

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ทูเรียน
2. เพคติน
3. การสกัดเพคติน
4. สารต้านอนุมูลอิสระ
5. แบบทดสอบ
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทูเรียน

ทูเรียน (Durian) เป็นไม้ผลไม้มือเมืองร้อนอยู่ในอันดับ Malesales วงศ์ Bombacaceae สกุล Durio ซึ่งประกอบด้วยสายพันธุ์ (Species) ต่าง ๆ จำนวน 27 ชนิด พันธุ์ที่ปลูกแพร่หลายเป็นการค้าคือ ทูเรียนบ้าน มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Durio Zibethinus* ทูเรียนเป็นไม้ผลที่มีชื่อเสียงมากที่สุดชนิดหนึ่งของประเทศไทย และได้รับการยกย่องให้เป็น “ราชาแห่งผลไม้” ซึ่งมีมากกว่า 200 สายพันธุ์ แต่มีประมาณ 60 - 80 พันธุ์ ที่ปลูกเป็นพันธุ์การค้า และมีเพียง 4 - 5 พันธุ์หลักที่มีการค้าขายมากในปัจจุบัน (ทรงพล สมศรี, 2551 : 7 - 8) ทูเรียนเป็นผลไม้เมืองร้อน มีถิ่นกำเนิดทางเอเชียตอนใต้ แถบหมู่เกาะบอร์เนียว อินโดนีเซีย มาเลเซีย ต่อมาได้แพร่กระจายไปยังที่ต่าง ๆ รวมทั้งประเทศไทย ซึ่งคาดว่าได้นำมาปลูกตั้งแต่สมัยต้นกรุงรัตนโกสินทร์ และมีปลูกกันมากในบริเวณกรุงเทพมหานคร และนนทบุรี ทูเรียนเป็นพืชที่ชอบอากาศร้อนและฝนตกชุก ชอบสภาพดินร่วนปนทรายระบายน้ำได้ดี จึงสามารถปลูกได้ดีทางภาคตะวันออกและภาคใต้ (สมศักดิ์ วรรณศิริ, 2530 : 14) สำหรับประเทศไทย มีการปลูกทูเรียนเป็นการค้าในหลายจังหวัดทั่วประเทศ โดยมีแหล่งผลิตที่สำคัญของประเทศคือ จันทบุรี ชุมพร ระยอง ยะลา และนครศรีธรรมราช (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560 ก : 73)

ทูเรียนจัดเป็นไม้ผลเขตร้อนชอบอากาศร้อน และเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 75 - 80 ฝนตกสม่ำเสมอ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 1,600 - 4,000 มิลลิเมตรต่อปี อุณหภูมิเฉลี่ย 24 - 30 องศาเซลเซียส (ทวีป รื่นรมย์ และภาวนา อัสวะประภา, 2534 : 22 - 25) ทูเรียนเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ มีอายุ 80 - 150 ปี จัดเป็นไม้เนื้ออ่อนที่ลำต้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 - 120 เซนติเมตร เป็นพืชใบเลี้ยงคู่ประเภทใบกว้างดอกทูเรียน เป็นดอกสมบูรณ์เพศ (Perfect Flower) จะออกเป็นช่อ ๆ ประมาณ 5 - 30 ดอกต่อช่อ โดยออกตามโคนกิ่งที่แยกออกจากลำต้น

(แสวง ภูศิริ. 2527 : 237) ส่วนผลปอกคลุมไปด้วยหนาม ทรงพีระมิด ผลประกอบด้วย 5 พู ภายในมีเมล็ด และเนื้อผลที่เจริญมาจากเยื่อหุ้มเมล็ด และเป็นส่วนที่ใช้รับประทาน รสชาติหวาน มีคุณค่าทางอาหารสูง มีกลิ่น และรสพิเศษเฉพาะตัวเป็นที่นิยมของผู้บริโภค (นิรนาม. 2535 : 182)

ปัจจุบันทุเรียนเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่สำคัญ ซึ่งนอกจากบริโภคในประเทศแล้ว ยังสามารถส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ เช่น จีน ฮองกง และเวียดนาม ซึ่งประเทศไทยเป็นแหล่งส่งออกทุเรียนที่สำคัญของโลก เนื่องจากมีชื่อเสียงในด้านคุณภาพ และรสชาติที่ดี รวมทั้งประเทศไทยยังเป็นผู้ผลิตทุเรียนรายใหญ่ที่มีคู่แข่งน้อยราย พันธุ์ทุเรียนที่นิยมปลูกในประเทศไทย ได้แก่ ทุเรียนพันธุ์หมอนทอง ชะนี ก้านยาว และกระดุม ในปี 2559 พบว่ามีเนื้อที่เพาะปลูก 715,341 ไร่ เนื้อที่ให้ผลผลิต 581,659 ไร่ ผลผลิต 517,955 ตัน ส่วนปริมาณส่งออกมีการส่งออกในรูปผลสด 402,660 ตัน คิดเป็นมูลค่า 17,469 ล้านบาท แช่แข็ง 20,430 ตัน คิดเป็นมูลค่า 2,173 ล้านบาท และทุเรียนแปรรูป 1,060 ตัน คิดเป็นมูลค่า 372 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2560 ข : 41)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของทุเรียน

จากรายงานของสำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคตะวันออก (2534 : 14) กล่าวว่า ทุเรียนมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ที่สำคัญ ดังนี้

1. ลำต้น (Stem) เป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ มีอายุยืนยาวถึง 80 - 150 ปี ต้นใหญ่เต็มที่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น 50 - 120 เซนติเมตร มีเปลือกแข็งสีเทาเป็นไม้ประเภทเนื้ออ่อน (Soft Wood) มีกิ่งออกจากลำต้น โดยรอบสลับทิศทางกัน
2. ใบ (Leaf) เป็นใบเลี้ยงคู่ ชนิดใบกว้าง (Broad Leaf) เป็นแบบใบเดี่ยว (Simple Leaf) ขนาดกว้าง 2 - 3 นิ้ว ยาว 6 - 8 นิ้ว
3. ดอก (Flower) มีลักษณะคล้ายระฆัง มีส่วนของดอกครบถ้วนและเป็นดอกสมบูรณ์เพศ (Complete Flower) มีรังไข่อยู่เหนือส่วนอื่นของดอก ในแต่ละดอกประกอบด้วย กลีบเลี้ยง กลีบรองกลีบดอก และเกสรตัวผู้
4. ผล (Fruit) ผลทุเรียนเป็นแบบแคปซูล มีเปลือกหนา มีหนามแข็งเป็นรูปพีระมิดตลอดผล ผลมีลักษณะกลมหรือกลมรี มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15 - 20 เซนติเมตร ยาว 25 - 35 เซนติเมตร เนื้อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของดิน สีของเนื้อขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของทุเรียนนั้น ๆ รสชาติหวาน มีกลิ่นเฉพาะตัว

พันธุ์ทุเรียน

ประเทศไทยจำแนกทุเรียนออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ (ฝ่ายข้อมูลวารสารเคหการเกษตร. 2537 : 110)

1. ทุเรียนนอกหรือทุเรียนพันธุ์พื้นเมือง ได้แก่ ทุเรียนป่า ทุเรียนดอน และทุเรียนนก

2. ทูเรียนโนหรือทูเรียนพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์หมอนทอง ชะนี กบ ลวง ก้านยาว และกระดุม เป็นต้น

พันธุ์ สำหรับทูเรียนสามารถแบ่งกลุ่มตามระยะเวลาตั้งแต่ทูเรียนเริ่มผลิดอกถึงระยะผลแก่พร้อมเก็บเกี่ยวได้เป็น 3 กลุ่ม คือ พันธุ์ที่มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น ปานกลาง และยาว ผลจะเก็บเกี่ยวได้เมื่ออายุ 95 - 105 วัน 105 - 120 วัน และ 120 - 135 วัน เช่น ทูเรียนพันธุ์กระดุม ชะนี ก้านยาวและหมอนทอง มีอายุการเก็บเกี่ยว 90 - 100, 100 - 110, 120 - 135 และ 120 - 135 วัน หลังดอกบาน ตามลำดับ (ทรงพล สมศรี. 2551 : 11 - 13)

ทูเรียนพันธุ์หมอนทอง

ทูเรียนพันธุ์หมอนทอง ผลมีขนาดค่อนข้างยาวใหญ่ น้ำหนักประมาณ 3 - 4 กิโลกรัม ทรงผลค่อนข้างยาวมีปาดผล ขั้วผลใหญ่ค่อนข้างยาว ปลายผลแหลม พุ่มไม้ไม่ค่อยเต็มทุกพุ่ม หนามห่างระหว่างร่องหนามทุก 1 - 2 ตารางนิ้ว หนามแหลมสูง ฐานหนามเป็นเหลี่ยม ระหว่างหนามใหญ่จะมีหนามเล็กวางแซมอยู่ทั่วไป ซึ่งเรียกหนามชนิดนี้ว่าเขี้ยว พุ่มหนามเห็นเด่นชัด ก้านผลใหญ่แข็งแรง ช่วงกลางก้านผลจนถึงปากปลิงจะอ้วนใหญ่เป็นทรงกระบอก เนื้อหนาสีเหลืองอ่อนละเอียด เนื้อค่อนข้างแห้งไม่แฉะติดมือ รสชาติหวานมัน เมล็ดน้อยและลีบเป็นส่วนใหญ่ เป็นพันธุ์หนึ่งที่ได้รับคามนิยมสูงในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและขายได้ราคาดี (สำนักงานส่งเสริมการเกษตรภาคตะวันออก. 2534 : 18)

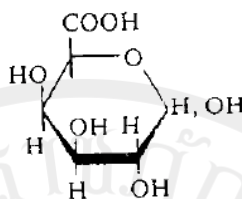
องค์ประกอบของทูเรียน

ทูเรียนเป็นผลไม้ที่มีเนื้อมาก น้ำน้อย และความหนืดสูง ตามองค์ประกอบทางเคมีพบว่าทูเรียนมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ในปริมาณสูง และคาร์โบไฮเดรตที่พบมีแป้งและน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่เท่ากันอย่างละ 1 ใน 3 ส่วน นอกจากแป้งและน้ำตาลแล้วยังพบเฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบด้วย สารประกอบเพคตินและกัมซึ่งเป็นตัวทำให้ทูเรียนมีเนื้อสัมผัสเหนียว พบได้ในบริเวณโครงสร้างของเนื้อเยื่อผลไม้ สารประกอบเพคตินจะพบมากบริเวณมิดเดิลลามลลา (Middle Lamella) และมักจะรวมกับเซลลูโลสที่บริเวณผนังเซลล์ปฐมภูมิ (Primary Cell Wall) (วิภาดา ศุภจรรยา และปรางิ์ อ่านเปรื่อง. 2537 : 173 - 180)

เพคติน

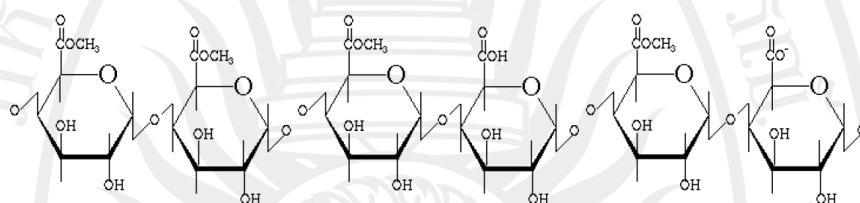
สารประกอบเพคติน

เพคตินเป็นสารที่เกิดจากโพลิเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิก (D-Galacturonic Acid) ดังภาพประกอบ 1 โดยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1 - 4 ไกลโคซิดิก (α -1,4-Glycosidic) และมีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) โดยบางส่วนจะถูกแทนที่ด้วยหมู่เมทิลเอสเทอร์ (-COOCH₃) ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 1 กรดกาแลกทูโรนิก (D-Galacturonic Acid)

ที่มา : รัชนี ตันตะพานิชกุล (2547 : 25 - 29)



ภาพประกอบ 2 โครงสร้างของเพคตินที่มีกรดกาแลกทูโรนิกเป็นองค์ประกอบ

ที่มา : องอาจ เต็ดดวง (2553 : 9)

เพคตินเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ของโพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharide) ที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ของพืชชั้นสูงเกือบทุกชนิด และเป็นสารที่ยึดระหว่างเซลล์ หรือชั้นมิดเดิลลามลลา (Middle Lamella) ให้เข้าด้วยกันโดยจับกับเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และไกลโคโปรตีนของผนังเซลล์พืช โดยเฉพาะบริเวณที่มีเนื้อเยื่ออ่อน เช่น ต้นอ่อน ใบ และผลไม้ พบมากโดยเฉพาะผลไม้จำพวกผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้มโอ ส้ม มะนาว นอกจากนี้ยังพบในพืชชนิดอื่น ๆ เช่น แอปเปิ้ล หัวบีท มะม่วง ฝรั่ง และดอกทานตะวัน เป็นต้น ในอุตสาหกรรมการผลิตเพคตินส่วนใหญ่นิยมสกัดจากเปลือกด้านในของผลไม้ตระกูลส้ม ซึ่งมีปริมาณเพคตินถึงร้อยละ 25 ต่อน้ำหนักแห้ง และนิยมใช้กากแอปเปิ้ลซึ่งมีปริมาณเพคตินประมาณร้อยละ 15 - 18 ต่อน้ำหนักแห้ง เพคตินที่สกัดได้จากเนื้อเยื่อพืชเหล่านี้มีสมบัติในการเกิดเจลได้เมื่อเติมกรดและน้ำตาลในปริมาณที่เหมาะสม (องอาจ เต็ดดวง, 2553 : 7 - 8)

สารประกอบเพคตินสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. โปรโตเพคติน (Protopectin) เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำและเป็นสารตั้งต้นของสารประกอบเพคตินชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีอยู่ในเนื้อเยื่อพืช สารเหล่านี้เมื่อเกิดไฮโดรไลซิสจะได้เพคตินหรือกรดเพคตินิก (Pectinic Acid) โปรโตเพคตินจะมีอยู่ในผลไม้ดิบ ซึ่งแก่จัดเต็มที่ระหว่างที่ผลไม้สุก

เอนไซม์ในผลไม้จะสลายโปรโตเพคตินและเกิดเป็นเพคติน โมเลกุลของโปรโตเพคตินมีหมู่เมทอกซิลอยู่ในโมเลกุลประมาณร้อยละ 9 - 12 เมื่อผลไม้สุกงอมหรือเน่าเสียจะเกิดการย่อยสลายเพคตินต่อจนได้กรดเพคติกและเมทิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากโปรโตเพคตินเป็นตัวเชื่อมประสานของเซลล์ในเนื้อเยื่อผลไม้ การสลายโปรโตเพคตินเป็นเพคตินซึ่งละลายน้ำจะทำให้พันธะระหว่างเซลล์อ่อนตัวลง ผลไม้จึงมีลักษณะนุ่มขึ้นเมื่อสุกแก่ โปรโตเพคตินอาจเกิดปฏิกิริยาซาโปนิฟิเคชัน (Saponification) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดกรดเพคติกและเมทิลแอลกอฮอล์ได้ (กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์, 2536 : 249 - 270) โครงสร้างของเพคตินมีแขนงข้างที่ประกอบด้วยน้ำตาลกาแลคโตสเป็นจำนวนมาก โปรโตเพคตินเปลี่ยนแปลงจากรูปที่ไม่ละลายน้ำเป็นรูปที่ละลายน้ำ โดยการทำงานของเอนไซม์โปรโตเพคตินเนส (Protopectinase) ทำให้เกิดการแยกตัวของเซลล์พืช ซึ่งสังเกตได้จากการที่เนื้อเยื่อพืชจะมีความแน่นน้อยลง และนิ่มลง

2. กรดเพคติก (Pectinic Acid) เป็นสารประกอบเพคตินหรือพอลิเมอร์ของกรดกาแลคทูโรนิกที่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์เหลืออยู่บางส่วน และเมื่อถูกไฮโดรไลซ์เอามุ่เอสเทอร์ออกจนหมดจะได้เป็นกรดเพคติน (นิธิยา รัตนานนท์, 2545 : 181)

3. กรดเพคติก (Pectic Acid) เป็นอนุพันธ์ของเพคตินที่มีโซ่สั้น ๆ เกิดขึ้นเมื่อผลไม้สุกเต็มที่ ซึ่งเป็นสารประกอบเพคตินหรือพอลิเมอร์ของกาแลคทูโรนิกที่ไม่มีหมู่เมทิลเอสเทอร์อยู่ในโมเลกุลเลย (นิธิยา รัตนานนท์, 2545 : 183)

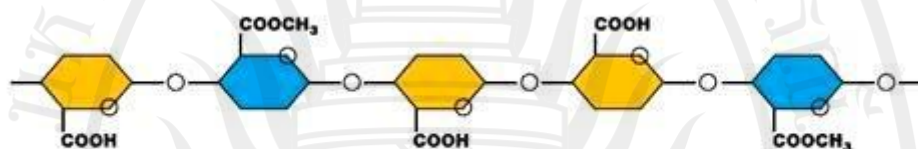
4. เพคตินเป็นตัวทำให้เกิดเจล (Gelling Agent) ที่ดี โดยทั่วไปสมบัติในการเกิดเจลของเพคตินขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง คือ ความยาวของสายพอลิเมอร์และระดับการเกิดเมทอกซิล (Degree of methoxylation ; DM) และการเกิดเจลได้ในภาวะที่มีกรดและน้ำตาล การเกิดเจลของเพคตินจะต้องมีสารช่วยคือน้ำออกจากโมเลกุล (Dehydrating Agent) เช่น น้ำตาลจะช่วยลดการละลายของเพคตินให้น้อยลง และมีกรดในปริมาณที่เหมาะสมโดยไฮโดรเจนไอออน (H^+) จากกรดจะช่วยลดจำนวนประจุลบของหมู่คาร์บอกซิลให้น้อยลง ทำให้ลดการผลักกันระหว่างประจุลบที่มีหมู่คาร์บอกซิลทำให้สายของเพคตินโมเลกุลเข้ามาใกล้กันได้และเกาะตัวกันเป็นตาข่าย เพคตินที่เกิดเจลที่ดีที่สุดคือ เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลในโมเลกุลประมาณร้อยละ 8 คือ มีระดับการเกิดเมทอกซิลประมาณร้อยละ 50 (นิธิยา รัตนานนท์, 2545 : 184 - 185)

ชนิดของเพคติน

เพคตินแบ่งตามระดับของการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันได้ 2 ระดับ ดังนี้

1. เพคตินชนิดที่มีเมทอกซิลต่ำ (Low Methoxyl Pectin : LMP) ดังภาพประกอบ 3 เป็นเพคตินที่มีระดับของการแทนที่ด้วยหมู่เมทอกซิลต่ำ หรือมีระดับการเกิดเอสเทอร์น้อยกว่าร้อยละ 50 ในเพคตินทางการค้าจะมีระดับการเกิดเอสเทอร์อยู่ในช่วงร้อยละ 20 - 40 การเกิด

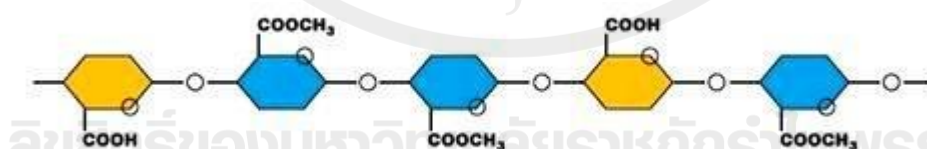
เจลชนิดนี้จะไม่เกิดเจลกับน้ำตาลและกรด แต่จะเกิดเจลร่วมกับแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) อยู่ประมาณร้อยละ 3 - 7 มีของแข็ง ที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid) ตั้งแต่ร้อยละ 10 - 80 เพคตินชนิดนี้ จะไม่สามารถเกิดเจลได้หากมีปริมาณแคลเซียมไม่เพียงพอ เนื้อสัมผัสของเจลจะมีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่นมากกว่าเจลที่ได้จากเพคตินที่มีเมททอกซิลสูง (ธนาวรรณ สุขเกษม. 2556 : 12) การละลายน้ำ จะสามารถละลายได้ในน้ำกระด้าง โดยจะสามารถละลายได้ดีในน้ำอุ่น หรือน้ำที่มีอุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้ความร้อนเป็นตัวช่วยในการละลาย เพคตินชนิดนี้นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร ที่ต้องการให้มีปริมาณน้ำตาลเพียงเล็กน้อย เช่น ผลิตภัณฑ์ลดน้ำหนัก (องอาจ เต็ดดวง. 2553 : 24)



ภาพประกอบ 3 โครงสร้างของเพคตินชนิดที่มีเมททอกซิลต่ำ

ที่มา : Silvateam. Online. 2011

2. เพคตินชนิดที่มีหมู่เมททอกซิลสูง (High Methoxyl Pectin : HMP) ดังภาพประกอบ 4 เป็นเพคตินที่มีระดับของการแทนที่ด้วยหมู่เมททอกซิลสูง หรือมีระดับการเกิดเอสเทอร์มากกว่าร้อยละ 50 ในเพคตินทางการค้าจะมีระดับการเกิดเอสเทอร์อยู่ในช่วงร้อยละ 55 - 65 การเกิดเจลจะเกิดเจลได้เฉพาะในระบบที่มีน้ำตาล และมีกรดเป็นองค์ประกอบ ถ้ามีปริมาณน้ำตาลและค่าความเป็นกรดมาก ก็จะทำให้ความแข็งแรงของเจลเพคตินเพิ่มขึ้น (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. ออนไลน์. 2553) การละลายน้ำจะสามารถละลายได้ในน้ำเย็น แต่จะมีการจับตัวกันเป็นก้อนทำให้ละลายได้ช้าและยาก จึงต้องใช้วิธีการกวนเพื่อช่วยในการละลายของเพคติน เพคตินชนิดนี้นิยมใช้ในการผลิตแยม เบเกอรี่ หรือขนมหวาน (องอาจ เต็ดดวง. 2553 : 27)



ภาพประกอบ 4 โครงสร้างของเพคตินชนิดที่มีหมู่เมททอกซิลสูง

ที่มา : Silvateam. Online. 2011

ปัจจัยปัจจัยคุณภาพเพคติน

การสกัดเพคตินโดยการหาปริมาณเพคตินที่มีอยู่ในพืชเพียงอย่างเดียวเดิมนั้นไม่เพียงพอที่จะบอกได้ว่าพืชชนิดนั้นมีคุณสมบัติที่จะสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งของเพคตินในระดับอุตสาหกรรมได้ จำต้องเป็นมีการวิเคราะห์คุณภาพของเพคตินที่เราสกัดได้ โดยมีปัจจัยเกี่ยวข้องดังนี้

1. ระดับการเกิดเอสเทอร์ (DE) เป็นการหาร้อยละของกรดกาแลคทูโรนิกที่ถูกเอสเทอร์รีไฟด์ด้วยหมู่เมทิล ถ้ามีหมู่คาร์บอกซิลในกรดพอลิกลาแลคทูโรนิกทั้งหมดเป็นเอสเทอร์จะมีปริมาณของหมู่เมทอกซิลร้อยละ 16.32 ซึ่งลักษณะนี้จะถือว่าเป็นระดับของการเกิดเอสเทอร์ร้อยละ 100 (Kertesz, 1951 : 79 - 80) โดยมีการแบ่งเพคตินตามระดับการเกิดเอสเทอร์ คือ เพคตินชนิดที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์มากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป หรือมีปริมาณเมทอกซิลตั้งแต่ร้อยละ 8.16 ขึ้นไปจัดเป็นเพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลสูง ส่วนเพคตินชนิดที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์น้อยกว่าร้อยละ 50 หรือมีปริมาณเมทอกซิลต่ำกว่าร้อยละ 8.16 จัดเป็นเพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลสูง

2. กรดแลคทูโรนิก (Galacturonic Acid) คือ การนำเพคตินที่สกัดได้ไปทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกเพื่อให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) เข้าแทนที่หมู่เมทิลกับไอออนของโลหะ ซึ่งจะทำให้ได้กรดกาแลคทูโรนิกที่มีหมู่คาร์บอกซิล เป็นองค์ประกอบทั้งหมด จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยากับสารละลายคาร์บาซอลก็จะได้สารละลายสีม่วง แล้วนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงเพื่อหาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกจากเพคตินที่เราสกัดได้ (ชนาวรรณ สุขเกษม, 2556 : 14)

3. ปริมาณ น้ำหนักสมมูล (Equivalent Weight; Eq.Wt.) หมายถึง จำนวนกรัมของกรดพอลิกลาแลคทูโรนิกบริสุทธิ์ (Polygalacturonic Acid) โดยขึ้นอยู่กับระดับการเกิดเอสเทอร์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับจำนวนกลุ่มของหมู่คาร์บอกซิลอิสระ 1 กรัมโมล ที่สมมูลกับไฮดรอกซิล 1 กรัมโมล ซึ่งใช้วิธีการไตเตรดด้วยสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH) (ณรงค์ ศิริรัมย์, 2546 : 41)

4. ปริมาณหมู่เมทอกซิล (Methoxyl Content; MeO.) หมายถึง จำนวนของหมู่เมทอกซิลที่อยู่ในโมเลกุลของเพคติน ปริมาณหมู่เมทอกซิลนี้จะคล้ายกับระดับการเกิดเอสเทอร์ และเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการควบคุมเวลาในการเกิดเจลของเพคติน และความว่องไวในการตอบสนองต่อโพลีวาเลนต์แคตไอออน (Polyvalent Cation) ซึ่งใช้วิธีการหาโดยการทำปฏิกิริยาสaponification ของเพคติน และทำการไทเทรตเพื่อหาหมู่คาร์บอกซิลอิสระด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Ranganna, 1986 : 724 - 725)

5. ปริมาณหมู่อะซิทิล (Acetyl Content) จากรายงานของรังกานนา Ranganna (1986 : 726 - 727) กล่าวว่า พืชบางชนิด เช่น หัวบีท และดอกทานตะวัน อาจมีหมู่อะซิทิล (Acetyl Group) ซึ่งจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของการเกิดเจลของเพคตินลดน้อยลง และจากรายงานของเคอเทสแซท (Kertesz

(1951 : 79-81) กล่าวว่าหมีอะซีทิล ส่วนมากจะอยู่ที่คาร์บอนในตำแหน่งที่ 2 หรือ 3 โดยจะเกาะที่หมีไฮดรอกซิล ปริมาณอะซีทิลในสารเพคตินที่ได้จากพืชแต่ละชนิดนั้นจะมีปริมาณสารเพคตินมากน้อยแตกต่างกันออกไป ซึ่งขึ้นอยู่กับการทำปฏิกิริยาสaponification ของเพคติน และนำมาทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมซัลเฟตและกรดซัลฟิวริก โดยกรดซัลฟิวริกจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หลังจากนั้นก็นำไปทำการไทเทรตกับหมีอะซีทิลอิสระที่เกิดขึ้นกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

6. ปริมาณกรดยูโรนิก (Anhydrouronic Acid) เป็นค่าที่บ่งบอกความบริสุทธิ์ของเพคติน เนื่องจากเพคตินมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ กรดโพลิกลแลกทอนิก (Esterified Polygalacturonic Acid) นอกจากนี้โครงสร้างของเพคตินอาจมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น น้ำตาลแอมบีโนส กาแลคโตส หรือน้ำตาลตัวอื่น ๆ รวมอยู่ด้วย ซึ่งถ้าเพคตินมีสารเหล่านี้ปนอยู่มากจะทำให้มีปริมาณกรดยูโรนิกต่ำ การหาปริมาณกรดยูโรนิกสามารถทำได้โดยใช้วิธีดีเอสเทอร์ิฟิเคชันเพคตินด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับสารละลายคาร์บาโซล (Ranganna, 1986 : 728 - 730) หลังจากนั้นทำการวัดความเข้มของสีที่เกิดขึ้นโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงเทียบกับกราฟมาตรฐาน

7. เจลลี่เกรด (Jelly Grade) เป็นค่าที่บ่งบอกความสามารถของเพคตินในการเกิดเจล ซึ่งประเมินได้จากการนำเพคตินที่สกัดได้มาเตรียมเป็นเซลล์ในสภาวะมาตรฐานกำหนด โดยใช้เพคตินในปริมาณต่าง ๆ หรือใช้ในปริมาณที่แตกต่างกัน จากนั้นนำเซลล์มาเปรียบเทียบกับความแข็งกับเซลล์มาตรฐาน และทำการประเมินค่าเจลลี่เกรด (Ranganna, 1986 : 731 - 732)

การนำไปใช้ประโยชน์ในอาหาร

ในปัจจุบันเรานิยมนำเพคตินมาใช้ในอาหารประเภทต่าง ๆ เช่น แยม เยลลี่ เบเกอรี่ เครื่องดื่ม และผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะคล้ายเยลลี่ โดยเพคตินมีหน้าที่ ดังนี้

1. เป็นตัวทำให้เกิดเจล เพคตินมีคุณสมบัติพิเศษ คือ เมื่อรวมตัวกับน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสม เกิดเป็นเจลที่อ่อนนุ่ม นิยมนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ แยมหรือเยลลี่
2. เป็นสารที่ทำให้เกิดการข้นหนืดของผลิตภัณฑ์อาหาร
3. เป็นสารที่ทำให้เกิดการคงตัว (Stabilizer) ป้องกันการตกตะกอนของนมเปรี้ยว ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันการตกตะกอนโปรตีนเคซีน
4. เป็นสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน (Emulsifier) ทำให้เกิดการคงตัวโดยทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างเฟสของน้ำมันและน้ำ
5. เป็นสารพรีไบโอติก (Prebiotic) ซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรียกลุ่มโพรไบโอติก (Probiotic) ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ร่างกาย และเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์อาหารสุขภาพ (Functional Food)

6. การเติมเพคตินชนิดเมททอกซิลต่ำในปริมาณเล็กน้อยลงในโยเกิร์ตจะช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตให้ดีขึ้น
7. ในน้ำผลไม้เข้มข้นจะเติมเพคตินชนิดเมททอกซิลสูง เพื่อช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับอนุภาคของเนื้อผลไม้ ทำให้เกิดกระจายตัวของสารแขวนลอย และไม่ทำให้เกิดการตกตะกอน
8. ในน้ำผลไม้ผงสำเร็จรูปจะมีการเติมเพคตินชนิดเมททอกซิลสูง ลงไปเพื่อให้เกิดความรู้สึกเหมือนรับประทานน้ำผลไม้ธรรมชาติในขณะดื่ม
9. ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ เช่น แยมที่นำมาเติมในทาร์ต (Tart) จะทนต่อการอบ ทำให้ผิวเรียบเป็นเงาหลังจากการอบ
10. ใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์หลายประเภท เช่น ขนมหวานแช่เยือกแข็ง น้ำปรุงซุพ ครีมแต่งหน้าไอศกรีม ครีมแต่งหน้าเค้ก ครีมทาแซนวิส ซอส น้ำสลัด น้ำมายองเนส เล็กคูกี้ เนยแข็ง โยเกิร์ต เป็นต้น

การสกัดเพคติน

การสกัดเพคตินจากเนื้อเยื่อพืช

การสกัดเพคตินจากเนื้อเยื่อพืช เป็นการสกัดโดยอาศัยหลักการทำให้เพคตินละลายออกมาจากเนื้อเยื่อพืช ซึ่งโดยทั่วไปเพคตินในเนื้อเยื่อพืชจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งโปรโตเพคตินจะอยู่ร่วมกับสารอื่น เช่น เซลลูโลส แคลเซียม และออลิโกนอื่น ๆ การที่จะทำให้สารเหล่านี้ละลายออกมาได้ก็ต้องสกัดด้วยสารละลายกรดหรือสารละลายด่างที่ร้อน โดยทั่วไปขั้นตอนการสกัดเพคตินจะมีกรรมวิธี ดังนี้

1. การเตรียมวัตถุดิบ นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ไปบด และขจัดสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ เช่น สี สารให้รสขม กรด น้ำตาล ตลอดจนสารอื่น ๆ ออกให้หมด โดยวิธีล้างด้วยน้ำเย็น และล้างด้วยเอทานอล ในกระบวนการล้างอาจมีเพคตินบางส่วนละลายไปกับน้ำ ซึ่งเป็นเพคตินที่มีคุณภาพต่ำ ส่วนเพคตินที่เหลืออยู่จะเป็นเพคตินที่อยู่ในรูปโปรโตเพคตินซึ่งเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ การล้างน้ำควรล้างหลาย ๆ ครั้ง พร้อมทั้งคนไปด้วย เพคตินที่สกัดออกมาจะมีคุณภาพดีหรือไม่ดีขึ้นอยู่กับวิธีการล้างเป็นสำคัญ หากเราล้างสิ่งแปลกปลอมออกไปไม่หมดจะทำให้สารละลายเพคตินเข้มข้นขึ้นไม่เกิดเจล หรือถ้าเป็นเพคตินผงเพคตินที่ได้จะดูความชื้นและจับกันเป็นก้อน ส่วนการล้างด้วยเอทานอลนั้นเมื่อดังด้วยน้ำเสร็จก็นำมาล้างต่อในแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 เพื่อขจัดสารที่ละลายได้ในเอทานอลออกมา โดยนำมาต้มในเอทานอลชนิดร้อยละ 95 เป็นเวลา 12 - 18 นาที ความร้อนจะสามารถเข้าทำลายเพคติกเอนไซม์ (Pectic Enzyme) ซึ่งการต้มวัตถุดิบในเอทานอลก่อนทำการสกัดจะทำให้ลดปริมาณสารปนเปื้อน และทำให้ได้ปริมาณเพคตินออกมามาก (รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย และคณะ. 2544 : 6)

2. วิธีการสกัดเพคติน การสกัดเพคตินสามารถทำได้โดยวิธีไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายกรดหรือด่าง การสกัดเพคตินด้วยสารละลายด่างจะทำให้เกิดปฏิกิริยาดีเอสเทอร์ฟิเคชันสูงกว่าการใช้สารละลายกรด ซึ่งสารละลายด่างนี้จะทำให้โมเลกุลของเพคตินถูกทำลายเป็นสายสั้นลง ในทางอุตสาหกรรมนิยมใช้สารละลายกรดในการสกัดเพคติน โดยสารละลายกรดที่นิยมใช้คือกรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริก (รัชฎา ตั้งวงศ์ไชย และคณะ. 2544 : 11)

3. การตกตะกอน นำสารที่ได้มาตกตะกอนด้วยตัวทำละลายโดยใช้เอซีโตนหรือเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 50 - 70 ตะกอนที่ได้อยู่ในรูปไฟบรัส (Fibrous) หรือสปอง (Sponge) ซึ่งถ้ามีไฟบรัสมากเพคตินที่ได้ก็จะมีค่าความแข็งแรงของเจลมาก เอทานอลเป็นสารที่นิยมใช้ในการตกตะกอนเพคติน การตกตะกอนด้วยเอทานอลมีข้อเสียว่าสารที่ไม่ใช่สารเพคตินจะตกตะกอนออกมาด้วย เช่น เสมิเซลลูโลส รวมทั้งมีเถ้าปนออกมามากด้วย การตกตะกอนด้วยเอทานอลซ้ำหลาย ๆ ครั้งก็จะช่วยให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น และก็จะได้สารยูโรไนด์ (Uronide) ก็เพิ่มมากขึ้น ในการตกตะกอนสารละลายเพคตินด้วยเอทานอล จึงมีการเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นพร้อมกับการคนอย่างแรง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนด้วยเอทานอลซ้ำอีกครั้งหนึ่ง เพื่อช่วยลดปริมาณเถ้าที่ปนออกมา และช่วยให้เพคตินมีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น จากนั้นนำตะกอนของเพคตินที่ผ่านการกรองแล้วนำไปล้างด้วยเอทานอลอีกครั้ง เพื่อกำจัดอนุภาคมูลคอลลอยด์ที่หลงเหลืออยู่ในตะกอนเพคติน ก่อนนำตะกอนเพคตินที่ได้มาทำให้แห้งแล้วนำไปบด ก็จะได้เพคตินที่เป็นผงในที่สุด (Kertesz, 1951 : 82 - 84)

4. การทำผงเพคติน หลังจากที่ได้ตะกอนเพคตินที่ผ่านการล้างมาแล้วก็จะนำมาอัดเป็นแผ่นบาง และนำไปอบภายใต้สุญญากาศซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส หรืออบในตู้ธรรมดา หรือใช้วิธีตากแดดให้แห้งก็ได้ เมื่อเพคตินแห้งแล้วจึงนำไปบดเป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 - 120 เมช ก่อนนำออกไปจำหน่ายจะมีการปรับเพคตินให้ได้มาตรฐานตามวิธีของ C.P.P.F Method ซึ่งจะแบ่งเกรดของเพคตินได้ตั้งแต่ 10 ถึง 220 เกรด (จิตโสภิญญ กะสงศ์. 2543 : 22 - 27)

ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดเพคติน

การสกัดสารเพคตินจากเนื้อเยื่อพืชด้วยวิธีการไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายกรดนั้นมีปัจจัยหลายชนิดมาเกี่ยวข้อง ซึ่งมีทั้งปัจจัยด้านคุณสมบัติของเนื้อเยื่อพืชที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหรือปัจจัยด้านกระบวนการที่นำมาใช้ในการสกัด ซึ่งปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้จะมีผลต่อปริมาณเพคตินและคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้ โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ชนิดของผลไม้ พืชต่างชนิดกันจะมีปริมาณและคุณภาพของเพคตินไม่เหมือนกัน ปริมาณและคุณภาพของเพคตินในเนื้อเยื่อพืชจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืช เนื้อเยื่อ พันธุ์

และอายุของพืช พืชที่มีเพคตินปริมาณสูงมักจะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการสกัดเพคติน คือ แอปเปิ้ล และผลไม้ตระกูลส้ม ซึ่งมีปริมาณเพคตินสูง และมีคุณภาพดี รวมทั้งส่วนต่าง ๆ ของพืชชนิดเดียวกัน ที่มีเนื้อเยื่อพืชเป็นองค์ประกอบแต่ละส่วนจะมีปริมาณของเพคตินที่แตกต่างกัน (รักษา ตั้งวงศ์ไชย และคณะ. 2544 : 7)

2. ความอ่อนของผลไม้ ความอ่อนแก่ของพืชจะมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคติน เพคตินในพืชหรือผลไม้ดิบจะมีเพคตินอยู่ในรูปของโปรโตเพคติน แต่เมื่อพืชหรือผลไม้มีการสุกแก่จะมีเอนไซม์โปรโตเพคตินเอสโตโรไลส โปรโตเพคตินจากสารที่ไม่ละลายน้ำเป็นเพคตินซึ่งเป็นสารที่ละลายน้ำได้ ต่อมาเมื่อเพคตินในผลไม้จะถูกไฮโดรไลสด้วยเอนไซม์เพคตินเอสเทอร์จะได้กรดเพคตินซึ่งเป็นสารคอลลอยด์ของกรดโพลีกลูโคนิกที่ไม่มีเมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) ในโมเลกุล กรดเพคตินนี้ไม่เกิดเจลกับน้ำตาลและกรด (แสงสวัสดิ์ เจริญตระกูล. 2533 : 14)

3. พันธุ์ของผลไม้ จากการศึกษาของอัสกัน และเทรพทาว์น (Askar and Treptow. 1993 : 557 - 560) พบว่า ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่ต่างพันธุ์กันมีปริมาณเพคตินต่างกัน เช่น ผลไม้ประเภทส้มสกุล Citrus, Lemon, Lime และ Pomelo พบว่า ส้มมีปริมาณเพคตินมากที่สุด Grapefruit ส่วนในวัตถุดิบชนิดอื่นได้มีการศึกษาการสกัดเพคตินจากจานรองดอกทานตะวัน 3 สายพันธุ์คือ *Armavirsky*, *Zaria* และ *Record* พบว่าสายพันธุ์ที่แตกต่างกันมีผลทำให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยสายพันธุ์ *Zaria* มีปริมาณเพคตินสูงสุด รองลงมาเป็นพันธุ์ *Record* และ *Armavirsky* ตามลำดับ (Sahari and et al. 2003 : 43 - 47)

4. ชนิดและความเข้มข้นของสารละลายกรด การสกัดเพคตินสามารถทำได้โดยการใช้วิธีไฮโดรไลสเพคตินด้วยสารละลายกรด กรดที่ถูกนำมาใช้ในกระบวนการสกัดเพคติน ได้แก่ กรดอินทรีย์ และกรดอนินทรีย์ ซึ่งกรดอินทรีย์ที่นิยมใช้ คือ กรดซิตริก และกรดมาลิก ในทางอุตสาหกรรมกรดที่นำมาใช้การสกัดเพคตินนิยมใช้กรดจำพวกกรดอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก และพบว่ากรดที่นิยมนำมาใช้กันมากที่สุดคือกรดไฮโดรคลอริก เนื่องจากมีราคาถูก และมีความปลอดภัยในการใช้งานมากกว่ากรดชนิดอื่นๆ ประกอบกับกรดชนิดนี้ที่มีประสิทธิภาพสูง และสามารถถูกกำจัดออกได้ง่าย (ธานี ตระกูลอินทร์. 2533 : 17 - 18)

5. จำนวนครั้งที่ทำการสกัด การสกัดเพคตินในครั้งแรกจะมีปริมาณเพคตินสูงกว่าการสกัดซ้ำในครั้งต่อไป ปริมาณของเพคตินที่ทำการสกัดในแต่ละครั้งยังขึ้นอยู่กับชนิดของกรด ด้วย การใช้กรดไฮโดรคลอริกสกัดครั้งที่ 1 จะได้ปริมาณเพคตินมากที่สุด ในครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 จะได้ปริมาณลดลง ส่วนสกัดด้วยกรดซิตริก พบว่าการสกัดครั้งที่ 1 จะได้ปริมาณเพคตินมากที่สุด ในครั้งที่ 2 และ 3 จะได้ปริมาณเพคตินลดลงเช่นเดียวกับการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก กรดทั้ง 2 จะมีข้อแตกต่างกัน คือถ้าใช้กรดซิตริกเป็นตัวสกัดเพคตินจะต้องทำการสกัด 2 ครั้งจึงจะสกัดเพคติน

ได้ประมาณร้อยละ 90 แต่ถ้าใช้กรดไฮโดรคลอริกในการสกัดเพคตินเพียงครั้งเดียว ก็สามารถสกัดเพคตินได้ประมาณร้อยละ 90 โดยปริมาณกรดยูโรนิก และปริมาณเมทอกซิลของเพคตินที่ได้จากการสกัดในแต่ละครั้งของการสกัด จะมีความแตกต่างกันน้อยมาก (ณรงค์ ศิริรัมย์. 2546 : 42 - 45)

6. อัตราส่วนของสารที่ใช้ต่อเนื้อเยื่อพืช อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อเยื่อพืชต่อปริมาตรของสารละลายกรดที่ใช้ในการสกัดสารเพคติน ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดเพคติน ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อพืช เช่น จากรายงานของมาริษา ไชยโอสถ (2549 : 73 - 77) พบว่าอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อเยื่อพืชสด (กรัม) ต่อปริมาตรของสารละลายกรด (มิลลิลิตร) ที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากของเหลือทิ้งของขนุนเป็น 1:15 โดยให้ปริมาณเพคตินสูงที่สุดร้อยละ 7.59 ส่วนรายงานของธนาวรรณ สุขเกษม (2556 : 92) พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีภูทับเบิก เป็น 2:1 ให้ปริมาณเพคตินมากที่สุดเท่ากับร้อยละ 0.79 จากรายงาน จะเห็นได้ว่าเนื้อเยื่อพืชต่างชนิดกัน ก็จะต้องใช้อัตราส่วนของสารในการสกัดเพคตินในปริมาณที่แตกต่างกันไปด้วย

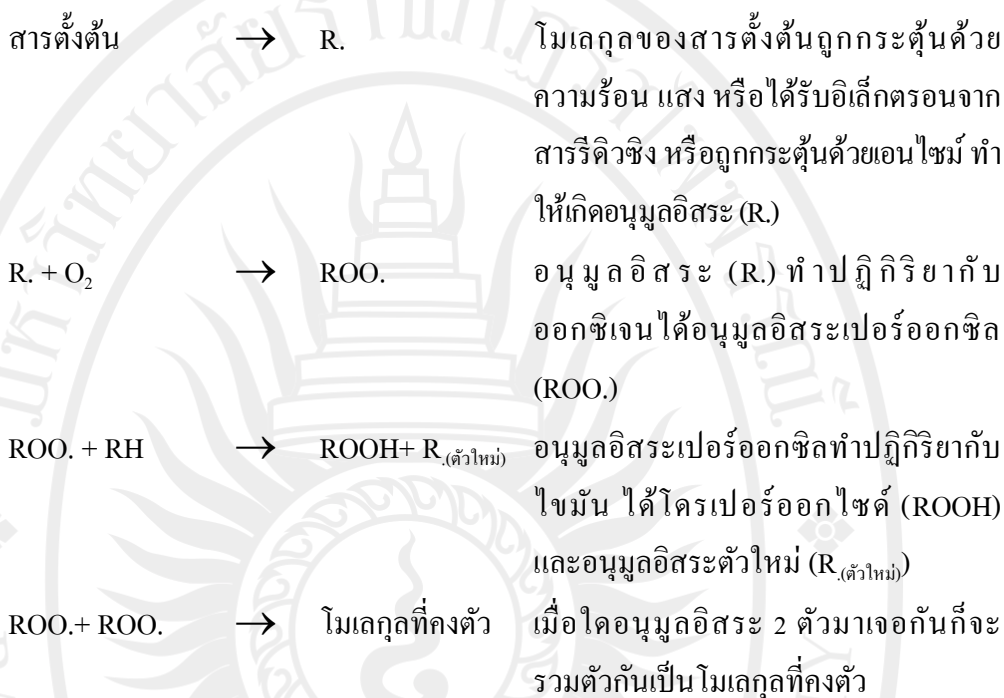
7. เวลา อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่างที่ใช้ในการสกัด เป็นปัจจัยที่สำคัญต่อคุณภาพและปริมาณของเพคตินที่สกัดได้ ซึ่งนอกจากตัวแปรทั้งสองแล้วคุณภาพและปริมาณของเพคตินที่สกัดได้ยังมีความสัมพันธ์กับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ที่ใช้ในการสกัดอีกด้วย

สารต้านอนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ

อนุมูลอิสระ (Free Radicals) คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนโดดเดี่ยว ปกติแร่ธาตุทั้งหลายในร่างกายเราจะมีอิเล็กตรอนอยู่รอบนอกเป็นจำนวนคู่ ซึ่งทำให้โมเลกุลนั้นคงตัว หากอิเล็กตรอนขาดคู่จะทำให้สารนั้นมีปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ว่องไว โดยไปดึงหรือแย่งชิงเอาอิเล็กตรอนโมเลกุลหรืออะตอมจากสารอื่นมา เพื่อทำให้อะตอมหรือโมเลกุลของตัวเองมีความเสถียร ซึ่งทำให้เกิดอนุมูลอิสระชนิดใหม่ขึ้นมา อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นใหม่ก็จะไปดึงอิเล็กตรอนจากอะตอมหรือโมเลกุลของสารข้างเคียงหรือสารอื่นขึ้นมาอีก ทำให้เกิดเป็นปฏิกิริยาที่เรียกว่าปฏิกิริยาลูกโซ่ (Chain Reaction) (ขนิษฐา คงยอด. 2553 : 14) ในกรณีที่มีการสูญเสียและรับอิเล็กตรอนมาอีกเพียง 1 ตัว จะทำให้โมเลกุลนั้นไม่เสถียร การทำลายของอนุมูลอิสระจะมีอายุสั้นมากประมาณ 10^{-3} - 10^{-10} วินาที (จักรพงศ์ ไพบูรณ์. ออนไลน์. 2548) โดยทั่วไปอนุมูลอิสระจะเกิดขึ้นระหว่างการถ่ายโอนอิเล็กตรอนจากโมเลกุลของออกซิเจนหรืออนุพันธ์ของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (Reactive Oxygen Species, ROS) และกลุ่มของสารที่เป็นอนุพันธ์ของไนโตรเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (Reactive Nitrogen Species, RNS) ทั้งกลุ่ม ROS และ RNS จัดเป็นแหล่งของอนุมูลอิสระที่สำคัญในเซลล์ร่างกาย (นวลศรี

รักอริยะธรรม และอัณณา เจนวิธิสุข. 2545 : 42 - 43) อนุมูลอิสระมีความว่องไวสูงในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารชีวโมเลกุลต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ เช่น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และกรดนิวคลีอิกเพื่อแย่งชิงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลเหล่านี้ ซึ่งจะมีกลไกการเกิดปฏิกิริยา ดังนี้



อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต ส่วนมากเป็นพวกที่มีความว่องไวในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ สูง ก่อให้เกิดการชักนำทำให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ขึ้นภายในเซลล์ ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขึ้นมากมาย จากกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวส่งผลให้เกิดความเสียหายอย่างมากกับโครงสร้างและหน้าที่ของสารชีวโมเลกุลในสิ่งมีชีวิต ทำให้กระบวนการและกิจกรรมต่าง ๆ ทางเมแทบอลิซึมภายในร่างกายบกพร่องเกิดความผิดปกติและนำไปสู่การเกิดโรคภัยต่าง ๆ (ขนิษฐา คงยอด. 2553 : 15) นอกจากนี้วัลลภ พิรพรพิศาล และประณีต โอปะณะโสภิต (2547 : 73 - 80) ได้กล่าวไว้ว่าร่างกายของมนุษย์ได้รับอนุมูลอิสระมาจาก 2 แหล่งใหญ่ ได้แก่

1. อนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นในร่างกาย เกิดได้จากการขนถ่ายอิเล็กตรอนในกระบวนการหายใจ กระบวนการเผาผลาญอาหารหรือกระบวนการเมแทบอลิซึม (Metabolism) ที่ทำให้เกิดเป็นพลังงานโดยใช้ออกซิเจนในไมโทคอนเดรีย ซึ่งเรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิไดซ์ (Oxidation Agent) ปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของกรดไขมัน (Lipid Peroxidation) โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัว ตลอดจนสภาวะทางอารมณ์ทั้งความเครียดที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยา เช่น ประจำเดือน ตั้งครรภ์ หรือความหิว ความเครียดทางอารมณ์ และความเครียดจากการเป็นโรคต่าง ๆ เช่น การติดเชื้อเบาหวาน โรคหัวใจ เป็นต้น

2. อนุมูลอิสระที่ได้รับจากภายนอกร่างกาย ซึ่งเกิดได้หลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ การได้รับเชื้อโรค สารพิษ รังสี และมลภาวะต่าง ๆ เช่น คาร์บอนหริ้ แก๊สจากท่อไอเสีย เขม่าจากเครื่องยนต์ ฝุ่น เป็นต้น

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) หมายถึง ปฏิกิริยาที่อะตอมหรือโมเลกุลมีการสูญเสียอิเล็กตรอน จากวงโคจรให้กับอะตอมหรือโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เรียกสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนว่า ตัวรีดิวซ์ (Reducing Agent) และเรียกสารที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนนี้ว่า ตัวออกซิไดซ์ (Oxidation Agent) โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันมักจะเกี่ยวข้องกับออกซิเจน นอกจากนี้ ออกซิเดชันยังหมายถึง การเสียไฮโดรเจนอะตอมจากโมเลกุลอีกด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันและอนุมูลอิสระนั้นมีความเกี่ยวพันกันอย่างเหนียวแน่น เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้มักก่อให้เกิดอนุมูลอิสระของสารต่าง ๆ ได้เสมอและอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอื่น ๆ (Baskin and Salem. 1997 : 393 - 396)

สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) คือ สารประกอบที่สามารถป้องกัน ชะลอ ชะลอ ควบคุม อนุมูลอิสระ ไม่ให้ไปกระตุ้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือทำลายการเกิดกระบวนการเกิดออกซิเดชัน ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญทำให้เกิดอนุมูลอิสระ สารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติในร่างกายมีหลายชนิดทั้งที่เป็นเอนไซม์และสารอื่น ๆ โดยสารต้านอนุมูลอิสระจะทำหน้าที่ช่วยยับยั้งอนุมูลอิสระไม่ให้มีผลทำลายเซลล์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นผู้เสียสละให้อิเล็กตรอนแก่ อนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังช่วยขับไล่อนุมูลอิสระช่วยไม่ให้พวกอนุมูลอิสระก่อตัว ช่วยยับยั้งพวกโลหะ ช่วยหยุดยั้งปฏิกิริยาลูกโซ่ของอนุมูลอิสระโดยทำให้อนุมูลอิสระคงตัว ซึ่งเป็นการหยุดการก่อตัวใหม่ของอนุมูลอิสระ ทั้งยังช่วยซ่อมแซมความเสียหายที่เกิดจากอนุมูลอิสระทำลายเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย พร้อมทั้งกำจัดและแทนที่โมเลกุลที่ถูกทำลายในร่างกาย สารอนุมูลอิสระนี้เป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาสุขภาพหลายประการ ในขณะเดียวกันร่างกายก็สามารถจัดการกับอนุมูลอิสระได้ โดยการสร้างสารต้านอนุมูลอิสระออกมาในกระแสเลือด เพื่อจับอนุมูลอิสระ โดยทั่วไปมนุษย์เราไม่สามารถสร้างสารต้านอนุมูลอิสระขึ้นมาได้ด้วยตัวเอง แต่เนื่องจากมนุษย์เป็นสัตว์ที่กินพืชเป็นอาหาร ซึ่งพืชหลายชนิดมีสารเหล่านี้ในปริมาณสูง พืชจะสร้างสารต้านอนุมูลอิสระ โดยการจับกับอนุมูลอิสระ ทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยา ณ จุดตั้งต้นหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (พรทิพย์ วิรัชวงศ์. ออนไลน์. 2548)

ปัจจุบันพบว่า สารสกัดจากพืชหลายชนิดเป็นแหล่งสารต้านอนุมูลอิสระ พบได้ในพืชทั่วไป ได้แก่ วิตามินซี วิตามินอี แคโรทีนอยด์ และสารประกอบฟีนอลิก สารประกอบเหล่านี้มีสมบัติ

ช่วยในการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในพืช ซึ่งมีความสำคัญในแง่ปกป้องร่างกายของ
 คนเราไม่ให้แก่เร็ว มีบทบาทในกระบวนการซ่อมแซมร่างกาย ช่วยป้องกันโรคเสื่อมต่าง ๆ และ
 ช่วยรักษาอาการของโรคภูมิแพ้ต่าง ๆ อย่างไรก็ดีตามสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในธรรมชาติมี
 4 ประเภท (Frankel and Meyer, 2000 : 1925 - 1941) ได้แก่

1. เอนไซม์ที่สร้างได้ในเซลล์ร่างกาย ได้แก่ คตะเลส (Catalase) ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (Superoxide Dismutase) และกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส (Glutathione Peroxidase) เป็นต้น
2. กลุ่มของวิตามิน ได้แก่ วิตามินอี ในถั่ว ธัญพืช รำ ข้าวกล้อง งา และวิตามินซีในผลไม้ ผักสด เป็นต้น
3. กลุ่มของแร่ธาตุ เช่น ซีลีเนียม และสังกะสี ซึ่งทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ (Co-factors) ของเอนไซม์ต้านออกซิเดชัน
4. กลุ่มสารเคมีจากพืช (Phytochemicals) เป็นสารเคมีจากพืชที่ไม่ใช่วิตามินและสารอาหาร เช่น แคโรทีน (Carotene) ไลโคปีน (Lycopene) แซนโทฟิลล์ (Xanthophylls) แทนนิน (Tannin) และ ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) เป็นต้น

จากรายงานของพรพรรณ พัวไพบูลย์ (2549 : 14) พบว่า ในพืชผัก ผลไม้ และสมุนไพรต่าง ๆ มีสารที่มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระอยู่มากมาย แตกต่างกันไปตามชนิดของพืช การวิเคราะห์การเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเราจะใช้วิธีเปรียบเทียบสารวิตามินอี วิตามินซี โดยวิธี 3-ter-butyl-4-hydroxyanisole (BHA) และวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) ซึ่ง DPPH assay จะเป็นวิธีที่นิยมและทำได้ง่าย เนื่องจาก 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) เป็นอนุมูลอิสระที่เสถียร สามารถทดสอบความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระของสารตัวอย่าง ซึ่งสารดังกล่าวจะมีสีม่วงในเอทานอล และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 517 nm เมื่อสาร DPPH[•] ได้รับ H⁺ จากสารต้านอนุมูลอิสระ สาร DPPH ก็จะเปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลือง ซึ่งการสังเกตสีและการวัดค่าการดูดกลืนแสงก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระจะทำให้ทราบความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่างได้ หากสารทดสอบมีฤทธิ์กำจัดอนุมูลอิสระก็จะทำให้ค่าดูดกลืนแสงของอนุมูลอิสระนั้นน้อย ๆ ลง (บัวใส ศรีไชย, 2552 : 27 - 31)

ในพืชผักและผลไม้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีบทบาทและมีคุณสมบัติด้านการออกซิเดชัน ได้แก่ สารกลุ่มโพลีฟีนอล หรือสารประกอบฟีนอลิก (Phenolic Compound) ทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาถูกชะของการเกิดอนุมูลอิสระในปฏิกิริยาออกซิเดชันของมัน สารในกลุ่มนี้นอกจากจะมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่ดีแล้ว ยังสามารถเปลี่ยนอนุมูลอิสระในรูปที่มีสามารถทำลายเซลล์ให้อยู่ในรูปที่ไม่ทำให้เกิดพิษต่อเซลล์ โดยมีฤทธิ์ในการยับยั้งเอนไซม์ได้หลายชนิด และมีฤทธิ์ด้านการอักเสบอีกด้วย

แบคทีเรีย

แบคทีเรีย (Bacteria) คือ สิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งซึ่งมีขนาดเล็ก มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า มีการกระจายอยู่ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม มีทั้งชนิดที่เป็นโทษและเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย ในชนิดที่เป็นโทษจะทำให้เกิดโรค เจ็บป่วย ส่วนชนิดที่ไม่เป็นโทษต่อร่างกาย จะทำหน้าที่ช่วยสร้างสมดุล และคอยป้องกันเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย เมื่อร่างกายเกิดความอ่อนแอ เชื้อโรคประจำถิ่นอาจเพิ่มจำนวนมากเกินไปจนทำให้เสียสมดุลและเกิดความผิดปกติได้ แบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถอยู่นอกร่างกายได้ มีเพียงบางชนิดเท่านั้นที่จำเป็นต้องอาศัยอยู่ในเซลล์ของมนุษย์เพื่อการดำรงชีพ เชื้อแบคทีเรียสามารถก่อให้เกิดโรคได้หลายโรค เช่น โรคปอดบวม วัณโรค บาดทะยัก และโรคระบบทางเดินหายใจ การที่เราจะมองเห็นแบคทีเรียนั้นต้องจำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ และย้อมสีแบคทีเรีย เพื่อช่วยบอกรูปร่างในการจำแนกชนิดของแบคทีเรีย การย้อมสีแบคทีเรีย เรียกว่า การย้อมสีแกรม (Gram Stain) เชื้อแบคทีเรียแต่ละชนิดจะติดสีแกรมแตกต่างกันไป ถ้าติดสีน้ำเงิน เรียกว่า ติดสีแกรมบวก (Gram Positive) ถ้าติดสีแดง เรียกว่า ติดสีแกรมลบ (Gram Negative) (พัชนีวรรณอ่อนสัมฤทธิ์. 2559 : 34 - 35) มนุษย์รู้จักการใช้ประโยชน์จากแบคทีเรียมานานแล้วในอุตสาหกรรมอาหารพบใช้ทำผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารหมัก นมหมัก การผลิตเอนไซม์ ยาปฏิชีวนะ การบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น (เฉลียว หมดอื้อ. 2554 : 41 - 42)

1. *Escherichia coli* เป็นเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ มีรูปร่างเป็นท่อน ขนาดสั้น ปลายมน มีการเรียงตัวแบบเดี่ยว สามารถเคลื่อนที่ได้ ไม่สร้างสปอร์ ดังภาพประกอบ 5 เจริญเติบโตได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน (นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ และปรีชา สุวรรณพินิจ. 2544 : 52 - 54) ในสภาวะที่มีออกซิเจนจะเป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการอยู่อาศัย ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่อยู่ในวงศ์ Enterobacteriaceae และจัดอยู่ในกลุ่มโคลิฟอร์ม (Coliform) เชื้อจะมีลักษณะโคโลนี หนูน ๆ และมีกลิ่นเหม็น (เรืองทอง กิจเจริญปัญญา. 2543 : 51 - 53) เชื้อนี้พบได้ทั่วไปตามธรรมชาติ โดยอาศัยอยู่ในลำไส้และบริเวณเยื่อเมือกของร่างกายคน และสัตว์เลือดอุ่น แบคทีเรียชนิดนี้ทำให้เกิดอาการท้องเสียบ่อยที่สุด และจัดเป็นแบคทีเรียประจำถิ่น เมื่อร่างกายอ่อนแอหรือมีการติดเชื้อจากภายนอกจะทำให้เชื้อ *E.coli* สามารถก่อโรคได้ โดยสร้างเอนไซม์และ ชีวพิษในตัวและนอกตัว ทำให้เซลล์ตายและแตก (Sirivasan and et al. 2007 : 57)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี



ภาพประกอบ 5 Escherichia Coli

ที่มา : วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. ออนไลน์. 2560 ก

2. *Staphylococcus aureus* เป็นแบคทีเรียก่อโรคในอาหาร เชื้อแบคทีเรียชนิดนี้เป็นแกรมบวก มีรูปร่างกลมอยู่รวมกันเรียงตัวเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น ไม่เคลื่อนที่ ไม่สร้างสปอร์ ดังภาพประกอบ 6 สามารถสร้าง Coagulase ได้ บางสายพันธุ์สามารถสร้างแคปซูล และทำให้เม็ดเลือดแดงแตก (Hemolysis) เชื้อหลักที่สำคัญ คือ *S. aureus* สามารถเจริญได้ทั้งในสภาวะที่มีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน แต่จะเจริญเติบโตได้ดีเมื่อได้อยู่ในสภาวะที่มีอากาศ ลักษณะของเชื้อโคโลนีมีสีขาวถึงสีเหลืองทอง การติดเชื้อเป็นทั้งแบบที่เป็นสาเหตุแรกของการติดเชื้อ (Primary Infection) หรือการติดเชื้อแทรกซ้อนภายหลัง (Secondary Infection) เชื้อนี้จะมีการสร้างสารพิษชนิดเอนเทอโรทอกซิน (Enterotoxin) ซึ่งมีคุณสมบัติในการทนความร้อน ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ และทำให้เกิดการติดเชื้อก่อให้เกิด ทอนซิลอักเสบ ปอดอักเสบ เต้านมอักเสบ มดลูกอักเสบ และข้ออักเสบได้อีกด้วย



ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพประกอบ 6 Staphylococcus Aureus

ที่มา : วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. ออนไลน์. 2560 ข

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กนกพร สังขรักษ์ และเจนจิรา โตแบ (2552 : 39 - 43) ได้ศึกษากรรมวิธีการสกัดเพคตินจากเศษผักกาดขาว และการประยุกต์ใช้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้วัสดุเศษเหลือใช้ทางการเกษตรให้มาผลิตเป็นชีวมวลที่มีราคาสูง ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมของการสกัดเพคตินจากเศษผักกาดขาวที่เหลือทิ้งรวมทั้ง การนำเพคตินที่สกัดได้ไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบของฟิล์มที่ย่อยสลายได้ จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากเศษผักกาดขาว ซึ่งได้ศึกษาผลของความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง ชนิด และความเข้มข้นของกรดที่ใช้ในการสกัด จากการศึกษาปริมาณของโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตและเวลาต่อปริมาณเพคตินที่สกัดได้พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน และได้ปริมาณของเพคตินสูงสุด คือ การใช้เศษผักกาดขาวสด สกัดกับกรดอะซิติกด้วยความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.0 และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยใช้ร่วมกับโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟตร้อยละ 8 เป็นเวลา 90 นาที ผลิตเพคตินเท่ากับ 3.46 ± 0.002 กรัม เมื่อตรวจสอบคุณสมบัติของเพคตินที่สกัดได้พบว่า อยู่ในช่วงมาตรฐานเพคตินตามที่ The Joint/WHO Expert Committee on Food Additive (JECFA) ได้กำหนดไว้ จากนั้นนำเพคตินที่ได้ไปใช้เตรียมแผ่นฟิล์ม โดยนำเพคตินที่ได้ไปผสมกับแป้ง และกลีเซอรอล พบว่าฟิล์มที่ได้จะมีความสามารถในการทนแรงดึง 9 นิวตัน และสามารถต้านการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี เมื่อฟิล์มละลายอยู่ในน้ำฟิล์มก็จะสามารถละลายน้ำได้

ฉัตรชัย สังข์ผุด, จิราภรณ์ สังข์ผุด และนพรัตน์ ผาสุข (2552 : 37 - 41) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติกายภาพ และทางเคมีของเพคติน จากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของผลส้มโอ โดยสกัดด้วยกรดซิตริก ร้อยละ 3 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที เปรียบเทียบกับเพคตินทางการค้าเกรด 150 พบว่า คุณสมบัติของเพคตินที่สกัดจากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของส้มโอ มีความบริสุทธิ์ในรูปกรดกลูโคโนนิก ร้อยละ 47 - 57 มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันร้อยละ 88.89 - 90.61 มีความสามารถในการดูดซับ น้ำมันร้อยละ 118 - 127.87 และมีค่าเจลลี่เกรด 250 - 280 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเพคตินที่สกัดได้จากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของผลส้มโอ จะมีค่าสูงกว่าเพคตินจากส้มเกรด 150 ยกเว้นในค่าความบริสุทธิ์ ส่วนส้มโอทั้งเปลือกจะมีค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ 766 mPa.s (ร้อยละ 2) และจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (ร้อยละ 84.6) สำหรับปริมาณของเมททอกซิล พบว่า เพคตินจากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของผลส้มโอ จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 7.73 - 8.67 ซึ่งจะจัดอยู่ในกลุ่มเมททอกซิลปานกลาง

จินานาญ วิทยาประภา และสมัชญ์ ทวีเกษมสมบัติ (2556 : 24 - 31) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากวัสดุทางการเกษตร ซึ่งใช้ส้มโอเป็นวัตถุดิบในการศึกษา โดยทำการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัด คือ ที่อุณหภูมิ 50 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและใช้เวลาในการสกัด 24 ชั่วโมง พบว่าปริมาณเพคตินที่สกัดได้มี

ค่าเพิ่มขึ้น ตามอุณหภูมิ และปริมาณผลผลิตของเพคตินจะสูงสุดเมื่ออุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ทั้ง 2 อุณหภูมิมีผลใกล้เคียงกัน) จากนั้นได้ทำการศึกษาชนิดของกรดที่เหมาะสมในการสกัด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริก กรดไนตริก และกรดอะซิติก ที่ความเข้มข้น 1.0 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เวลาในการสกัดที่ 24 ชั่วโมง พบว่าค่าเพคตินที่สกัดได้มีค่าสูงสุดเมื่อใช้กรดไฮโดรคลอริก จากนั้นทำการศึกษาเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดเพคตินที่เวลา 30 60 90 120 และ 1,440 นาที พบว่าปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีค่าสูงสุดที่เวลา 90 นาที และเมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดมากขึ้น ก็ไม่มีผลต่อปริมาณเพคตินที่สกัดได้

ธนาวรรณ สุขเกษม (2556 : 40 - 53) ได้ทำการศึกษาสภาวะการสกัดเพคตินจากกะหล่ำปลีจากทุบเปลือก โดยศึกษาการสกัดเพคตินด้วยกรด 2 ชนิด ได้แก่ กรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริก ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 60 และ 90 นาที พบว่าเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที มีปริมาณน้ำหนักเพคตินแห้งสูงสุดเท่ากับ 0.79 กรัม หรือร้อยละ 15.8 จากนั้นนำเพคตินที่สกัดได้ไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี พบว่าเพคตินที่สกัดด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาวขุ่น ละลายน้ำได้ดี และสามารถเกิดเจลได้เมื่อนำไปละลายน้ำ ผลผลิตที่ได้เท่ากับ 0.70.0.14 - 12.00.0.57 ความชื้นที่ได้เท่ากับ 1.17.0.23 - 20.00.0.95 ปริมาณเมททอกซิล 4.12.0.02 - 7.44.0.02 น้ำหนักสมมูล 432.03.0.43 - 900.36.1.87 ระดับการเกิดเอสเทอร์ 51.89.0.03 - 53.33.0.07 และมีลิกกรัมของกรดกาแลกทูโรนิก (ร้อยละ) 463.74.1.48 - 794.19.0.74 ตามลำดับ

ชานูวัฒน์ ลาภตันสุกผล และคณะ (2556 : 433 - 436) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการสกัดเพคตินจากเปลือกผัก และผลไม้ 8 ชนิด โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกและน้ำกลั่น พบว่า การสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาว โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเพคตินสูงที่สุด คือ ร้อยละ 16.36 ± 1.43 และเพคตินจากเปลือกกล้วยที่สกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก มีปริมาณเพคตินต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 3.27 ± 0.19 จากนั้นนำมาเปรียบเทียบปริมาณเมททอกซิลพบว่าเพคตินที่สกัดจากมะม่วงด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีปริมาณเมททอกซิล สูงที่สุด คือ ร้อยละ 14.43 ± 0.92 ส่วนเพคตินที่สกัดจากเปลือกมะนาวด้วยกรดไฮโดรคลอริก มีปริมาณเมททอกซิลต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 11.38 ± 0.47 และมีปริมาณเมททอกซิลใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากที่สุด จากการเปรียบเทียบค่าความชื้น พบว่า เพคตินที่สกัดจากเปลือกกล้วยด้วยกรดไฮโดรคลอริกมีค่าความชื้นสูงที่สุด คือ ร้อยละ 12.40 ± 0.40 ส่วนเพคตินที่สกัดจากเปลือกมะกรูดด้วยน้ำกลั่นมีค่าความชื้นต่ำที่สุด คือ ร้อยละ 2.93 ± 0.31 และมีค่าความชื้นใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากที่สุด และสุดท้ายนำไปวัดค่าสีพบว่าเพคตินที่สกัดจากเปลือกส้มโอด้วยน้ำกลั่นมีความใกล้เคียงกับเพคตินทางการค้ามากที่สุด

ปาริษา ทองสุข และคณะ (2551 : 571 - 577) ได้ศึกษากรรมวิธีการสกัดและการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอระหว่างการใช้ร้อยละ 60 เอทานอล และ 1 โมลาร์ แคลเซียมคลอไรด์ และการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดระหว่างตู้อบลมร้อนและเตาไมโครเวฟ พบว่า อัตราการระเหยน้ำของเปลือกส้มโอ และผงเพคตินด้วยตู้อบลมร้อน เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ ส่วนการระเหยน้ำด้วยเตาไมโครเวฟเพิ่มขึ้นตามเวลาและกำลังของเครื่อง จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าการใช้ไมโครเวฟในการระเหยน้ำสามารถลดเวลาการสกัดทั้ง 2 วิธีได้มากกว่าการใช้ตู้อบลมร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งการระเหยน้ำของเปลือกส้มโอและผงเพคตินด้วยเตาอบไมโครเวฟที่กำลัง 100 วัตต์ เวลา 20 นาที และกำลัง 30 วัตต์ เวลา 25 นาที เป็นสถานะที่ดีที่สุด เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการสกัดด้วยเอทานอลและแคลเซียมคลอไรด์เป็น 5 และ 18 ชั่วโมง เพคตินที่สกัดจากทั้ง 2 วิธี มีความชื้น และค่าเจลลีเกรดไม่แตกต่างกับเพคตินทางการค้า ($p < 0.05$) การสกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอด้วย 60 เปอร์เซ็นต์เอทานอล ร่วมกับไมโครเวฟเป็นสถานะที่มีประภาพมากที่สุด

พันธุ์เลิศ พรหมสาขา และคณะ (2554 : 21 - 27) ทำการศึกษาและพัฒนากระบวนการและหา สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากใบเครือหมาน้อย ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ 3 ชนิด ได้แก่ ใบสด ใบที่อบแห้งโดยการตากแดด และใบที่อบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน และได้ทำการศึกษาหา สภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ปัจจัยที่ทำการศึกษามี 3 ปัจจัย ได้แก่ ที่อุณหภูมิ 30 - 90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 - 90 นาที และที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 2 - 8 จากการทดลองพบว่าการตากแดด และการใช้ตู้อบลมร้อน ให้ผลผลิตเพคตินที่สกัดได้สูงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกกระบวนการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อน เนื่องจากใช้เวลาสั้นในการเตรียมวัตถุดิบ ส่วนการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยดูจากปริมาณและคุณภาพของเพคตินที่สกัดได้ คือ ที่อุณหภูมิในช่วง 68 - 75 องศาเซลเซียส และค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ในช่วง 2.0 - 2.8 ที่เวลา 42 นาที พบว่า มีปริมาณผลผลิต 35.32 - 42.21 กรดกาแลคทูโรนิก 67.04 - 76.83 มีปริมาณเมททอกซิล 2.62 - 3.28 และระดับการเกิดเอสเทอร์ 28.00 - 29.97 ตามลำดับ

มาริษา ไชยโอสถ (2549 : ง) ได้ทำการศึกษากการสกัดเพคตินจากส่วนเหลือทิ้งของขนุน 3 ชนิด คือ เปลือก ชั้ และแกน พบว่า ทั้ง 3 ชนิด มีปริมาณเพคตินไม่แตกต่างกัน ($p \geq 0.05$) จึงเลือกใช้ส่วนเหลือทิ้ง 3 ชนิด ในอัตราส่วน 1:1:1 เพื่อมาเป็นวัตถุดิบในการสกัดเพคติน โดยศึกษาปัจจัยในการสกัด 4 ปัจจัย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายกรด อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัด ซึ่งทั้ง 4 ปัจจัยนี้ล้วนมีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพคตินอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากนั้นศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก 0.2 - 0.4 นอร์มอล อัตราส่วนระหว่างวัตถุดิบต่อสารละลายกรด 1:10 - 1:20 ที่อุณหภูมิ 60 - 90 องศาเซลเซียส และที่เวลา 45 - 90 นาที พบว่าการสกัดเพคตินโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.24 นอร์มอล อัตราส่วนวัตถุดิบต่อกรด 1:15 ที่อุณหภูมิ

89 องศาเซลเซียส และเวลา 70 นาที ได้ปริมาณเพคตินสูงสุดร้อยละ 7.59 ของน้ำหนักแห้ง เพคตินที่สกัดได้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 11.65 เถ้าร้อยละ 2.70 น้ำหนักสมมูลย์ 1,409.11 ปริมาณเมททอกซิลร้อยละ 11.65 ปริมาณกรดยูโรนิกร้อยละ 57.08 และระดับการเกิดเอสเทอร์ร้อยละ 26.75 จากผลการทดลองพบว่าเป็นเพคตินชนิดเมททอกซิลต่ำ เมื่อนำมาทำเยลลี่สัปรดเคลอริ์ต่ำ เยลลี่ที่ใช้เพคตินที่สกัดได้มีค่าความเป็นสีแดงสูงกว่าเยลลี่ที่ใช้เพคตินทางการค้า ส่วนมีความแข็งแรงของเจลในเยลลี่ทั้ง 2 แบบมีค่าใกล้เคียงกัน

สมฤทัย จิตภักดีดินทร์ และอมราวดี จางวาง (2552 : 57 - 64) ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อพฤติกรรมการสกัดเพคตินจากเปลือกด้านในของมะนาวซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งด้วยเครื่องมือการสกัดที่ออกแบบขึ้นเอง ได้แก่ กรดเกลือ กรดซัลฟูริก หรือกรดฟอสฟอริส ค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 2 หรือ 3 และเวลาที่ใช้ในการสกัด 30 หรือ 60 นาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาว คือ ใช้กรดเกลือเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปรับให้สารละลาย ค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 2 และใช้เวลาในการสกัด 60 นาที จะได้สารสกัดเพคตินจากเปลือกด้านในของมะนาวคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักแห้ง 2.34 ± 0.05 ลักษณะภายนอกเป็นผงละเอียดร่วน ดูดความชื้นได้ง่าย จะแตกต่างกันเพียงสีของผงละเอียด เมื่อละลายน้ำแล้วจะได้สารละลายใสสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลเข้มมีค่าความเป็นกรด - ด่างอยู่ระหว่าง 3 - 4 และเมื่อเติมกรดหรือด่างจะเกิด เจลหรือวุ้นตะกอนสีขาว สารสกัดเพคตินจากเปลือกในมะนาวทุกการสกัดจะเกิดเป็นตะกอนวุ้นในการทดสอบ Ferric Chloride Test การทดสอบโพลิแซคคาไรด์ การทดสอบสารเพคติน จะได้สารละลายสีน้ำตาลใส ในการทดสอบ Seliwanoff's Test และ Lodine Test จะได้สารละลายสีน้ำเงินในการทดสอบ Fehling's test พบว่ามีค่าปริมาณเมททอกซิลต่ำร้อยละ 24.42 ± 4.08 และมีปริมาณความชื้นร้อยละ 5.62 ± 1.06

สุธิดา ทองคำ และพูนศิริ ทิพย์เนตร (2555 : 3 - 10) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากจาวตาลและสมบัติของเพคตินที่สกัดได้ จากการศึกษาพบว่าสามารถสกัดเพคตินได้ปริมาณมากที่สุดร้อยละ 14.25 โดยน้ำหนัก ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2 อัตราส่วนระหว่างจาวตาลและน้ำ 1 : 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่เวลา 40 นาที และที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เมื่อนำเพคตินที่สกัดได้ไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมี พบว่ามีความชื้นร้อยละ 12.13 และมีเถ้าร้อยละ 1.31 โดยน้ำหนัก น้ำหนักสมมูล 845.11 ปริมาณหมู่เมททอกซิลร้อยละ 1.74 ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก ร้อยละ 10.87 และระดับการเกิดเอสเทอร์ร้อยละ 27.90

โขววาลา และคณะ (Koubala and et al. 2008 : 1345 - 1355) ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกมะม่วง ซึ่งได้ศึกษาสภาวะการสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก หรือ น้ำปราศจากไอออน หรือแอมโมเนียมออกซาลเรท เพื่อที่จะสกัดเพคตินจากเปลือกของมะม่วงทั้งสองสายพันธุ์ในเคมอรูน จากผลการสกัดพบว่า มีปริมาณเพคตินที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญเท่ากับร้อยละ 9 - 32 ของน้ำหนักแห้ง

กรดยูโรนิกเท่ากับ 262 - 709 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้งกรัม และน้ำตาลธรรมชาติเท่ากับ 160 - 480 มิลลิกรัมต่อกรัม ระดับการเกิดเมททอกซิล เท่ากับร้อยละ 52 - 86 มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 245,000 - 432,000 กรัมต่อโมล และความหนืดเท่ากับ 320 - 1346 กรัมต่อโมล จากผลการศึกษาพบว่า ลักษณะทางเคมี และกายภาพมีผลต่อปริมาณเพคติน มวลโมเลกุลเฉลี่ยสูง และปริมาณความหนืด รวมทั้งระดับของการเกิดเมททอกซิลซึ่งการใช้แอมโมเนียมออกซาลเรทสกัดเพคตินจากมะม่วง จะแสดงถึงลักษณะเฉพาะที่ดีของคุณสมบัติในการที่นำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมต่อไป

โขวบาลา และคณะ (Koubala and et al. (2008 : 1202 - 1214) ได้ทำการศึกษาศักดิ์เพคติน และการใช้เพคตินที่ได้จากการสกัดเปลือกของมะกอก โดยนำเปลือกมะกอกมาสกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก น้ำที่ปราศจากไอออน และกรดออกซาลิก หรือสารละลายอลูมิเนียมออกซาลเรท ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณของเพคตินเท่ากับร้อยละ 9 - 30 ของน้ำหนักแห้ง มีปริมาณกรดยูโรนิกเท่ากับ 557 - 727 มิลลิกรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้ง มีน้ำตาลธรรมชาติเท่ากับ 125 - 158 มิลลิกรัมต่อกรัม มีระดับของเมททอกซิลเท่ากับร้อยละ 50 - 58 และมีระดับของ Acetylation เท่ากับร้อยละ 4 - 6 มีน้ำหนัก มวลโมเลกุลเท่ากับ 263,000 - 303,000 กรัมต่อโมล และมีความหนืดเท่ากับ 179 - 480 มิลลิลิตรต่อกรัม ซึ่งการสกัดด้วยกรดออกซาลิก หรือสารละลายอลูมิเนียมออกซาลเรท จะให้ปริมาณของเพคตินมากที่สุด อีกทั้งมีน้ำหนักมวลโมเลกุล และระดับของเมททอกซิลมากที่สุด

มอลเลเอ, เชียมโป และคอนตี (Mollea, Chiampo and Conti. 2008 : 1353 - 1356) ได้ทำการศึกษาเปลือกของโกโก้ ซึ่งเป็นของเหลือใช้ที่ได้จากกระบวนการแปรรูปโกโก้ โดยนำเปลือกของโกโก้ได้มาจากสองแหล่ง คือ ประเทศกานา และประเทศเวเนซุเอลา การสกัดเริ่มจากนำเปลือกของโกโก้ทั้งหมดบดให้ละเอียด และสกัดเพคตินภายใต้สภาวะต่าง ๆ โดยสกัดที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง 7.0, 4.0, 2.5, 1.5 และ 1.0 และใช้เวลาในการสกัด 1 - 3 ชั่วโมงพบว่า เพคตินที่สกัดได้มีปริมาณสูงสุดที่เวลา 1 ชั่วโมง ที่สภาวะความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2.5

หวาย และอัลกรากี และอาสา (Wai, Alkarkhi and Easa. 2010 : 209 - 214) ได้ทำการศึกษาผลการสกัดเพคตินจากเปลือกของทุเรียนที่เวลา 1 และ 4 ชั่วโมง ที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2.0 และ 2.5 และที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณเพคตินจะอยู่ที่ในช่วงระหว่าง ร้อยละ 2.1 - 10.3 (ของน้ำหนักแห้งของเปลือกทุเรียน) และระดับเอสเทอร์ของเพคตินที่สกัด ได้เท่ากับร้อยละ 45.6 - 64.8 ปริมาณที่ต่างกันของผลผลิตเพคตินจะขึ้นอยู่กับเวลา อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่าง ส่วนระดับของการเกิดเอสเทอร์ จะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการให้ความร้อน และค่าความเป็นกรด-ด่าง ผลการการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคตินจากเปลือกของทุเรียนด้วยกรด คือ การสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2.5