรูปแบบ เช่น ขนุนกวน ทำแยม ขนุนแผ่น ขนุนเชื่อม ขนุนเชื่อม ขนุนอบแห้ง ข้าวเกรียบขนุน ฯลฯ เมล็ดขนุนนำมาต้มรับประทานได้ช่วยขับน้ำนมหลังคลอดของสตรี สำหรับผลขนุนอ่อนสามารถใช้ประกอบอาหารได้หลายชนิด เช่น เป็นผักจิ้ม แกงคั่ว แกงส้ม เป็นต้น ยางขนุนใช้เป็นกาวสำหรับติดกนก ใช้อุดร่องของเรือไม้ได้ แก่นของต้นขนุนนำไปต้มให้สีเหลืองใช้ย้อมสรงจิวรได้

การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งของขนุน

ในประเทศไทยมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม การแปรรูปขนุนน้อยมาก โดยเฉพาะในส่วนที่เป็นเปลือกขนุน และแกนขนุน แต่ยังมีการศึกษาถึงการ ใช้ประโยชน์จากซังขนุนอยู่บ้าง เนื่องจากซังขนุนเป็นส่วนที่มีปริมาณใยอาหารสูง ซึ่งเป็น ทางเลือกหนึ่งของแหล่งวัตถุดิบในการเพิ่มเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ

สุภิญญา ชินชัย (2536) รายงานว่าซังขนุนแห้ง 100 กรัม มีปริมาณใยอาหาร 7.51 กรัม เมื่อนำซังขนุนแห้งบดละเอียดเติมลงในขนมทองม้วนในปริมาณ 0 5 10 15 และ 20 เปอร์เซ็นต์ พบว่าคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ความกรอบ และการยอมรับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่การใช้ซังขนุนแห้งในปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากได้คะแนนการยอมรับสูงสุด

จันทนา ชัดดำ และคณะ (2545) พบว่า ซังขนุนแห้ง 100 กรัมมีใยอาหาร 7.43 กรัม เมื่อ ทดลองนำซังขนุนแห้งบดละเอียดทดแทนแป้งสาลีในขนมปัง ขนมเค้ก และคุกกี้ พบว่าขนมปังที่ใช้ ซังขนุน 5 เปอร์เซ็นต์ ยังได้รับความยอมรับจากผู้ทดสอบ แต่ถ้าใช้ซังขนุนผงในปริมาณสูงขึ้นจะ ได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบลดลง ส่วนเค้กที่ใช้ซังขนุน 15 เปอร์เซ็นต์ ได้รับการยอมรับจากผู้ ทดสอบมากกว่าเค้กที่ไม่เติมซังขนุน แต่การเติมซังขนุนทำให้เค้กมีความร่วนมากขึ้น ส่วนการใช้ซัง ขนุนในคุกกี้ก็ไม่มีผลต่อความกรอบของคุกกี้

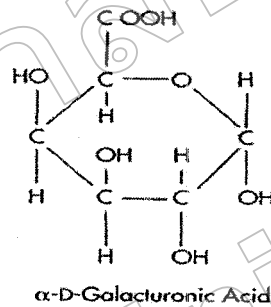
สารประกอบเพกทิน

สารประกอบเพกทิน เป็นกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่พบในเนื้อเยื่อพืช โดยจะพบ ในผนังเซลล์ (Cell Wall) และยังเกิดอยู่ในมิดเดิล ลามลลา (Middle Lamella) สารกลุ่มนี้ทำหน้าที่ เป็นตัวเชื่อมระหว่างเซลล์ (Intercellular Cement) เนื้อเยื่อที่พบสารพวกนี้มาก คือ ส่วนของเปลือก แก่น เนื้อเยื่อขาวของเปลือกส้ม สารประกอบเพกทินในผลไม้ดิบอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำในรูปของ

แคลเซียมเพกเตต (Calcium Pectate) และ โปรโตเพกติน (Protopectin) เมื่อผลไม้สุกจะเปลี่ยนรูปเป็นเพกตินที่ละลายน้ำได้

สารประกอบเพกตินประกอบด้วยกลุ่มโพลิเมอร์ของกรดกาแลกทูโรนิก

(D-Galacturonic acid) ดังภาพที่ 2-1 ซึ่งเชื่อมต่อกันโดยพันธะ α -1, 4-ไกลโคซิดิก (α -1,4-Glycosidic Linkage) ระหว่างวงแหวนไพราโนส (Pyranose Rings) ของกรดกาแลกทูโรนิก (D-Galacturonic Acid Unit) (Thakur, Singh, & Handa, 1997) และหมู่คาร์บอกซิลิก (COOH) บางส่วนเกิดเอสเทอร์กับหมู่เมทิล (Methyl Group) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยน้ำตาลอื่น ๆ ในโมเลกุล เช่น อราบินโนส (Arabinose) กาแลกโทส (Galactose) แรมโนส (Rhamnose) ไซโลส (Xylose) และกลูโคส (Glucose) ในปริมาณน้อย (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2544)



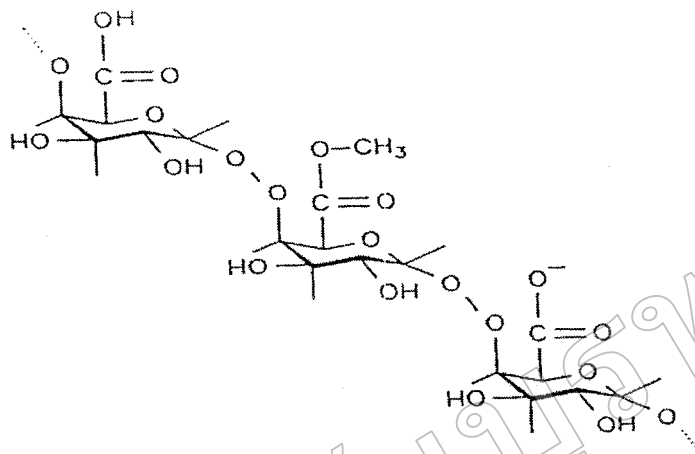
ภาพที่ 2-1 α -D-กรดกาแลกทูโรนิก (Charley & Weaver, 1998)

ประเภทของสารประกอบเพกติน

สารประกอบเพกตินเป็นกลุ่มสารประกอบเชิงซ้อนสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

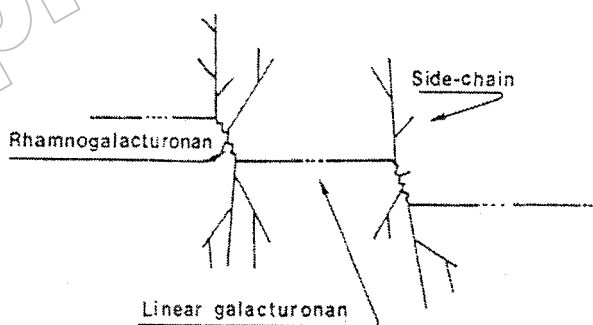
1. โปรโตเพกติน (Protopectin) เป็นคำที่ใช้เรียกสารตั้งต้นของสารเพกตินที่ไม่ละลายน้ำมีหมู่เมทอกซิลอยู่ในโมเลกุลประมาณ 9-12 เปอร์เซ็นต์ ระหว่างกระบวนการสุกของผลไม้ โปรโตเพกตินจะถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นเพกติน (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2539)

2. เพกติน (Pectin, Pectinic Acid) เป็นสารประกอบเพกตินที่ละลายน้ำได้ และเป็นกลุ่มคอลลอยด์ของกรดโพลีกาแลกทูโรนิก (Polygalacturonic Acid) ดังภาพที่ 2-2 บางส่วนถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยหมู่เมทิล และบางส่วนยังคงสภาพในรูปของกรดอิสระหรือรูปของเกลือโซเดียมหรือเกลือโพแทสเซียม อัตราส่วนของหมู่คาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์แสดงได้ในรูปของระดับการเกิดเอสเทอร์ (Degree of Esterification, DE) เพกตินในภาวะที่เหมาะสมสามารถเกิดเจลกับน้ำตาลและกรดได้ เช่น เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง หรือถ้าปริมาณของหมู่เมทอกซิลค่อนข้างต่ำจะสามารถเกิดเจลกับโลหะไอออนได้ เช่น แคลเซียมไอออน เพกตินชนิดนี้เรียกว่า เพกตินที่มีกลุ่มเมทอกซิลต่ำ (รัชนี ตัณฑะพานิชกุล, 2544)



ภาพที่ 2-2 โครงสร้างของเพกทิน (Thakur et al., 1997)

เมื่อพิจารณาถึงฐาน โครงสร้าง (Backbone) ของเพกทิน พบว่า สารประกอบเพกทินที่พบในผนังเซลล์จะมีความสัมพันธ์ไปตามอัตราส่วนของ Oligosaccharide Chain ที่อยู่บน Backbone และพบว่าสารประกอบเพกทินที่ตำแหน่ง Side Chain เป็นสายยาวกว่าเพกทินที่พบในมิลเล็ลลามลลา นอกจากนี้เพกทินยังประกอบด้วยแฉก โมเลกุลของน้ำตาลซึ่งเป็นเขตกั้นระหว่าง Homogalacturonic Acid แบ่งได้ 2 ลักษณะคือ Smooth Region และ Hairy Region ดังภาพที่ 2-3 Hairy Region ประกอบด้วย โมเลกุลน้ำตาล เช่น แรมโนส และ Smooth Region ไม่มีโมเลกุลน้ำตาล แรมโนส แต่เป็นน้ำตาลไซโลส เมื่อเพกทินถูกสกัดออกไป Hairy Region จะถูกทำลายเหลือเพียง Smooth Region และเกิดการแทนที่ของ โมเลกุลน้ำตาลที่เหลืออยู่



ภาพที่ 2-3 Pectin Backbone แสดง Hairy Regions (Rhamnogalacturonan and Side-Chains) และ Smooth Regions (Linear Galacturonan) (Thakur et al., 1997)

3. กรดเพคติก (Pectic Acid) เป็นอนุพันธ์ของเพกทินที่มีโซ่สั้น ๆ เกิดขึ้นเมื่อผลไม้สุกเต็มที่หรือสุกงอม ประกอบด้วยกรดกาแลกทูโรนิกที่มีหมู่คาร์บอกซิลที่ไม่สามารถถูก

เอสเทอร์ไฟต์ได้

โปรโตเพกทินมีมากในผลไม้ที่ยังไม่สุก เมื่อผลไม้เริ่มสุก ปริมาณของโปรโตเพกทินจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปเป็นเพกทินที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้ผลไม้มีความแน่นเหนือน้อยลง และต่อมามีระยะหนึ่งซึ่งปริมาณของเพกทินทั้งสองชนิดนี้จะค่อนข้างคงที่ และในที่สุดสารประกอบเพกทินทั้งหมดลดลงเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลระหว่างการสุกของผลไม้ และเนื้อสัมผัสของผลไม้จะนิ่มลง ดังนั้นจึงมีการเติมเกลือแคลเซียมเพื่อเพิ่มความแน่นเหนื่อของผัก และผลไม้ ก่อนการบรรจุกระป๋องหรือก่อนการแช่แข็ง เกลือที่ใช้กันทั่วไป คือ แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมซิเตรต แคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมแลคเตท และ โมโนแคลเซียมฟอสเฟต เป็นต้น (นิธิยา รัตนานันท์, 2539)

เปอร์เซ็นต์ของหมู่คาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์ แสดงถึง ระดับการเกิดเอสเทอร์ ระดับการเกิดเอสเทอร์มีความสัมพันธ์กับปริมาณเมทอกซิล ถ้าหมู่คาร์บอกซิลทั้งหมดในกรดโพลีกลูตามิกถูกแทนที่ด้วยหมู่เมทิล นั่นหมายถึงสามารถเกิดปฏิกิริยาเอสเทอร์ไฟต์ได้ อย่างสมบูรณ์ ซึ่งถือวาระดับการเกิดเอสเทอร์เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ เทียบเท่ากับปริมาณเมทอกซิลสูงสุด 16.32 เปอร์เซ็นต์ โดยคิดจากน้ำหนัก โมเลกุลเฉลี่ยของหมู่เมทอกซิล ($-OCH_3$) คือ 31 เทียบกับน้ำหนักโมเลกุลของกรดกลูตามิก คือ 190 เนื่องจากในธรรมชาติไม่มีเพกทินที่เกิดเอสเทอร์ครบทุกตำแหน่ง ปริมาณเมทอกซิลที่สูงกว่า 13.5 เปอร์เซ็นต์จึงมีจำนวนน้อย แต่อาจทำให้เกิดเอสเทอร์ไฟต์ (Esterified) ได้หมด โดยให้ทำปฏิกิริยากับไดอะโซมีเทน (Diazomethane) นอกจากนี้พบว่าหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 ของกรดกลูตามิกอาจถูกแทนที่ด้วยหมู่อะเซทิลได้ ซึ่งหมู่อะเซทิลนี้มีผลต่อสมบัติการเกิดเจลของเพกทิน (Pilgrim, Walter, & Oakenfull, 1991)

ชนิดของเพกทิน

เพกทินแบ่งตามระดับการเกิดเอสเทอร์ ได้แก่

1. เพกทินชนิดเมทอกซิลสูง (High Methoxyl Pectin, HM-Pectin) หมายถึง เพกทินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทอกซิลสูง หรือมีระดับการเกิดเอสเทอร์มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 โครงสร้างของเพกทินชนิดเมทอกซิลสูง (The International Pectin Producer Association [IPPA], 2004)

2. เพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ (Low Methoxyl Pectin, LM-Pectin) หมายถึง เพกทินที่มีระดับการแทนที่ด้วยหมู่เมทอกซิลต่ำ หรือมีระดับการเกิดเอสเทอร์น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 โครงสร้างของเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ (IPPA, 2004)

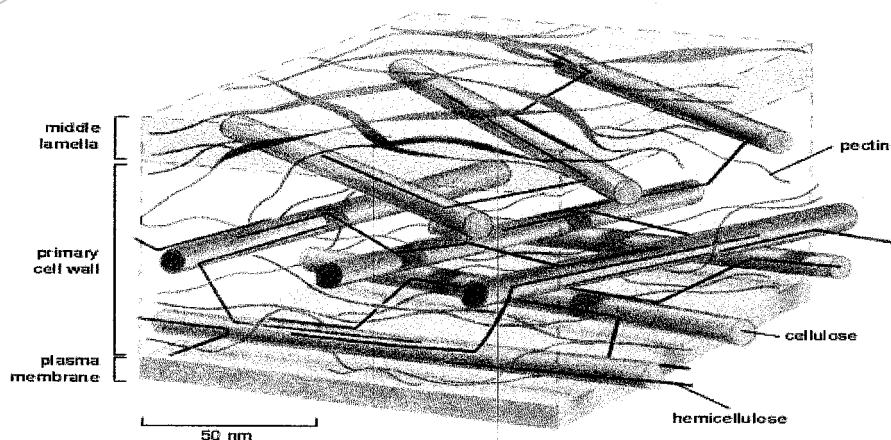
ในบางครั้งเพกทินที่ถูกสกัดได้จะมีหมู่อนุพันธ์แอมโมเนียเกิดขึ้นมาด้วย เราเรียกว่า Amidated Methoxyl Pectin ดังภาพที่ 2-6



ภาพที่ 2-6 โครงสร้างของ Amidated Methoxyl Pectin (IPPA, 2004)

แหล่งที่พบสารประกอบเพกทิน

สารเพกทินพบทั่วไปในผนังเซลล์ของพืชชั้นสูงและระหว่างเซลล์ของพืช พบมากที่สุด ในชั้นผนังเซลล์ที่เรียกว่า มิดเดิล ลามลลา ดังภาพที่ 2-7 ซึ่งจะช่วยให้มีลักษณะคงตัวในเนื้อสัมผัสของผักและผลไม้ ปริมาณเพกทินจะสัมพันธ์กับเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่มภายใต้ภาวะความอ่อนแก่ของผลไม้ และปริมาณความชื้นในผลไม้ ปริมาณเพกทินที่พบในผลไม้บางชนิด ดังตารางที่ 2-1



ภาพที่ 2-7 ชั้นมิดเดิล ลามลลาของผนังเซลล์พืช (IPPA, 2004)

ตารางที่ 2-1 ปริมาณเพกทินที่พบในผลไม้บางชนิด (Thakur et al., 1997)

ชนิดผลไม้	ปริมาณเพกทิน (% น้ำหนักเปียก)
แอปเปิ้ล (<i>Malus spp.</i>)	0.50-1.60
กากแอปเปิ้ล	1.50-2.50
กล้วย (<i>Musa acuminata L.</i>)	0.70-1.20
กากหัวบีท (<i>Beta vulgaris</i>)	1.00
มะเฟือง (<i>Averrhoa carambola</i>)	0.66
แครอท (<i>Daucus carota</i>)	0.20-0.50
กระทกรก (<i>Passiflora quadrangularis L.</i>)	0.40
ฝรั่ง (<i>Psidium guajava L.</i>)	0.77-0.99
กากมะนาว (<i>Citrus limon</i>)	2.50-4.00
ลิ้นจี่ (<i>Litchi chinensis S.</i>)	0.42
มะม่วง (<i>Mangifera indica L.</i>)	0.26-0.42
เปลือกส้ม (<i>C. sinensis</i>)	3.50-5.50
มะละกอ (<i>Carcia papaya</i>)	0.66-1.00
เสาวรส (<i>Passiflora edulis S.</i>)	0.50
เปลือกเสาวรส	2.10-3.00
พีช (<i>Prunus persica</i>)	0.10-0.90
สับปะรด (<i>Ananas comosus L.</i>)	0.04-0.13
สตอเบอรี่ (<i>Fragaria ananassa</i>)	0.60-0.70
มะขาม (<i>Tamarindus indica L.</i>)	1.71
ทิมเบิลเบอรี่ (<i>Rubus rosafolius</i>)	0.72
มะเขือเทศ (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	0.20-0.60

สมบัติทั่วไปของเพกทิน

1. การละลายน้ำ

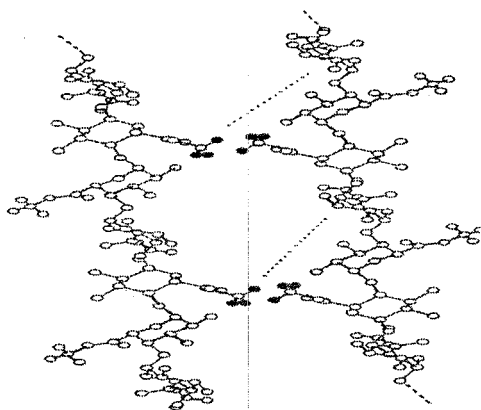
เพกทินละลายน้ำได้ทั้งหมด โดยเพกทินชนิดเมทอกซิลสูงจะละลายได้ในน้ำเย็นถ้ามีการกวนร่วมด้วย ส่วนเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำจะละลายในน้ำกระด้างโดยจะต้องให้ความร้อนด้วย โดยทั่วไปความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อมวลโมเลกุลลดลงและการเกิดเอสเทอร์ไฟด์

โดยทั่วไปความสามารถในการละลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อมวลโมเลกุลลดลงและการเกิดเอสเทอร์ไฟด์ของหมู่คาร์บอกซิลเพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และความเข้มข้นของสารละลายจะมีผลต่อความสามารถในการละลายด้วยก็ตาม (Thakur et al., 1997)

2. การเกิดเจลของเพกทิน

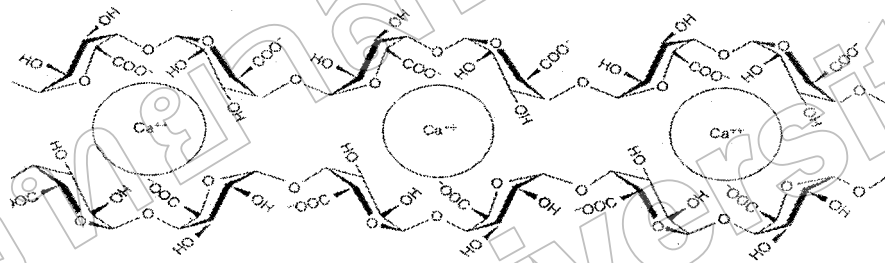
สมบัติในการเกิดเจลของเพกทินขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่างคือ ความยาวของสายโพลีเมอร์ และระดับการเกิดเมทอกซิล (Degree of Methoxylation, DM) เกิดเจลได้ดีที่ภาวะที่มีกรดและน้ำตาล โครงสร้างโมเลกุลของเพกทินจะเป็นเกลียว (Coil) มากกว่าสายตรง และมีพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่าพวกโพลีเมอร์สายยาว เช่น เซลลูโลส สาเหตุเนื่องจากลักษณะและรูปร่างของสาย คือ หมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่ง 2 และ 3 ซึ่งมีประจุไม่เกิดแรงดึงดูดกันกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรือหมู่เมทิล (-CH₃) และประจุที่เกิดจากการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิล (นิริยา รัตนานพนธ์, 2539)

การเกิดเจลของเพกทินจะมีสารช่วยคูดน้ำออกจากโมเลกุล (Dehydration Agent) เช่น น้ำตาลจะช่วยลดการละลายของเพกทินให้น้อยลง และมีกรดในปริมาณที่เหมาะสม การเกิดเจลของเพกทินชนิดเมทอกซิลสูงจะเกิดเจลได้ดีที่ภาวะที่มีกรดและน้ำตาล โดยไฮโดรเจนไอออน (H⁺) จากกรดจะช่วยลดจำนวนประจุลบของคาร์บอกซิลให้น้อยลง ทำให้ลดการผลักกันระหว่างประจุลบของหมู่คาร์บอกซิล ทำให้สายของเพกทินโมเลกุลเข้ามาใกล้กันได้ และเกาะกันเป็นตาข่าย (Junction Zone) ดังภาพที่ 2-8 เพกทินที่เกิดเจลดีที่สุดคือ เพกทินที่มีหมู่เมทอกซิลในโมเลกุลประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ หรือมีระดับการเกิดเมทอกซิลประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (นัยทัศน์ ภูศรีรัมย์, 2521)

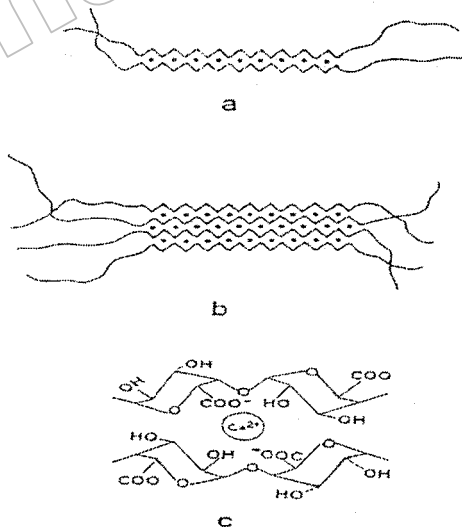


ภาพที่ 2-8 โครงสร้างของ Junction Zone ระหว่างการเกิดเจลของเพกทินชนิดเมทอกซิลสูงที่ได้จากการสะท้อนของรังสีเอกซ์ เมื่อเกิด Hydrophobic Interaction ระหว่างหมู่ของหมู่เมทิล (จุดทึบ) กับพันธะไฮโดรเจน (เส้นประ) (Thakur et al., 1997)

การเกิดเจลของเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำจะไม่เกิดเจลกับน้ำตาลและกรด แต่จะเกิดเจลร่วมกับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ดังภาพที่ 2-9 กลไกการเกิดเจลจะเกิดการ Cross Link ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล 2 หมู่กับแคลเซียมไอออน อธิบายโดยใช้ Egg Box Model ดังภาพที่ 2-10 การเกิดเจลของเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำเกิดในช่วงความเป็นกรด-ด่างสูง เนื่องจากต้องทำลายหมู่คาร์บอกซิล ($-\text{COO}^-$) เพื่อมาเชื่อมต่อกับพันธะของเกลือแคลเซียม โดยขนาดของ Junction Zone จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคลเซียมที่ถูกเติมลงไป ดังนั้นการเกิดเจลของเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำจึงมีประโยชน์ใช้สำหรับทำแยมหรือเยลลี่ที่ให้พลังงานหรือแคลอรีต่ำ และเตรียมได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ควบคุมอัตราการไฮโดรไลซ์หมู่เมทอกซิลออกจากโมเลกุลของเพกทินด้วยกรด ด่าง หรือเอนไซม์เพกทินเอสเทอร์เลส



ภาพที่ 2-9 โครงสร้างของ Junction Zone ระหว่างการเกิดเจลของเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ แสดงใน Egg-Box Model (Charley & Weaver, 1998)



ภาพที่ 2-10 การจับแคลเซียมในสายโพลีเมอร์ของกรดกาแลกทูโรนิก (a) Egg-Box Dimer (b) Aggregation of Dimers (c) Egg-Box Cavity (Thakur et al., 1997)

การกำหนดมาตรฐานของเพกทิน

ปริมาณของหมู่เมทอกซิลจะเป็นตัวที่มีผลต่อการเกิดเจลของเพกทิน และใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกประเภทของเพกทินออกเป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลสูง และเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ

การกำหนดมาตรฐานและลักษณะของ เพกทินชนิดเมทอกซิลสูงจะทำได้โดยคัดเกรดความสม่ำเสมอของเจล และความเร็วในการเกิดเจล วิธีการคัดเกรดของเจลทั้งหมดจะแสดงปริมาณน้ำตาลที่ทำให้มีการเกิดขึ้นของเจลเทียบกับเจลมาตรฐาน (ส่วนประกอบและความแข็งของเจลมาตรฐาน)

การวัดความแข็งแรงของเจลใช้วิธี US-SAG (Arnold, 1974 อ้างถึงใน กฤติกา บูรณ โชคไพศาล และเทิดพงษ์ เฉลียว, 2543) ซึ่งวัดค่าที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปในขอบเขตการยืดหยุ่น ส่วนวิธีอื่นๆ จะวัดค่าที่ทำให้เจลแตก ค่าที่ได้จะเป็นอัตราส่วนระหว่างค่าแรงที่วัดโดยวิธีของ SAG ต่อค่าแรงที่ทำให้เจลแตก สำหรับเพกทินที่ใช้ทำลูกกวาดจะต้องมีค่าของแรงที่ทำให้เจลแตกสูง ขณะที่เพกทินที่ใช้ทำแยมมีค่าของแรงที่ทำให้เจลแตกต่ำ ด้านการค้าระหว่างประเทศจึงกำหนดให้ใช้วิธีของ U.S. Institute of Food Technologist ในการแบ่งเกรดเพกทินจากความสามารถในการเกิดเจล เช่น เกล็ดเกรด 150 US-SAG หมายถึง เจลที่เกิดจากการเติมน้ำตาล 150 ส่วนต่อเพกทิน 1 ส่วน ในสารละลายที่มีของแข็งละลายได้ 65 °Brix ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.2-2.4 หลังจากการเอาออกจากพิมพ์แล้วทิ้งไว้ 2 นาที จะมีการยุบตัวลง 23.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากวิธี SAG แล้วสามารถวัดความแข็งแรงของเจลในรูปของแรงได้โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสต่าง ๆ

สำหรับการกำหนดมาตรฐานของเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำจะแตกต่างออกไปคือ โดยทั่วไปแล้วเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำต้องมีแคลเซียมไอออนในการเกิดเจล แต่ปริมาณที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ปริมาณเมทอกซิล วิธีการดีเอสเทอร์ิฟิเคชัน (De-Esterification) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้นวิธีที่ใช้ในการทดสอบจึงมีหลากหลายกว่าชนิดเพกทินชนิดเมทอกซิลสูง

นอกจากลักษณะการเกิดเจลแล้วยังมีลักษณะอื่น ๆ ที่สำคัญ คือ สีของผงเพกทินและสารละลาย ความร่วนของผงเพกทิน ความสามารถในการแพร่ ความหนืดของสารละลาย รสชาติ กลิ่น และความบริสุทธิ์ โดยจะแสดงเป็นกากของกรดที่ไม่สามารถละลายได้ ส่วนประกอบของโลหะหนักและอื่น ๆ (ณรงค์ ศิริรัมย์, 2546)

ความปลอดภัยในการเป็นสารปรุงแต่งอาหารของเพกทิน

คณะกรรมการพิจารณาร่างมาตรฐานอาหารระหว่างประเทศ (Codex Alimentarius Commission, CAC) ให้นิยามของ วัตถุเจือปนอาหาร คือ เป็นสารซึ่งปกติมิได้ใช้บริโภคเป็นอาหาร หรือใช้เป็นส่วนประกอบหลักของอาหาร อาจมีคุณค่าทางอาหาร หรือ ไม่มีคุณค่าทางอาหารก็ได้

วัตถุประสงค์ในการใช้สารนั้นก็เพื่อประโยชน์ในด้านเกี่ยวกับเทคนิคในการแปรรูป (รวมถึงคุณลักษณะในด้านประสาทสัมผัสด้วย) กรรมวิธีการแปรรูป การเตรียมวัตถุดิบ การบรรจุและอายุการเก็บของอาหารนั้น ตามนิยามนี้ทำให้เพกทินเป็นสารปรุงแต่งอาหาร ประเภทวัตถุเจือปนอาหารที่ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) สเตบิไลเซอร์ (Stabilizer) และสารที่ทำให้ข้นหนืด (Thickening Agent) (ศิวาพร ศิวเวช, 2546)

เพกทินพบตามธรรมชาติในพืช จากการทดลองที่ยาวนานพบว่าเพกทินเป็นสารปรุงแต่งอาหารที่ปลอดภัย และทดลองให้เพกทินในปริมาณมากเท่ากับสัตว์ทดลองพบว่าไม่เป็นพิษต่อสัตว์ทดลอง

คณะกรรมการผู้เชี่ยวชาญด้านวัตถุเจือปนอาหารขององค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติและองค์การอนามัยโลก (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additive, JECFA) ลงความเห็นให้เพกทินเป็น Unlimited Acceptable Daily Intake (ADI) หมายถึง ค่า ADI ที่ได้จากการประเมินข้อมูลการทดสอบทางพิษวิทยา และแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการใช้สารนั้นในอาหารนั้นแบบ Good Manufacturing Practice (GMP) แล้วปริมาณของการบริโภคของสารนั้นต่อวันไม่มีผลทำให้เกิดอาการผิดปกติขึ้น จากเหตุผลดังกล่าว คณะกรรมการ JECFA จึงมีมติเห็นว่าไม่จำเป็นต้องกำหนดปริมาณการใช้เพกทินในอาหารตามความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ ทำให้เพกทินต่างจากสารพวกที่ทำให้ข้นหนืดตัวอื่น ๆ (Arnold, 1974 อ้างถึงใน กฤติกา บูรณ์โชคไพศาล และ เท็ดพงษ์ เฉลียว, 2543)

ในอดีตเพกทินเคยถูกใช้แทนที่น้ำตาลเพื่อลดปริมาณแคลอรีในอาหาร การตัดสินใจเลือกใช้เพกทินขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยรวมทั้งระดับการเกิดเมทอกซิล และขนาดโมเลกุลของเพกทิน เกรดของเพกทินแสดงเป็นตัวเลข โดยตัวเลขนี้หมายถึงปริมาณน้ำตาลที่เป็นส่วนประกอบในการเกิดเจลของเพกทิน เพกทินที่ขายตามท้องตลาดมีตั้งแต่เกรด 100-500

การใช้ประโยชน์ของเพกทินในอุตสาหกรรมอาหาร

เพกทินมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากความสามารถของสารละลายเพกทินที่ต่างจากสารอื่น ๆ คือ สามารถสร้างเจลได้ในภาวะที่เหมาะสม การใช้ประโยชน์ของเพกทินแบ่งออกตามชนิดของเพกทิน ดังนี้

1. การประยุกต์ใช้เพกทินชนิดเมทอกซิลสูง

เพกทินชนิดเมทอกซิลสูงจะต้องใช้ปริมาณน้ำตาล 55-85 เปอร์เซ็นต์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.5-3.8 ในการเกิดเจล ดังนั้น เพกทินชนิดเมทอกซิลสูงที่ผลิตขึ้นมาจะใช้ในอุตสาหกรรมแยมและเยลลี่จำนวนมาก หน้าที่ของเพกทินคือจะทำให้เกิดลักษณะสัมผัสที่ดีในแยมหรือเยลลี่ซึ่งเมื่อเคลื่อนย้ายแล้วจะไม่เปลี่ยนรูปร่าง ให้รสชาติดี การหาคัดของวุ้นต่ำ ความเข้มข้นของเพกทินที่

ใช้ในการทำแยมและเยลลี่ในช่วง 1.0-4.0 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเยลลี่ที่ใช้ทำลูกกวาดความเข้มข้นของเพกทินที่ใช้ประมาณ 0.8-1.5 เปอร์เซ็นต์ (Cpkico, 2005)

2. การประยุกต์ใช้เพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ

เพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำนั้นไม่ต้องการน้ำตาลหรือกรดในการเกิดเจล ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลต่ำ หรือผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลลงไป

การใช้เพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำกับอาหารกระป๋อง โดยการเตรียมผลไม้เหลวผสมกับนมเย็นเพื่อทำเป็นพุดดิ้งนมกึ่งสำเร็จรูปกลิ่นผลไม้ และควบคุมการเกิดผลึกน้ำแข็งในอาหารแช่แข็ง (Thakur et al., 1997)

นอกจากนี้ยังมีการใช้เพกทินเสริมอาหารเพื่อช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือด และมีผลต่อการดูดซึมน้ำตาลกลูโคสผ่านลำไส้เล็ก โดยชะลอการดูดซึมสารอาหารผ่านลำไส้เล็ก เนื่องจากเพกทินไปเพิ่มความหนืดของของเหลวในกระเพาะอาหาร และเมื่อรับประทานกับน้ำทำให้เกิดความรู้สึกอิ่มบริเวณท้อง โดยไม่พบการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเพกทินกับแร่ธาตุในร่างกายมนุษย์จึงมีการนำเอาเพกทินผสมร่วมกับเส้นใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำและเอนไซม์บางชนิดออกมาจำหน่ายเพื่อใช้ในการลดน้ำหนัก นอกจากนี้การเสริมเพกทินในอาหารสามารถลดการเกิดสารก่อมะเร็งได้อีกด้วย (พรศักดิ์ ศรีอมรศักดิ์, 2545)

กรรมวิธีการสกัดเพกทินจากเปลือกผลไม้

การผลิตเพกทิน มีขั้นตอนที่สำคัญ ดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ

เปลือกผลไม้ที่จะนำมาสกัดต้องมีเปลือกด้านนอกเป็นเปลือกแข็งควรปอกเปลือกก่อน หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ หากไม่นำไปสกัดเพกทินทันทีให้ลวกเปลือกที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที เพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพกทิเนส (Pectinase Enzyme) บีบน้ำออก นำไปอบแห้งเก็บไว้ในรูปวัตถุดิบแห้งเพื่อนำไปสกัดเพกทินนอกฤดูกาล การอบแห้งนั้นจะไม่มีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้ โดยทั่วไปมีจุดมุ่งหมายเพื่อความสะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา (ณรงค์ศิริรัมย์, 2546)

2. การกำจัดสิ่งแปลกปลอม

วิธีการเตรียมวัตถุดิบเป็นขั้นตอนที่สำคัญต่อความบริสุทธิ์ ดังนั้นจึงต้องกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกให้หมด อาจบดเปลือกผลไม้กับน้ำโดยใช้เครื่องบด ซึ่งจะช่วยให้กำจัดสารแปลกปลอมได้ง่าย เช่น สี สารให้รสขม น้ำตาล กรด และสารอื่น ๆ ซึ่งทำได้ 2 วิธี (กฤติกา

บูรณ โชคไพศาล และเทิดพงษ์ เฉลียว, 2543)

วิธีที่ 1 ล้างเปลือกผลไม้ที่บดแล้วด้วยน้ำเย็นหรือน้ำร้อน เพกทินบางส่วนจะละลายไปกับน้ำ ซึ่งเพกทินที่สูญเสียไปนั้นเป็นเพกทินที่มีคุณภาพต่ำ เพกทินที่เหลือในขั้นตอนนี้จะอยู่ในรูปของโปรโตเพกทินเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ การล้างเปลือกผลไม้ให้มีประสิทธิภาพจะต้องล้างหลายครั้งพร้อมทั้งคนไปด้วยเพราะเพกทินที่ได้ออกมาจะมีคุณภาพดีหรือเลวขึ้นอยู่กับวิธีการล้างเป็นสำคัญ ถ้าหากกำจัดสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ ในเปลือกผลไม้ไม่หมดจะทำให้สารละลายเพกทินเข้มข้นขึ้น ไม่เกิดเจล หรือถ้าเป็นเพกทินผงก็จะเป็นเพกทินที่ดูความชื้นและจับตัวเป็นก้อน

วิธีที่ 2 ล้างเปลือกผลไม้ด้วยแอลกอฮอล์ วิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายมาก เช่น ล้างเปลือกส้มที่บดแล้วด้วยน้ำเย็นก่อนเช่นเดียวกับวิธีที่ 1 แล้วนำมาต้มในแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ เพื่อกำจัดสารละลายได้ในแอลกอฮอล์ออก

นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการสกัด Narirutin ซึ่งเป็นสารที่มีรสขมออกจากเปลือกส้มอบแห้ง โดยให้มีการสูญเสียปริมาณเพกทินน้อยที่สุด พบว่า ปริมาณการสูญเสียเพกทินจะสัมพันธ์กับอุณหภูมิ เวลา และความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกระหว่างการล้างเปลือกส้ม อุณหภูมิและระยะเวลาในการล้างเพิ่มขึ้นจะสกัด Narirutin ออกมาได้มากขึ้น แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของกรดปริมาณ Narirutin จะถูกสกัดออกมาได้น้อยลง จากการศึกษาในครั้งนี้นี้ภาวะที่เหมาะสมในการสกัด Narirutin โดยมีการสูญเสียปริมาณเพกทินน้อยที่สุด คือการใช้อุณหภูมิในการล้าง 62 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที โดยไม่ต้องเติมกรดไฮโดรคลอริก จะได้ปริมาณ Narirutin 0.6 เปอร์เซ็นต์ และสูญเสียเพกทินเพียง 1.5 เปอร์เซ็นต์ (Kim, Lee, Lee, & Kim, 2004)

3. การสกัดเพกทิน

การสกัดเพกทินสามารถทำได้โดยวิธีไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายกรดหรือด่าง Kertezs (1951) รายงานว่า การสกัดด้วยสารละลายด่างทำให้เกิดปฏิกิริยาดีเอสเทอร์ฟิเคชันสูงกว่าการใช้สารละลายกรด นอกจากนี้การสกัดที่ภาวะเป็นด่างจะทำให้เกิดปฏิกิริยา β -Elimination ทำให้โมเลกุลเพกทินถูกทำลายเป็นสาย โมเลกุลเพกทินที่สั้นลง ดังนั้นในการสกัดเพกทินจึงมักใช้สารละลายกรดเป็นตัวสกัดและกรดที่นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม คือกรดไฮโดรคลอริก นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดไนตริกในการสกัดด้วย หลังจากต้มสกัดแต่ละครั้งจะกรองผ่านตะแกรงที่มีขนาด 8-10 เมช (Mesh) แล้วกรองสารละลายด้วยผ้าหรือตะแกรงที่มีขนาด 80-90 เมช ขณะที่ยังร้อน หรืออาจใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงก็ได้สารละลายที่ใสและรวดเร็วกว่า

จากงานวิจัยที่มีการศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ในการสกัดเพกทิน (ธานี ตรีภูมอินทร์, 2533; ณรงค์ ศิขิรัมย์, 2546; Kalapathy & Proctor, 2001; Krachanov, Marev, Kirchev, & Bratanoff, 1986;

Mohamed & Hasan, 1995; Pagan & Ibarz, 1999; Sudhakar & Maini, 2000; Weisentorn, Wang, Chang, & Schwarz, 1999) สรุปได้ว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการสกัดเพกทินมีช่วงที่ศึกษา ดังนี้

- สารเคมีที่ใช้สกัด มีการใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นตั้งแต่ 0.05-0.20 นอร์มัล

กรดทาทาริก และกรดไนตริก และสาร โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5-5.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (ชานี ตรีภูณอินทร์, 2533; ณรงค์ ศิริรัมย์, 2546; Kalapathy & Proctor, 2001; Krachanov et al., 1986; Pagan & Ibarz, 1999)

- ความเป็นกรด-ด่างในการสกัด 1.20-3.23 (Kalapathy & Proctor, 2001; Pagan & Ibarz, 1999; Sudhakar & Maini, 2000; Weisentorn et al., 1999)

- อุณหภูมิในการสกัด 40-100 องศาเซลเซียส (ณรงค์ ศิริรัมย์, 2546; Kalapathy & Proctor, 2001; Krachanov et al., 1986; Mohamed & Hasan, 1995; Pagan & Ibarz, 1999; Sudhakar & Maini, 2000)

- เวลาในการสกัด 10-80 นาที (ณรงค์ ศิริรัมย์, 2546; Kalapathy & Proctor, 2001; Krachanov et al., 1986; Mohamed & Hasan, 1995; Pagan & Ibarz, 1999; Sudhakar & Maini, 2000)

- อัตราส่วนของวัตถุดิบต่อสารสกัด 1:1 ถึง 1:5 (ณรงค์ ศิริรัมย์, 2546; Kalapathy & Proctor, 2001; Weisentorn et al., 1999)

- จำนวนครั้งในการสกัด 1-4 ครั้ง (ชานี ตรีภูณอินทร์, 2533; ณรงค์ ศิริรัมย์, 2546; Kalapathy & Proctor, 2001; Weisentorn et al., 1999)

นอกจากนี้ยังได้มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินจากวัตถุดิบ แหล่งต่าง ๆ ได้แก่

Kalapathy and Proctor (2001) ศึกษาภาวะการสกัดเพกทินจากเปลือกถั่วโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.2 และ 0.3 นอร์มัล และตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ที่ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 พบว่า ความเข้มข้นของกรดมีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้โดยความเข้มข้นของกรดที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้ลดลง โดยปริมาณเพกทินที่สกัดได้เท่ากับ 26 และ 28 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของกรดที่ใช้สกัด และค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้ในการตกตะกอนไม่มีผลต่อความบริสุทธิ์ของเพกทินและระดับการเกิดเอสเทอร์โดยเพกทินที่สกัดได้มีกรดกาแลกทูโรนิก 68-72 เปอร์เซ็นต์ และระดับการเกิดเอสเทอร์เท่ากับ 56-60 เปอร์เซ็นต์

ณรงค์ ศิริรัมย์ (2546) ทำการสกัดเพกทินจากกากฝรั่ง พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกทิน คือ ใช้อัตราส่วนกากฝรั่งต่อกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.05 นอร์มัล เป็น 5: 1

สกัดที่อุณหภูมิ 98 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยสกัด 2 ครั้ง และใช้อัตราส่วนเอทานอลในการตกตะกอนเพกทินต่อสารละลายเพกทินเป็น 1.5: 1 เพกทินที่สกัดได้จัดเป็นเพกทินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง

4. การตกตะกอน

นำสารละลายเพกทินที่ได้มาทำการตกตะกอนด้วยตัวทำละลาย (Solvent) พบว่า เมื่อใช้อะซิโตนหรือแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 50-70 เปอร์เซ็นต์ในการตกตะกอนเพกทิน ตะกอนที่ได้จะอยู่ในรูปของ Fibrous หรือ Sponge ถ้าเกิด Fibrous มากเท่าใด เพกทินที่ได้จะมีค่าความแข็งแรงของเจล (Jelly Strength) มากเท่านั้น จากนั้นนำตะกอนที่ได้มากรองด้วย Drum Filter หรือ Vacuum Filter หรือ Hydraulic Press แล้วล้างตะกอนที่ได้ด้วยแอลกอฮอล์หรืออะซิโตนเข้มข้น 50-70 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่งเพกทินหมดสารปนเปื้อนต่าง ๆ จึงล้างด้วยแอลกอฮอล์ 80-90 เปอร์เซ็นต์ หรือไอโซโพรพานอล 99 เปอร์เซ็นต์อีกครั้งหนึ่งเพื่อช่วยให้ตะกอนเพกทินมีความชื้นลดลง และการตกตะกอนเพกทินอย่างแรงจะช่วยกำจัดแอลกอฮอล์ออกได้ 65 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอนุโมเนียมคลอไรด์สามารถตกตะกอนเพกทินที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์เกินกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ได้ที่มีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4.2 ในบางกระบวนการทำการระเหยน้ำออกจากสารสกัดก่อนการตกตะกอนทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการผลิต

สารที่นิยมใช้ตกตะกอนคือ เอทิลแอลกอฮอล์ พบว่า เมื่อใช้แอลกอฮอล์ตกตะกอนมีเถ้าปนออกมามาก เมื่อนำมาตกตะกอนร่วมกับกรดไฮโดรคลอริกจะลดปริมาณเถ้าได้ นอกจากนี้การทำ Dialysis เพกทินโดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.05 นอร์มัลและ Dialysis ซ้ำด้วยน้ำกลั่นพบว่าสามารถลดปริมาณเถ้าจาก 3.5 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 0.1 เปอร์เซ็นต์ และถ้าตกตะกอนซ้ำหลาย ๆ ครั้ง จะมี Uronide มากขึ้น เช่นเมื่อตกตะกอนเพกทินด้วยแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์เป็นครั้งที่ 4 จะมีกรดกาแลกทูโรนิกเพิ่มจาก 60 เปอร์เซ็นต์ เป็น 82 เปอร์เซ็นต์ เมื่อตกตะกอนเป็นครั้งที่ 6 จะเพิ่มกรดกาแลกทูโรนิกเป็น 83 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อทดลองล้างตะกอนที่มีความเข้มข้นที่ระดับต่าง ๆ กัน ผลปรากฏว่าถ้าล้างด้วยแอลกอฮอล์ 10 เปอร์เซ็นต์ เพกทินจากส้มจะมีกรดกาแลกทูโรนิกเป็น 77.5 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าล้างด้วยแอลกอฮอล์ 53 เปอร์เซ็นต์ จะมีกรดกาแลกทูโรนิกเป็น 92.5 เปอร์เซ็นต์

5. การทำเพกทินผง

หลังจากได้ตะกอนเพกทินที่ผ่านการล้างมาแล้วให้นำตะกอนเพกทินไปอบภายใต้สุญญากาศ ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส หรือจะอบในตู้ธรรมดา หรือตากแดดให้แห้งเมื่อแห้งแล้วจึงนำมาบดเป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100-120 เมช และก่อนที่จะบรรจุส่งออกจำหน่ายจะมีการปรับเพกทินให้ได้มาตรฐานก่อนเพื่อให้ได้เกรดเพกทินที่ถูกต้อง การปรับ

มาตรฐานของเพกตินเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดแตกต่างกัน ถ้าเป็นวิธีของ Commercial Pectin Preparation Food (C.P.P.F) จะแบ่งเกรดเพกตินได้ตั้งแต่ 10-220 เกรด ตามสมบัติการเกิดเจลร่วมกับน้ำตาล (กฤติกา บูรณ โศค ไพศาล และเทิดพงษ์ เฉลียว, 2543)

Corredig and Wicker (2001) ได้ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงมวลโมเลกุลของเพกตินทางการค้า 3 ชนิด ได้แก่ เพกติน A (เพกตินชนิดเมทอกซิลสูง, ระดับการเกิดเอสเทอร์ 70 เปอร์เซ็นต์) เพกติน B (เพกตินชนิดเมทอกซิลสูง, ระดับการเกิดเอสเทอร์ 71 เปอร์เซ็นต์) และเพกติน C (เพกตินชนิดเมทอกซิลต่ำ, ระดับการเกิดเอสเทอร์ 27-30 เปอร์เซ็นต์) โดยนำเพกตินทั้ง 3 ชนิด มาผ่าน Homogenization ที่ความดัน 17 และ 124 MPa เพื่อให้ความหนืดลดลงเกิดการเปลี่ยนแปลงมวลโมเลกุล วัตถุประสงค์การกระจายและขนาดของมวลโมเลกุลที่เปลี่ยนแปลงไปโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟี พบว่า เพกตินชนิดเมทอกซิลสูงเมื่อผ่าน Homogenization ที่ 124 MPa มีผลต่อการกระจายและขนาดโมเลกุลมากกว่าที่ 17 MPa แต่ในชนิด เพกตินชนิดเมทอกซิลต่ำไม่มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายและขนาดของมวลโมเลกุลเมื่อผ่าน Homogenization ที่ 17 และ 124 MPa

ปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกตินในผลไม้

เพกตินที่สกัดได้จากผลไม้แต่ละชนิดมีปริมาณและคุณภาพต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ

ดังนี้

1. ชนิดของผลไม้

ผลไม้ต่างชนิดกันจะมีปริมาณและคุณภาพของเพกตินไม่เหมือนกัน เช่น เพกตินที่พบในแอปเปิ้ลมีปริมาณเป็นครึ่งหนึ่งของเพกตินที่พบในเปลือกผลไม้ตระกูลส้ม

นัยทัศน์ ภูศรีนัย (2521) จากการศึกษาทดลองสกัดเพกตินจากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ ได้แก่ เปลือกมะนาวสด เปลือกส้ม ไอศด ชังขุ่นสด มะละกอดิบ กระเจี๊ยบแห้ง และฝรั่งสด โดยใช้สารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลา 1 ชั่วโมง แล้วตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ร่วมกับกรดไฮโดรคลอริก พบว่า สารเพกตินที่สกัดได้จากเปลือกมะนาวสดที่กำจัดเซลล์ผิวแล้วมีเพกติน 25.30 เปอร์เซ็นต์ สารเพกตินที่สกัดได้จากเปลือกส้ม ไอศดที่กำจัดผิวมีเพกติน 20.27 เปอร์เซ็นต์ สารเพกตินที่สกัดได้จากชังขุ่นสดมีเพกติน 11.48 เปอร์เซ็นต์ สารเพกตินที่สกัดได้จากมะละกอดิบมีเพกติน 8.93 เปอร์เซ็นต์ สารเพกตินที่สกัดได้จากกระเจี๊ยบแห้งมีเพกติน 7.33 เปอร์เซ็นต์ และสารเพกตินที่สกัดได้จากฝรั่งสดมีเพกติน 7.19 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เมื่อนำเพกตินที่สกัดได้จากเปลือกมะนาวมาทำแอมัลบิปะรด โดยเติมโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตลงไปช่วยทำให้แอมมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

วัฒนาวดี อินทุสุต (2527) ทดลองนำของเหลือทิ้งจากผลไม้ 12 ชนิด มาสกัดเพกติน คือ เปลือกส้ม ไอศดกำจัดผิว เนื้อพุทรา เปลือกมะกรูดที่ไม่ได้กำจัดผิว กากมะเขือเทศที่คั้นน้ำออกแล้ว

เปลือกมะม่วงสุก เปลือกและกากส้มเขียวหวานที่คั้นน้ำออกแล้ว เปลือกและกากส้มซึ่งที่คั้นน้ำออกแล้ว เนื้อเยื่อจากสับประรดที่คั้นน้ำออกแล้ว และเนื้อมะละกอดิบ เปลือกและกากมะนาวที่คั้นน้ำออกแล้ว เปลือกฝรั่งติดเนื้อ เปลือกแตงโมกำจัดผิว พบว่าปริมาณเพกทินที่สกัดได้สูงสุดได้จากเปลือกส้ม โอคิดเป็น 30.20 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง และปริมาณเพกทินที่สกัดได้ต่ำสุดได้จากกากมะเขือเทศคิดเป็น 4.99 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง

2. ความแก่อ่อนของผลไม้

ความแก่อ่อนของผลไม้จะมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกทิน พบว่าเพกทินในผลไม้มักจะอยู่ในรูปของโปรโตเพกทิน และเมื่อผลไม้สุกจะมีเอนไซม์โปรโตเพกทินเนสไฮโดรไลซ์โปรโตเพกทินจากสารที่ไม่ละลายน้ำเป็นเพกทินซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ ต่อมาเพกทินในผลไม้จะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์เพกทินเนส (Pectinase) ได้กรดเพกติกซึ่งเป็นคอลลอยด์ของกรดโพลีกลูตาเมตที่ไม่มีเมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) ในโมเลกุล และกรดเพกติกดังกล่าวนี้ไม่เกิดเจลกับน้ำตาลและกรด (แสงสวัสดิ์ เจริญตระกูล, 2533)

3. พันธุ์ของผลไม้

จากการศึกษาพบว่าผลไม้ชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์กันมีปริมาณเพกทินต่างกัน เช่นผลไม้ประเภทส้มสกุล Citrus Lemon Lime และ Pomelo มีปริมาณเพกทินมากที่สุด Oranges และ Grapefruit พบในปริมาณปานกลาง แต่ในส้ม Mandarins พบปริมาณเพกทินน้อยที่สุด (Askar & Treptow, 1993)

ส่วนในวัตถุดิบชนิดอื่นได้มีการศึกษาการสกัดเพกทินจากจานรองดอกทานตะวัน 3 สายพันธุ์คือ *Armavirsky*, *Zaria* และ *Record* สกัดด้วยโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ความเข้มข้น 0.75 เปอร์เซ็นต์ ที่ 65 องศาเซลเซียส ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5 เป็นเวลา 20 นาที พบว่าสายพันธุ์ที่แตกต่างกันมีผลให้ปริมาณเพกทินที่สกัดได้มีปริมาณแตกต่างกัน โดยพันธุ์ *Zaria* สกัดเพกทินสูงสุด 11.53 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็น *Record* และ *Armavirsky* ตามลำดับ (Sahari, Akbarian, & Hamedi, 2003)

4. ส่วนต่าง ๆ ของผลไม้

ในส่วนต่าง ๆ ของผลไม้มีเพกทินไม่เท่ากัน เช่น ผลไม้ตระกูลส้มมีเพกทินมากที่สุดในส่วนของอัลบีโด (Albedo)

ส่วนเปลือกของจำปาจะมีปริมาณเพกทินอยู่ในส่วนของซังมากกว่าเปลือกและแกน โดยนัยทัศน์ ภูธรันย์ (2530) รายงานว่า แกน เปลือก และซังของจำปามีเพกทินอยู่ 8.97 11.57 และ 12.14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อใช้โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต 2.5 เปอร์เซ็นต์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดเพกทินโดยเข้าไปจับกับไอออนที่เกาะกับโมเลกุล

เพกทินทำให้เพกทินละลายออกมาได้มากขึ้น พบว่า ของเหลือทิ้งทั้ง 3 ส่วนมีปริมาณเพกทินเพิ่มขึ้น จากเดิมโดยเฉลี่ย 49 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเป็นกรด-ด่าง 3.0 และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และการเพิ่มระยะเวลาในการสกัดเพกทินเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากแกน เปลือก และซังของจำปาจะเป็น 9.63 10.45 และ 11.91 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เวลาในการสกัดเป็น 30 45 และ 60 นาที ตามลำดับ

5. ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายกรด

การสกัดเพกทินทำได้โดยการไฮโดรไลซ์สารประกอบเพกทินด้วยสารละลายกรด กรดที่นำมาใช้ เช่น กรดอินทรีย์ กรดอินทรีย์ กรดซิตริกและกรดมาลิก ในอุตสาหกรรมการสกัดเพกทินจากผลไม้ตระกูลส้มโดยทั่วไปนิยมใช้กรดอินทรีย์ ซึ่งกรดอินทรีย์ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริกมีราคาถูก มีความปลอดภัยในการใช้งานมากกว่า กรดอินทรีย์ชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถกำจัดออกได้ง่าย (ธานี ตระกูลอินทร์, 2533)

จากการศึกษาของ Levigne, Ralet, and Thibault (2002) โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริกสกัดเพกทินจากต้นบีทสด พบว่า กรดที่ใช้สกัดทั้ง 2 ชนิด ไม่มีผลต่อลักษณะและปริมาณของเพกทินที่สกัดได้ โดยที่ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 1 ให้เพกทินที่มีคุณภาพมากที่สุด กรดกาแลกทูโรนิกที่วิเคราะห์ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่ระดับการเกิดเมทอกซิล และปริมาณอะซิทิล (Acetylation) มีค่าหลากหลายในแต่ละภาวะ ที่ความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ Molar Masses ของเพกทินที่สกัดได้จากต้นบีทสดจะสูงกว่า Molar Masses ของเพกทินที่สกัดได้จากกากหัวบีท แสดงให้เห็นว่าชนิดของวัตถุดิบที่ใช้มีผลต่อการเกิด Cross-Linking ใน โมเลกุลของเพกทิน

6. จำนวนครั้งที่ทำการสกัด

การสกัดเพกทินในครั้งแรกมีปริมาณเพกทินสูงกว่าการสกัดซ้ำในครั้งต่อ ๆ ไป ตามลำดับ ปริมาณเพกทินในแต่ละครั้งที่ทำการสกัดยังขึ้นอยู่กับชนิดของกรดที่ใช้สกัดด้วย

Agarwal and Pruthi (1968) ศึกษาผลของจำนวนซ้ำที่ทำการสกัดต่อปริมาณเพกทินจากเปลือกส้มแมนดารินด้วยกรดไฮโดรคลอริกและกรดซิตริก โดยทำการสกัด 3 ครั้ง พบว่า การใช้กรดไฮโดรคลอริกสกัดครั้งที่ 1 ได้ปริมาณเพกทิน 89.1 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเพกทินทั้งหมด ส่วนการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 จะได้ประมาณเพกทิน 7.2 และ 3.7 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณเพกทินทั้งหมด ตามลำดับ สำหรับการสกัดครั้งแรกของกรดซิตริกให้เพกทินเพียง 54.7 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเพกทินทั้งหมด และการสกัดครั้งที่ 2 และ 3 ได้เพกทิน 38.1 และ 6.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นถ้าใช้กรดซิตริกเป็นตัวสกัดอย่างน้อยต้องทำการสกัด 2 ครั้ง จึงจะสกัดเพกทินได้ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าใช้กรดไฮโดรคลอริกใช้ในการสกัดเพกทินเพียงครั้งเดียวสามารถสกัดเพกทินได้

เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าปริมาณกรดยูโรนิก และปริมาณเมทอกซิลของเพกทินที่ได้จากการสกัดในแต่ละครั้งของการสกัดมีความแตกต่างกันน้อยมาก

7. อัตราส่วนของสารที่ใช้สกัด

อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อเยื่อพืชต่อปริมาตรสารละลายกรดที่ใช้สกัดมีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดเพกทินขึ้นอยู่กับเนื้อเยื่อพืชแต่ละชนิด

ธานี ตระกูลอินทร์ (2533) พบว่า อัตราส่วนของอัลบิฮอสคของเปลือกส้มโอต่อปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (1: 3 1: 4 และ 1: 5) ไม่มีผลต่อปริมาณน้ำหนักสมมูล ปริมาณเมทอกซิล และปริมาณกรดยูโรนิกของเพกทินที่สกัดได้ แต่มีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้โดยในการสกัดที่อัตราส่วน 1: 4 และ 1: 5 ให้ปริมาณเพกทินสูงที่สุดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

Attri and Maini (1996) พบว่า อัตราส่วนของน้ำหนักแห้งของเปลือก Galgal (*Citrus pseudolimon*) (กรัม) ต่อสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (มิลลิลิตร) ที่เหมาะสมในการสกัดเพกทินเป็น 1: 10 และเมื่อนำเพกทินที่ได้ไปวัดสีพบว่า อัตราส่วนนี้ให้เพกทินที่มีสีดีกว่าส่วนอื่น ๆ (1:40)

8. เวลา อุณหภูมิ และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ใช้ในการสกัด

เวลาและอุณหภูมิที่ใช้สกัดเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพและปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากการสกัดนอกจากนี้ประสิทธิภาพการสกัดยังมีผลมาจากความเป็นกรด-ด่าง Kertesz (1951) พบว่า ช่วงของความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการสกัดเพกทินทั่วไป คือ 1.8-1.9 ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมของการสกัดขึ้นอยู่กับเนื้อเยื่อของพืชแต่ละชนิด

9. กรรมวิธีการสกัด การตกตะกอน และการทำให้บริสุทธิ์

กรรมวิธีการสกัด การตกตะกอน และการทำให้บริสุทธิ์มีผลต่อคุณภาพและปริมาณของเพกทินเช่นกัน ในการตกตะกอนเพกทินให้อยู่ในรูปเกลืออลูมิเนียมเพกทิเนท (Aluminium Pectinate) ถ้าใช้อลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminium Chloride) ในการตกตะกอนแล้วเพกทินที่ได้จะมีสมบัติดีกว่าการตกตะกอนด้วยอลูมิเนียมซัลเฟต (Aluminium Sulfate) หรือใช้สารส้ม ปริมาณเพกทินที่ได้จากการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์จะสูงกว่าปริมาณเพกทินที่ได้จากการตกตะกอนด้วยอลูมิเนียมคลอไรด์ นอกจากนี้เพกทินที่ได้จากการตกตะกอนด้วยอลูมิเนียมคลอไรด์มักจะมีปริมาณเมทิล (Methyl Content) ไม่เกิน 78 เปอร์เซ็นต์ (ธานี ตระกูลอินทร์, 2533)

Cho, Lee, and Kim (2003) มีการพัฒนาวิธีสกัดเพกทินจากเปลือกส้มโดยใช้กระบวนการ Crossflow Microfiltration เพื่อเพิ่มผลิตผลและเพิ่มความบริสุทธิ์ของเพกทิน จากการใช้อีเอกรองเซลลูโลส (Cellulose Membrane) ขนาด $0.2 \mu\text{m}$ ช่วยในการสกัด ทำให้ได้เพกทินที่มีกรด

กาแลกทูโรนิกเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณเพกทินที่สกัดได้ลดลง และวิธีนี้ยังช่วยลดการใช้เอทานอลในระหว่างขั้นตอนการตกตะกอนได้ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังเพิ่มความบริสุทธิ์โดยใช้ระบบล้างแบบ Fed-Batch Type Diafiltration ส่งผลให้กรดกาแลกทูโรนิกเพิ่มขึ้นอีกแต่ปริมาณของเพกทินลดลงอีกเช่นกัน

Iglesias and Lozano (2004) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเพกทินที่สกัดได้จากจานรองดอกทานตะวัน โดยใช้โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตสกัด จากนั้นตกตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริกตามวิธีของ Lin (Lin, Humbert, & Sosulski, 1976) พบว่าการสกัดวิธีนี้มีปริมาณได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับเพกทินทางการค้าที่เป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ พบว่าเพกทินที่สกัดได้เป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ มีค่าระดับการเกิดเอสเทอร์เท่ากับ 11 เปอร์เซ็นต์ กรดกาแลกทูโรนิกสูงถึง 77-85 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอะซิทธิลต่ำ 2.3-2.6 เปอร์เซ็นต์ มวลโมเลกุลเฉลี่ยเท่ากับ 39,500-52,000 และเพกทินสามารถเกิดเจลได้ดีเมื่อถูกเติมด้วยแคลเซียม ไอออนที่อุณหภูมิสูง

Kratchanova, Pavlova, and Panchev (2004) ศึกษาผลจากการใช้ความร้อนจากเตาไมโครเวฟกับวัตถุดิบก่อนการสกัด พบว่า ความร้อนจากไมโครเวฟช่วยในการการทำลายเนื้อเยื่อ Parenchyma Cell ซึ่งเป็นชั้นที่เก็บเพกทินอยู่ สามารถยับยั้งการทำงานของ Endogenous Enzymes และยังมีผลต่อปริมาณเพกทิน โดยปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากเปลือกส้มที่ผ่านความร้อนจากไมโครเวฟสูงกว่าเปลือกส้มที่ไม่ได้ผ่านความร้อนจากไมโครเวฟ โดยมีปริมาณเพกทินเพิ่มขึ้น 190 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้เปลือกส้มที่เก็บเกี่ยวในปี 1996 และเพิ่มขึ้นมากกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เปลือกส้ม ที่เก็บเกี่ยวในปี 1997 และเพกทินที่ได้มีคุณภาพดีขึ้นด้วย

นอกจากนั้นฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลไม้อีกมีผลต่อปริมาณเพกทินด้วยเช่นกัน กล่าวคือ มีรายงานว่าปริมาณเพกทินที่สกัดได้จากแอปเปิ้ลที่เก็บเกี่ยวในระหว่างช่วงฤดูเก็บเกี่ยวของแอปเปิ้ลสีแดง ได้มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณเพกทินที่สกัดได้ที่เก็บเลยช่วงฤดูเก็บเกี่ยว และจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ ถ้าสกัดจากแอปเปิ้ลที่เก็บในช่วงปลายฤดูเก็บเกี่ยว

Pagan, Ibarz, Llorca, Pagan, and Barbosa-Canovas (2001) ศึกษาลักษณะเพกทินที่สกัดได้จากกากลูกท้อสดกับลูกท้อที่เก็บนาน 10 เดือน ที่ 3 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิไม่มีผลต่อปริมาณเพกทินที่สกัดได้ เวลาที่ใช้สกัด 50 และ 70 นาที สามารถสกัดเพกทินได้มากที่สุด นอกจากนี้กากลูกท้อที่ถูกเก็บไว้นานสกัดเพกทินได้มากกว่ากากลูกท้อสด แต่การเก็บที่ภาวะดังกล่าวนาน ๆ มีผลต่อคุณภาพเพกทิน โดยเพกทินที่สกัดได้มีความสามารถไม่ดีในการเกิดการแข็งตัวของเจล และได้เพกทินที่มีคุณภาพต่ำกว่าเพกทินที่สกัดได้จากกากลูกท้อสด

ปัจจัยบ่งชี้คุณภาพของเพกทิน

การหาปริมาณเพกทินที่มีอยู่ในพืชเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะบอกได้ว่าพืชชนิดนั้นสามารถที่จะนำมาใช้เพื่อเป็นแหล่งของเพกทินในระดับอุตสาหกรรมได้ ต้องวิเคราะห์คุณภาพของเพกทินที่สกัดได้ควบคู่ไปด้วย (Thakur et al., 1997) ปัจจัยบ่งชี้คุณภาพของเพกทินได้แก่

1. ระดับการเกิดเอสเทอร์

ระดับการเกิดเอสเทอร์ หมายถึง จำนวนหมู่คาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์ด้วยหมู่เมทิล โดยคำนวณเป็นร้อยละของส่วนที่เป็นเอสเทอร์ต่อจำนวนของกรดกาแลกทูโรนิกที่มีอยู่ทั้งหมด ใช้เป็นตัวแบ่งประเภทเพกทิน เพกทินที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลสูง และเพกทินที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์น้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ จัดเป็นเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ

2. น้ำหนักสมมูลย์

น้ำหนักสมมูลย์ หมายถึง จำนวนกรัมของกรดโพลีกาแลกทูโรนิกบริสุทธิ์ขึ้นอยู่กับระดับการเกิดเอสเทอร์ ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนกลุ่มของคาร์บอกซิลอิสระ 1 กรัม โมลที่สมมูลย์กับหมู่ไฮดรอกซิล 1 กรัม โมล หาได้โดยวิธีการไตเตรทด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Rangana, 1997)

3. ปริมาณเมทอกซิล

ปริมาณเมทอกซิล หมายถึง จำนวนหมู่เมทอกซิลที่เข้าไปแทนที่หมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลกทูโรนิกในโมเลกุลของเพกทิน ปริมาณเมทอกซิลนี้มีความหมายคล้ายกับระดับการเกิดเอสเทอร์ และเป็นตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมเวลาการเกิดเจลของเพกทิน และความว่องไวในการตอบสนองต่อ Polyvalent Cation หาได้โดยการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) ของเพกทินและทำการไตเตรทเพื่อหาปริมาณคาร์บอกซิลอิสระที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Ranganna, 1977)

4 ปริมาณอะซิทิล

Ranganna (1977) รายงานว่าพืชบางชนิดเช่น หัวบีท และดอกทานตะวัน อาจมีกลุ่มอะซิทิล (Acetyl Group) ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการเกิดเจลของเพกทินลดลง Kertesz (1951) พบว่ากลุ่มอะซิทิลส่วนมากอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 ของกรดกาแลกทูโรนิก โดยมาเกาะแทนที่กลุ่มไฮดรอกซิล ปริมาณอะซิทิลในเพกทินที่ได้จากพืชต่าง ๆ มีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไปซึ่งหาได้โดยการทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมซัลเฟตและกรดซัลฟิวริก หลังจากนั้นไตเตรทกลุ่มอะซิทิลที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Ranganna, 1977)

5. ปริมาณกรดยูโรนิก

เป็นค่าที่บอกถึงความบริสุทธิ์ของเพกทิน โดยแสดงถึงองค์ประกอบสำคัญของเพกทินซึ่งเป็น Esterified Polygalacturonic Acid นอกจากนี้โครงสร้างเพกทินอาจมีองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น อราบิโนส กาแลกโทส หรือน้ำตาลตัวอื่นๆ อยู่ด้วย ดังนั้นถ้าเพกทินมีสารเหล่านี้อยู่มากปริมาณกรดยูโรนิกจะต่ำ กล่าวคือ เพกทินที่มีค่าความบริสุทธิ์ต่ำ ปริมาณกรดยูโรนิกสามารถหาได้โดยวิธีดีเอสเทอร์ริฟิเคชันเพกทินด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับ Carbazol (Ranganna, 1977) หรือทำปฏิกิริยากับ Meta-Hydroxydiphenyl หลังจากนั้นวัดความเข้มของสีที่เกิดขึ้นโดยวัดการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐาน

Kinter and Van Buren (1982) กล่าวว่า การวิเคราะห์ปริมาณกรดยูโรนิกโดยใช้ Carbazol จะให้ค่าที่สูงกว่าความเป็นจริงเนื่องจาก Carbazol ไม่ทำปฏิกิริยาเฉพาะกับกรดยูโรนิกเท่านั้นแต่ทำปฏิกิริยากับคาร์โบไฮเดรตตัวอื่นด้วย ส่วน Meta-Hydroxydiphenyl จะทำปฏิกิริยาเฉพาะกับกรดยูโรนิกมากกว่า Carbazol และ ไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์โบไฮเดรตตัวอื่น

6. เยลลี่เกรด (Jelly Grade)

เยลลี่เกรดเป็นค่าที่บอกถึงความสามารถของเพกทินในการเกิดเจล ประเมินได้จากการนำเพกทินที่สกัดได้มาเตรียมเป็นเยลลี่ในภาวะมาตรฐานกำหนด โดยใช้เพกทินในปริมาณต่างๆ กัน แล้วนำเยลลี่ดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับความแข็งกับเยลลี่มาตรฐานที่เตรียมได้ในภาวะมาตรฐานกำหนดแล้วประเมินเป็นค่าเยลลี่เกรด

เยลลี่

เยลลี่ หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำผลไม้ล้วนที่ได้จากการคั้นหรือสกัดจากผลไม้ หรือทำจากน้ำผลไม้ล้วนที่ผ่านกรรมวิธี หรือทำให้เข้มข้น หรือแช่แข็ง หรือผ่านการกรองและผสมกับน้ำตาลทำให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะทั้งนี้ให้รวมถึงเยลลี่ที่อยู่ในลักษณะแห้งด้วย

เยลลี่ ต้องมีลักษณะกึ่งแข็งกึ่งเหลวพอเหมาะสำหรับใช้ทำ (Spreadibility) ต้องให้แสงผ่านได้ ไม่มีชิ้นหรือเศษของผลไม้ปะปนอยู่ มีกลิ่นรสตามชนิดของผลไม้ที่ใช้ทำ อาจใช้สีผสมอาหารที่ได้รับอนุญาตในการปรุงแต่งได้ จะต้องมีปริมาณน้ำผลไม้หรือน้ำที่สกัดได้จากผลไม้ที่ใช้ทำไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของน้ำหนัก (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม [มอก.], 2521)

มาตรฐานของเยลลี่ตามมอก. 263 มีดังนี้

1. มีกลิ่นรสตามชนิดของผลไม้ที่ใช้ทำ
2. มีสารที่ละลายได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ของน้ำหนัก
3. มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 2.8-3.5

4. ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค
5. ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์หรือสารพิษอื่นในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ
6. ตรวจพบแบคทีเรียชนิด โคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 ต่อแอม 1 กรัม โดยวิธี MPN (Most Probable Number)

7. ตรวจพบสารปนเปื้อนดังต่อไปนี้ไม่เกิน

7.1 ตะกั่ว 1 มิลลิกรัม ต่อเฮลตี้ 1 กิโลกรัม

7.2 ดีบุก 250 มิลลิกรัม ต่อเฮลตี้ 1 กิโลกรัม

การเตรียมผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ

เพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำสามารถเกิดเจลได้ แม้จะใช้น้ำตาลปริมาณน้อยหรือไม่ใช้เลย แต่ต้องการไอออนของเกลือบางชนิด เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม ในการเกิดเจล และค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เกิดเจลจะอยู่ในช่วงกว้างกว่าเพกทินทั่ว ๆ ไป

เพกทินชนิดนี้ใช้ในการเตรียมแยมหรือเยลลี่ที่มีปริมาณแคลอรีต่ำได้ โดยใช้สารที่สังเคราะห์ขึ้นแทนน้ำตาล เช่น โซเดียมหรือแคลเซียมแซคคาริน ในการทำแยมหรือเยลลี่ชนิดนี้มักใช้เพกทิน 1.25-1.50 เปอร์เซ็นต์ และแคลเซียม 15-20 มิลลิกรัม ต่อเพกทิน 1 กรัม ปริมาณแคลเซียมที่ใช้นี้ใช้กับค่าความเป็นกรด-ด่างสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในราว 3.5 ถ้าปรับค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่านี้จะใช้ปริมาณแคลเซียมลดลงได้ เพกทินชนิดนี้ละลายได้ดีเมื่อไม่มีเกลือของแคลเซียมอยู่ในสารละลาย ดังนั้นในขั้นตอนการผลิตจะต้องละลายเพกทินก่อน และเติมสารละลายของเกลือแคลเซียมลงไปในขณะที่ยังร้อน เมื่อลดอุณหภูมิลงถึงอุณหภูมิห้องก็จะเกิดเจลขึ้น หรืออาจใช้เกลือแคลเซียมเติมลงพร้อมกับเพกทินก็ได้ แต่ต้องเลือกใช้เกลือแคลเซียมที่ละลายได้ช้าหรือละลายได้น้อย เช่น เกลือฟอสเฟต ซัลเฟตซเตรต โมโนหรือไดเบสิกแคลเซียมฟอสเฟตก็ได้

เจลที่ทำจากเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ จะเสียดง่าย เพราะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้อยุ่ต่ำ จึงควรบรรจุในภาชนะที่มีขนาดเล็ก ที่ใช้บริโภคในเวลาสั้น ๆ อาจมีการเติมสารกันบูด เช่น โซเดียมเบนโซเอต หรือกรดเบนโซอิกประมาณ 0.05-0.1 เปอร์เซ็นต์ แต่ในรูปกรดเบนโซอิกละลายน้ำได้ยาก จึงมักใช้ในกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณโซเดียมต่ำ ๆ เท่านั้น อาจใช้โปตัสเซียมซอร์เบทเป็นสารกันบูดได้เช่นเดียวกัน (Askar & Treptow, 1993)

ปัญหาที่มักเกิดกับผลิตภัณฑ์ที่เตรียมจากเพกทินชนิดเมทอกซิลต่ำ มีดังนี้

1. การเกิดน้ำไหลเยิ้ม (Syneresis, Bleeding, Weeping) อาจมีสาเหตุมาจาก

1.1 ปริมาณแคลเซียมสูงเกินไปสำหรับค่าความเป็นกรด-ด่าง หรือเกิดจากค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำเกินไป โดยค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 3.1-3.2

1.2 การเติมสารละลายแคลเซียมเร็วเกินไป หรือใช้สารละลายแคลเซียมที่เข้มข้นเกินไปหรือเติมขณะที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ไม่สูงพอ ทำให้เกิดเป็นเจลเร็วเกินไป ลักษณะของเนื้อผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอ สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ที่ใช้ประมาณ 1.67 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก/ปริมาตร) และควรเติมในขั้นตอนสุดท้ายของการผลิตขณะที่อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ประมาณ 82 องศาเซลเซียส

2. การเกิดเจลแข็งเกินไป ทำให้รสชาติไม่ดี เจลที่แข็งละลายได้ช้าบนลิ้น ทำให้สัมผัสกับต่อมรับรสบนลิ้นได้ช้า

การวางแผนการทดลองโดยใช้ Response Surface Methodology

Response Surface Methodology เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ (Response Variable) หรือ ตัวแปรตาม (Dependent Variable) และเซตของปัจจัยหรือตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ที่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ วิธีนี้จะนำมาใช้หลังจากที่ผู้ทดลองทราบแล้วว่าปัจจัยใดบ้างที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิต และต้องการทราบว่าระดับของปัจจัยเหล่านี้ระดับใดที่จะทำให้ผลผลิตสูงสุด หรือในระดับที่น่าพอใจ แผนการทดลองนี้ใช้เมื่อผู้ทดลองคาดว่ารูปแบบความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นโค้ง (ปารเมศ ชุตินา, 2545)

วัตถุประสงค์ในการใช้ Response Surface Methodology

1. เพื่อหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ได้ผลผลิตสูงสุด
2. เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมกับข้อจำกัดของกระบวนการผลิต
3. เพื่อหาเงื่อนไขของการผลิตใหม่ที่สามารถใช้ในการพัฒนาคุณภาพของผลผลิตจากระดับเดิม

4. หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเชิงปริมาณและผลผลิต

ขั้นตอนของ Response Surface Methodology

1. เลือกแผนการทดลอง Response Surface สำหรับการทดลอง ยกตัวอย่างเช่น Central Composite Design หรือ Box Behnken Design

2. สร้างแผนการทดลอง Response Surface

3. ทำการทดลองตามแผนที่สร้างไว้

4. สร้างสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลลัพธ์ และวิเคราะห์ความเหมาะสมของสมการ

5. สร้าง Contour Plot และ Surface Plot เพื่อดูจุดที่ดีที่สุดของผลลัพธ์

6. หาค่าระดับของปัจจัยที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด