

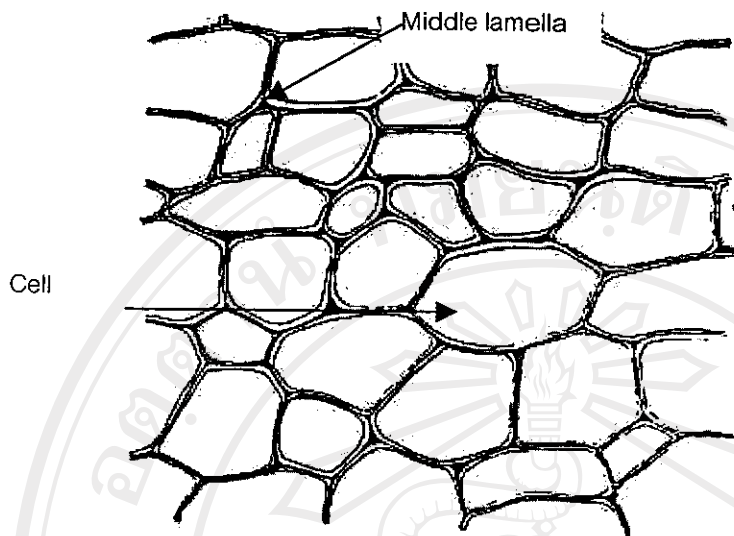
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพคตินเป็นสารประกอบโพลีเมอร์ที่พบในพืช จัดเป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต (Christensen, 1986) เช่นเดียวกับแป้งและเซลลูโลส ค้นพบในศตวรรษที่ 18 ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เกิดเจล ผู้ที่ตั้งชื่อและริเริ่มศึกษากรรมวิธีการสกัดเพคตินคือ Braconnot ในปี ค.ศ. 1825 (Nussinovitch, 1997) เพคตินมาจากภาษากรีก แปลว่าตัวประสานหรือตัวทำให้แข็ง (congeal or solidify) ในทางการค้าจะสกัดเพคตินจากเปลือกผลไม้ตระกูลส้มและกากแอปเปิล การสกัดเพคตินทางการค้าเริ่มขึ้นในศตวรรษที่ 20 และพัฒนาเรื่อยๆ จนถึงปัจจุบัน สารประกอบเพคตินทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเซลล์และเป็นสารที่สำคัญในบริเวณชั้น middle lamella เพื่อทำหน้าที่ยึดเหนี่ยวเซลล์เข้าด้วยกัน โดยจับกับเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และไกลโคโปรตีนของผนังเซลล์พืช (Christensen, 1986) โดยเฉพาะบริเวณที่มีเนื้อเยื่ออ่อนนุ่ม เช่น ต้นอ่อน ใบ และผลไม้อ่อน การสกัดเพคตินนั้นจะใช้วิธีการสกัดด้วยกรด แล้วตกตะกอนด้วยเอทิลหรือเมทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นทำให้แห้ง บดให้เป็นผงให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 เก็บไว้ในถุงที่สามารถกันความชื้น นอกจากนี้ควรเก็บไว้ในที่เย็นและแห้ง

เพคตินในทางการค้าจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.25 มิลลิเมตร และความหนาแน่นต่ำประมาณ 0.7 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิกที่เอสเทอร์ไฟด์ด้วยเอธานอล ปริมาณการเอสเทอร์ไฟด์ของกลุ่มกรดกาแลคทูโรนิกจะมีผลต่อคุณสมบัติของเพคติน เพคตินที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดนั้นจะมีทั้งเพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูงและต่ำ การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูง จะต้องประกอบด้วยกรดและน้ำตาลที่เพียงพอจึงจะสามารถเกิดเจลได้ (Rolin and Devries, 1990) โดยน้ำตาลจะไปทำหน้าที่ลดค่า a_w (water activity) ของระบบ ส่วนเพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์ต่ำในการเกิดเจลจะต้องมีสารที่มีประจุ $2+$ ร่วมด้วย เช่น Ca^{2+}

สารประกอบเพคตินจัดเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลในอุตสาหกรรมผลไม้แปรรูป โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ ความคงตัวของเพคตินในสภาวะกรดทำให้เพคตินมีประโยชน์ในเรื่องเนื้อสัมผัสและความคงตัวของผลิตภัณฑ์อาหารประเภทเป็นกรด (acidic food) การผลิตแยมในทางการค้านั้นจะมีการผสมเพคตินลงในเนื้อผลไม้ ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความสม่ำเสมอ

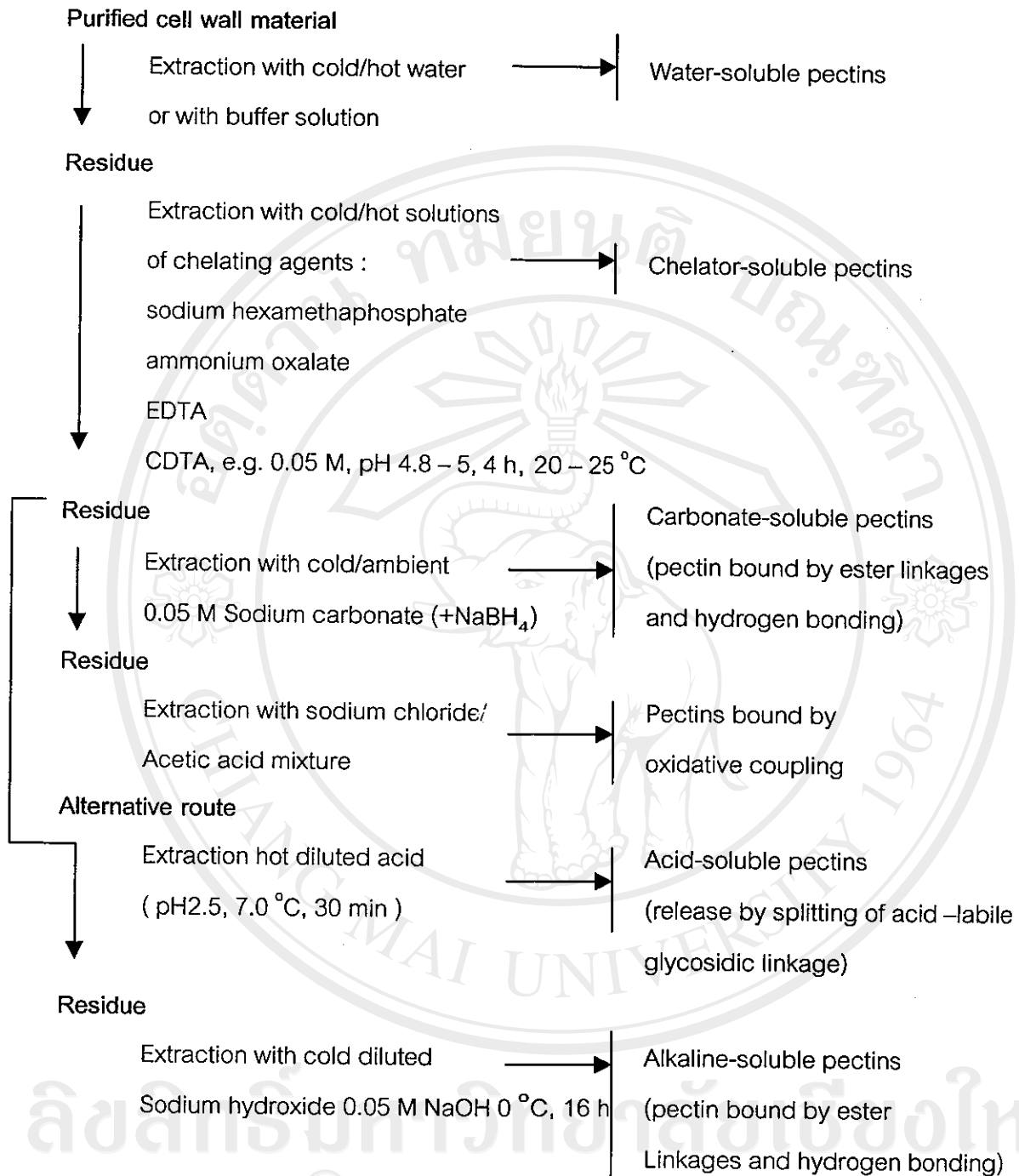


รูปที่ 2.1 ชั้นมิดเดิลลาเมลลาของเซลล์แอปเปิลสดคือบริเวณที่มีสีดำ (ภาพขยาย 1,350 เท่า)
(ที่มา : Nussinovitch, 1997)

พอลิเมอร์ในผนังเซลล์พืชในบริเวณชั้นมิดเดิลลาเมลลา คือบริเวณที่มีสีดำดังรูปที่ 2.1 ในการสกัดสามารถใช้สารในการสกัดได้พอลิเมอร์กลุ่มต่างๆ ดังรูป 2.2 ดังนี้

เซลล์พืชที่ผ่านการล้างสิ่งเจือปนออกแล้ว นำมาสกัดด้วยน้ำร้อนหรือเย็นหรือสารละลายบัฟเฟอร์ เรียกพอลิเมอร์นี้ว่าพอลิเมอร์ที่ละลายได้ในน้ำ (water soluble pectin) นำมาสกัดต่อด้วยสารเร่งปฏิกิริยา (chelating agents) ที่ร้อนหรือเย็น เช่น ammonium oxalate, EDTA, sodium hexamethaphosphate เรียกพอลิเมอร์นี้ว่า Chelator-soluble pectins แล้วนำมาสกัดต่อด้วย 0.05 M Sodium carbonate สกัดที่อุณหภูมิที่เย็นหรืออุณหภูมิห้อง พอลิเมอร์ที่ได้เรียกว่า Carbonate-soluble pectins จากนั้นนำมาสกัดต่อด้วย sodium chloride หรือ Acetic acid mixture พอลิเมอร์ที่ได้เรียกว่า Pectins bound by oxidative coupling

นอกจากนี้มีทางเลือกในการใช้สารเคมีสกัดพอลิเมอร์ คือหลังจากสกัดพอลิเมอร์ที่ละลายได้ในสารละลายในสาร (chelating agents) แล้ว นำมาสกัดต่อด้วยกรดที่อุณหภูมิสูง พอลิเมอร์ที่ได้เรียกว่า Acid-soluble pectins จากนั้นนำมาสกัดต่อด้วย NaOH ที่อุณหภูมิที่เย็น 0 °C พอลิเมอร์ที่ได้เรียกว่า Alkaline – soluble pectins



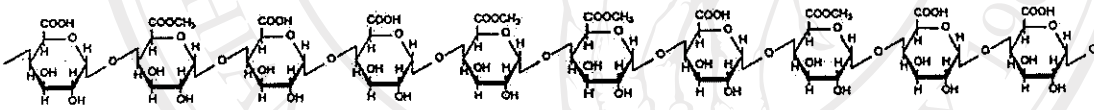
รูปที่ 2.2 ชนิดของเพคตินโดยแบ่งตามสารที่ใช้ในการสกัด

(ที่มา : Voragen et al., 1995)



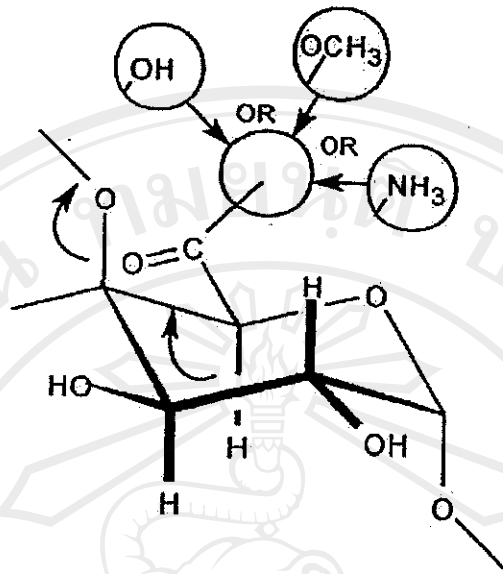
โครงสร้างของเพคติน

เพคตินในทางการค้ามีองค์ประกอบหลักเป็นสารโพลีเมอร์ของหมู่กาแลคทูโรนิกที่ต่อกันด้วยพันธะ α (1 – 4) ดังรูปที่ 2.3 โดยโมเลกุลของเพคตินประกอบด้วยกรดกาแลคทูโรนิกที่เชื่อมต่อกันประมาณ 200 – 1,000 หน่วย ส่วนใหญ่เพคตินจะถูกดีเอสเทอร์ไฟต์ หรือแทนที่ด้วยหมู่เมธอกซิลโดยใช้สารเอธิลหรือเมธิลแอลกอฮอล์ในการดีเอสเทอร์ไฟต์ แต่ในทางธรรมชาติเกิดจากการทำงานของเอนไซม์ที่มีอยู่ในเซลล์พืช หรือเอนไซม์จากเชื้อยีสต์และเชื้อรา (May, 1997) เพคตินทางการค้าจะมีปริมาณหมู่กาแลคทูโรนิกประมาณ 75 % โดยมีการแทนที่ด้วยหมู่เอสเทอร์ระหว่าง 30 – 80 % ทั้งนี้ต้องควบคุมการเกิดเอสเทอร์ไฟต์ในเพคติน เพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพและรีโอโลยีตามที่ต้องการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร หากหมู่ OCH_3 ในตำแหน่งที่ C-6 ถูกแทนที่ด้วยหมู่เอไมด์ (NH_2) ซึ่งอาจถูกแทนที่ได้สูงสุดถึง 80% เพคตินที่ได้จะเรียกว่าเอมิเดดเพคติน (amidated pectin) (May, 1997) ดังรูปที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของการเกิดเอสเทอร์ไฟเคชันและตำแหน่งของเอไมด์ในโมเลกุลของกรดกาแลคทูโรนิก

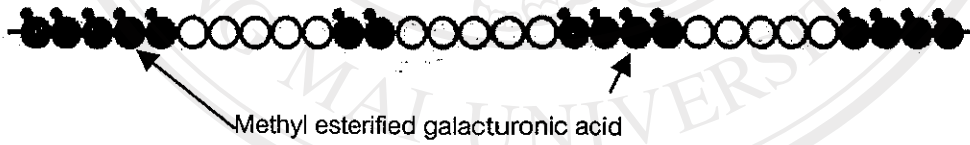


รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างของเพคตินโดยที่หมู่ Homogalacturonan มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว (ที่มา : Seymour and Knox, 2002)

ปริมาณการถูกเอสเทอร์ไฟต์ของหมู่กาแลคทูโรนิกในโมเลกุลของเพคตินนั้นเกิดขึ้นได้หลายระดับ ตัวอย่างเช่น เพคตินที่มีค่า DE 50% คือเพคตินที่มีหมู่เมธิลในโมเลกุลหมู่กาแลคทูโรนิกในโครงสร้าง 50 % ของจำนวนทั้งหมด ดังรูปที่ 2.5 โดยวงกลมสีดำแทนหมู่กาแลคทูโรนิกที่ถูกเอสเทอร์ไฟต์ และวงกลมสีขาวแทนหมู่กาแลคทูโรนิกที่ไม่ถูกการเอสเทอร์ไฟต์ นอกจากนี้ยังพบว่าแม้ว่าเพคตินจะมีค่า DE เท่ากันแต่การจัดเรียงตัวแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการสกัด วิธีและเวลาในการเอสเทอร์ไฟต์ ชนิดของพืชและตำแหน่งของเซลล์ที่นำมาสกัดทำให้มีคุณสมบัติต่างกัน



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของกรดกาแลคทูโรนิกจากโมเลกุลของเพคติน
(ที่มา : May,1997.)

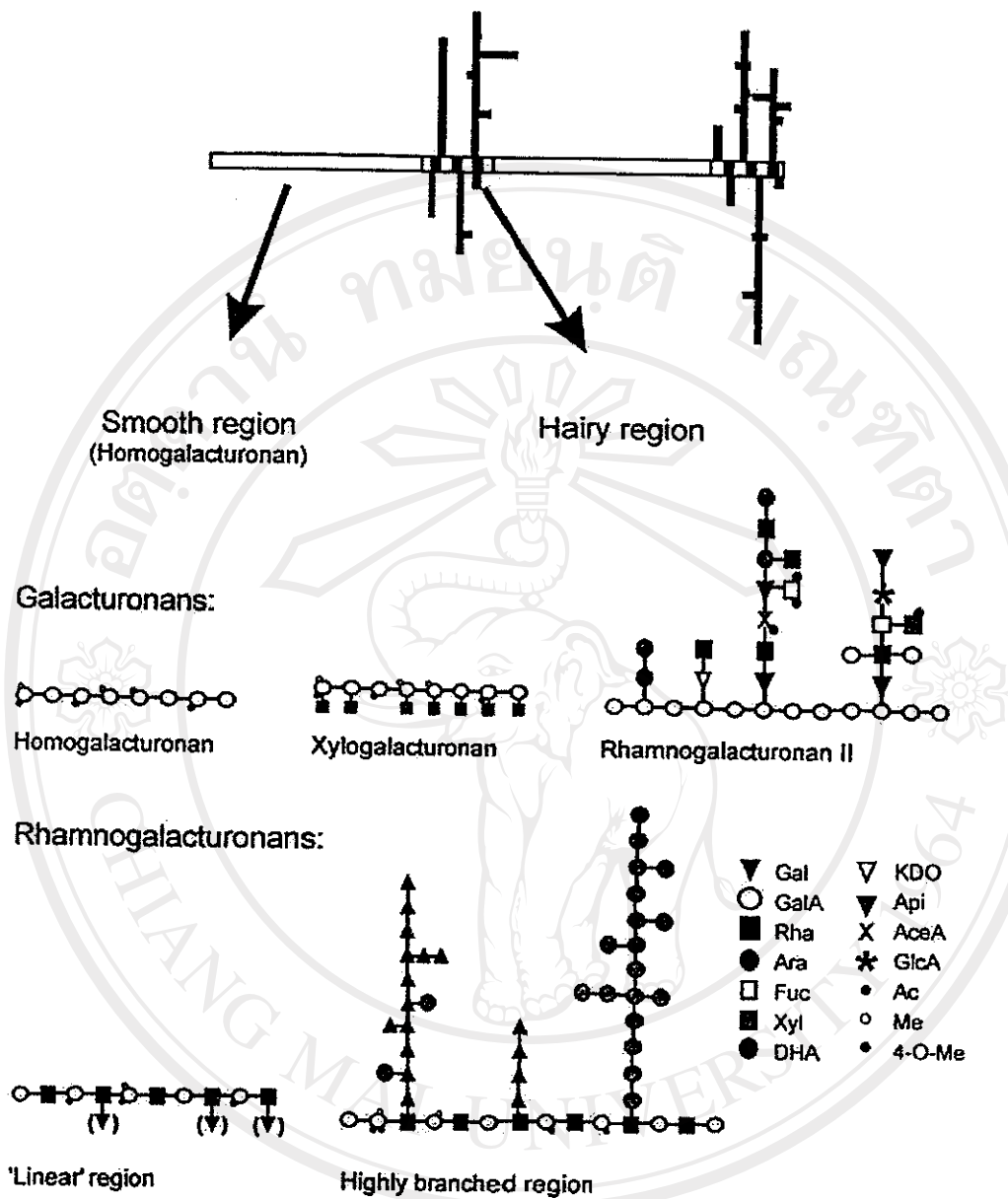


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของหน่วยพื้นฐานของโมเลกุลของเพคตินที่มีค่า DE 50 %
(ที่มา : Nussinovitch,1997)

สารประกอบเพคตินนั้นประกอบด้วยน้ำตาลจำนวนมาก แต่ยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอนว่าน้ำตาลนั้นเกาะในตำแหน่งใดของโครงสร้าง แต่อย่างไรก็ตามหากสกัดเพคตินจากพืชด้วยความระมัดระวัง มีการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ พบว่าเพคตินที่สกัดได้จะมีโครงสร้างแบบ Block structure (De Vries et al, 1986)

โครงสร้างของเพคตินที่สกัดด้วยกรดเฉื่อยจะมีความแตกต่างกัน 5 – 10 % ของกรดกาแลคทูโรนิกเป็นน้ำตาล เช่น กาแลคโทส กลูโคส แรมโนส อะราบิโนส และ ไซโลส ซึ่งอาจจะเชื่อมกับกาแลคทูโรนิตซึ่งเป็นโครงสร้างสายหลักของเพคติน บางครั้งน้ำตาลแรมโนส อาจเป็นส่วนหนึ่งของ polysaccharide จำพวก glucans และ xyloglucans ซึ่งถ้ามีสารเหล่านี้ในเพคตินเจลที่ได้จะมีคุณภาพไม่ดี เพคตินที่สกัดได้จากผลไม้ตระกูลส้ม แอปเปิล เชอร์รี่ สตรอเบอร์รี่ แครวธ พักทอง หัวบีท มันฝรั่ง หัวหอม และกะหล่ำปลี ส่วนใหญ่แล้วจะมีส่วนประกอบของน้ำตาลเหมือนกัน (Rolin and De Vries, 1990) แต่เพคตินที่สกัดได้จากดอกสน duck weed ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยน้ำตาล xylose กับ arabiose

น้ำตาลที่พบในเพคตินส่วนใหญ่จะเป็นกลุ่มแรมโนกาแลคทูโรนิน เรียกว่า hairy regions ซึ่งอาจมีได้มากถึงแม้ว่าจะมีกรดกาแลคทูโรนิกมาเชื่อมต่อกันเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าน้ำตาลกาแลคทูโรนินมาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว เรียกว่า smooth regions ดังนั้นปริมาณของ smooth regions หรือ hairy regions นั้นขึ้นอยู่กับเพคตินนั้นสกัดมาจากส่วนใดของพืชและกรรมวิธีในการสกัดเพคตินด้วย ดังรูปที่ 2.6



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
 Copyright© by Chiang Mai University
 All rights reserved

รูปที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างของเพคติน ที่ประกอบด้วย Smooth region และ Hairy region
 (ที่มา : Voragen et al., 2001)

การกำหนดมาตรฐานของเพคติน

เพคตินทางการค้าจะต้องแสดงทั้ง Molecular weight และ degree of esterification (%DE) ซึ่งทั้ง 2 ตัวนี้ก็ยากต่อการจำแนกลักษณะและคุณสมบัติของเพคติน กล่าวคือ อาจเป็นไปได้ว่าเพคติน 2 ชนิดที่มี %DE เท่ากัน แต่มีคุณสมบัติต่างกัน (May, 1997) จึงมีการให้คำจำกัดความและแบ่งกลุ่มเพคตินทางการค้าครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1965 โดยเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง (%DE \geq 50) สามารถทำได้โดยการละลายกับน้ำตาล 65 %และความเป็นกรด ต่าง 3 ± 0.05 ดังตารางที่ 2.1 สำหรับเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำจะใช้ Ca^{2+} ในการกำหนดมาตรฐานของสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจล

ตารางที่ 2.1 น้ำหนักของเพคตินต่อน้ำตาล 500 กรัมที่ใช้ในการเตรียมเจลเพื่อกรดของเพคติน

กรด	เพคตินที่ใช้ (g)	กรด	เพคตินที่ใช้ (g)
10	50.00	120	4.17
20	25.00	130	3.85
30	16.66	140	3.57
40	15.50	150	3.33
50	10.00	160	3.12
60	8.33	170	2.94
70	7.14	180	2.78
80	6.25	190	2.63
90	5.55	200	2.50
100	5.00	210	2.38
110	4.55	220	2.27

(ที่มา : Ranganna, 1986)

การแบ่งเพคตินตามค่า Degree of esterification (% DE) แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ (Rolin and De Vries., 1990)

1. เพคตินกลุ่มที่มีเมธอกซิลสูง (High methoxyl pectin) เป็นสารเพคตินที่มีค่า % DE

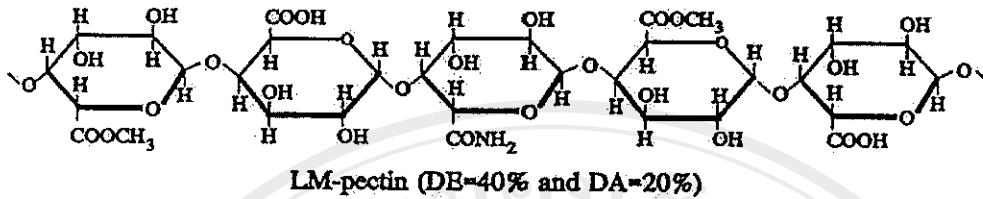
ไม่ต่ำกว่า 50% ในทางการค้าจะมีค่า % DE อยู่ในช่วง 55 – 75 การเกิดเจลของเพคตินชนิดนี้จะต้องมีองค์ประกอบที่เหมาะสม คือ มีปริมาณน้ำตาล 55 – 65 % ค่าความเป็นกรด - ด่างระหว่าง 2.9 – 3.1 ซึ่งเป็นสภาวะปกติที่ใช้ในแฮมทั่วไป (Rolin and Vries, 1990 ; Oakenfull, 1991) เพคตินเมธอกซิลสูงสามารถแบ่งตามระยะเวลาของการเกิดเจลได้ 6 ชนิด คือ

- 1.1 Ultra rapid set pectin มีค่า DE 82 %
- 1.2 Extra rapid set pectin มีค่า DE 76 %
- 1.3 Rapid set pectin มีค่า DE 72 %
- 1.4 Medium rapid set pectin มีค่า DE 65 - 69 %
- 1.5 Slow set pectin มีค่า DE 60 - 64 %
- 1.6 Extra slow set pectin มีค่า DE 55 - 59 %

2. เพคตินกลุ่มที่มีเมธอกซิลต่ำ (low methoxyl pectin) เป็นสารเพคตินที่มีค่า DE ต่ำกว่า 50 % ส่วนใหญ่จะมีค่า DE อยู่ในช่วง 20 – 50 % ในทางการค้าจะมีค่า DE อยู่ในช่วง 20 – 40 % มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.7 เพคตินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้ที่อุณหภูมิห้อง โดยต้องมีไอออนของโลหะบางชนิดช่วยในการเกิดเจล เช่น Ca^{2+} โดยใช้ปริมาณน้ำตาลเพียงเล็กน้อยหรือไม่ใช้เลย (Axelos and Thibault, 1991) และสามารถเกิดเจลได้ในช่วงความเป็นกรด - ด่าง ระหว่าง 3.0 – 4.5 ในการผลิตเพคตินกลุ่มนี้จะต้องมีการดีเอสเทอร์ไฟต์ โดยใช้เอธิลหรือเมธิลแอลกอฮอล์ หรือต่าง ถ้าใช้สารแอมโมเนียมร่วมกับต่างในการดีเอสเทอร์ไฟต์ เพคตินที่ได้เรียกว่า amidated low methoxyl pectin ดังนั้นจะต้องหาค่า %DE ร่วมกับค่า Degree of amidation (%DA) (May, 1997) คือ

2.1 เพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำและมีหมู่เอไมด์เป็นองค์ประกอบ เป็นเพคตินที่บางส่วนของกรดกาแลคทูโรนิกเกิดเอสเทอร์กับหมู่เอไมด์ โดยใช้สารแอมโมเนียมร่วมกับต่างในการดีเอสเทอร์ไฟต์ ทำให้หมู่เมธอกซิลในกรดกาแลคทูโรนิกบางส่วนถูกแทนที่ด้วยหมู่เอไมด์ ดังนั้น degree of amidation (DA) คือปริมาณของกรดกาแลคทูโรนิกที่มีหมู่เอไมด์มาเกาะแทนหมู่เมธอกซิลในกรดกาแลคทูโรนิก

2.2 เพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำโดยทั่วไป ได้จากการดีเอสเทอร์ไฟต์โดยใช้เอธิลหรือเมธิลแอลกอฮอล์หรือต่าง ทำให้หมู่ไฮดรอกซิลมาแทนที่หมู่เมธอกซิล ได้เพคตินที่มีค่า DE ต่ำกว่า 50 %



รูปที่ 2.7 ลักษณะของโครงสร้างของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำ

(ที่มา : Nussinovitch, 1997)

นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อควบคุมอุณหภูมิในการเกิดเจลที่เหมาะสม สามารถจำแนกเพคตินได้ตามอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลของ Ca^{2+} ออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

- กลุ่มที่เกิดเจลได้ช้า เนื่องจากความไวต่อแคลเซียมต่ำ (less calcium reactive) เพคตินกลุ่มนี้ได้จากการดีเอสเทอร์ไฟด์เพคตินที่สกัดได้จาก primary cell wall
- กลุ่มที่เกิดเจลได้เร็ว มีความไวต่อแคลเซียมสูง (more calcium reactive) โดยการดีเอสเทอร์ไฟด์เพคตินที่สกัดได้จากชั้นมิดเดิลลาเมลลา หรือเพคตินที่มีโครงสร้างของกรดกาแลคทูโรนิกที่ต่อกันแบบบล็อก (blocks of galacturonic acid)

มาตรฐานของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูงนั้น อาศัยความสามารถในการจับกันระหว่างเพคตินกับน้ำตาล โดยใช้วิธี USA-SAG โดยกำหนดมาตรฐานของเพคตินไว้ว่า มาตรฐานของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูงนั้นจะต้องมีปริมาณน้ำตาล 65 % (วัดโดยใช้เครื่อง Refractometer) ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 2.20 - 2.40 และ gel strength 23.5 % การหา SAG นั้นวัดได้จาก Rigelimeter เช่น ถ้าตัวอย่างมี gel strength 150 grade USA-SAG หมายความว่าถ้าใช้เพคตินตัวอย่าง 1 กรัมจะสามารถจับกับน้ำตาล 150 กรัม

สำหรับเพคตินที่มีเมธอกซิลต่ำนั้นสามารถใช้หลักการเกี่ยวกับเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูงได้ แต่ไม่เป็นที่ยอมรับเป็นสากลนัก เพราะความสามารถในการเกิดเจลของเพคตินในกลุ่มนี้ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ซึ่งได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำตาล และ ปริมาณแคลเซียมไอออน

ความคงตัวของเพคตินนั้น เพคตินที่มีหมู่เมธิลเอสเทอร์สูงจะสูญเสียความสามารถในการเกิดเจล 5% (USA -SAG grading) เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ในสภาวะอากาศแห้ง ส่วนเพคตินที่มีหมู่เมธิลเอสเทอร์ต่ำจะมีความคงตัวมากกว่าในสภาวะดังกล่าว

นอกจากนี้ยังมีลักษณะอื่นที่สำคัญต่อคุณภาพของเพศดิน ได้แก่ สีของผงเพศดินและสารละลาย ความร่วนของผงเพศดิน ความสามารถในการแพร่ ความหนืดของสารละลาย ความใสของเจล รสชาติและกลิ่น ความบริสุทธิ์ ส่วนประกอบของโลหะหนัก และอื่นๆ

วัตถุดิบที่นำมาสกัดเพศดิน

เพศดินจะมีความแตกต่างกันตามระยะการสุกและมีผลต่อปริมาณเพศดินที่สกัดได้ (De Vries et al., 1984 ; Huber, 1984 ; Boothny, 1983) เพศดินที่สกัดจากผนังเซลล์พืชนั้น จะมีน้ำตาลเกาะอยู่มากกว่าเพศดินที่สกัดได้จากชั้นมิเดิลเลมลา บริเวณที่มีลักษณะเป็นกิ่งก้านของเพศดินจะประกอบด้วยน้ำตาลต่างๆ ที่มีการกระจายตัวไม่แน่นอนบนเพศดินสายหลัก แต่อย่างไรก็ตามจะมีโครงสร้างแบบ smooth regions ส่วนเพศดินที่น้ำตาลอื่นเกาะอยู่หรือเรียกว่าแบบ hairy regions นั้นจะต้องใช้สภาวะในการสกัดเพศดินที่เหมาะสม และไม่รุนแรง โดยสามารถสกัดได้จาก ผลไม้ตระกูลส้ม หัวบีท เซอร์รี่และแครอท (Rolin and De Vries, 1990)

ในทางการค้าการสกัดเพศดินจากผลไม้ตระกูลส้มและกากแอปเปิล วัตถุดิบที่จะนำมาสกัดเพศดินนั้นจะต้องบีบน้ำออกและสกัดเอาน้ำมันออก จากนั้นก็ส่งไปยังจุดสกัด ทำการล้างส่วนที่สามารถละลายน้ำออกให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ จากนั้นจึงนำไปสกัดหรืออบให้แห้งก่อนที่จะนำไปสกัดต่อไป สามารถหาวัตถุดิบที่จะใช้สกัดได้จากโรงงานที่ผลิตน้ำแอปเปิลหรือน้ำส้ม กากแอปเปิลเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย จึงเข้ามาแทนที่เปลือกผลไม้ตระกูลส้ม เพราะมีองค์ประกอบของเพศดินถึง 15 – 20 % โดยน้ำหนักแห้ง (Pathak and Shukla., 1978)

การผลิตเพศดินในระดับอุตสาหกรรม จะต้องพยายามทำให้เพศดินที่มีความบริสุทธิ์และมีสมบัติในการเกิดเจลอย่างสม่ำเสมอ หรือไม่มีคุณสมบัติการไหลของเจลเป็นไปตามที่ต้องการ เมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ ตัวอย่างผลไม้ที่นำมาสกัดเพศดิน เช่น กระท้อน ชมพู่ น้อยหน่า แดงไทย ฝรั่ง มะกอก มะขามป้อม มะเฟือง มะยม มังคุด ลำไย ลองกอง แอปเปิล องุ่น ฝัวมะกูด เปลือกสับปะรด ฝักโกโก้ มะเฟืองอ่อน เปลือกเงาะ เปลือกทุเรียน เปลือกมะม่วง เปลือกขนุน เปลือกแตง รวมทั้งเปลือกกล้วยด้วย (วราภรณ์, 2538 ; Mohamed and Hadsan, 1995 ; Sudhakar and Maini, 2000 ; Baker, 1997) และยังพยายามหาวัตถุดิบอื่นๆ มาทดแทน เช่น เปลือกถั่วเหลือง รุานรองดอกเมล็ดทานตะวัน หัวบีท (Gnanasambandam and Proctor, 1999 ; Kalapathy and Proctor, 2001 ; Wiesenborn et al., 1999 ; Shi et al., 1996)

✓ การสกัดเพคตินในทางการค้า

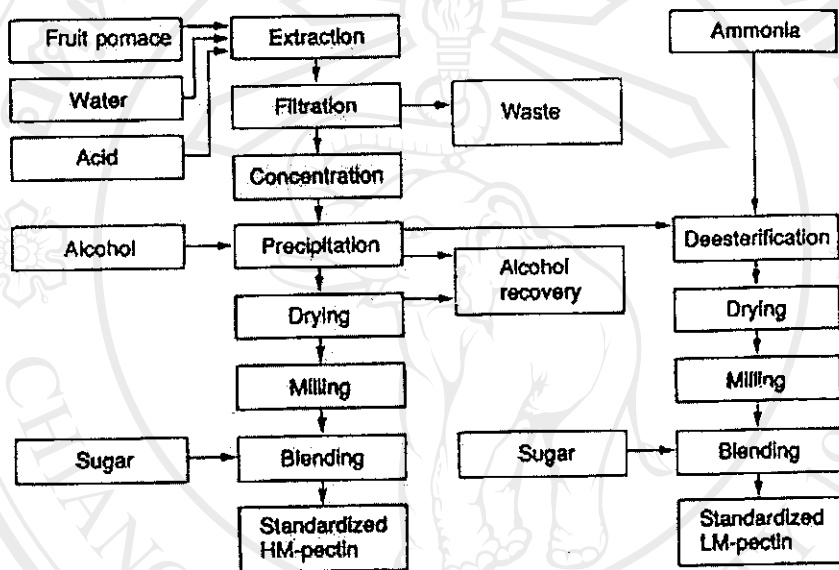
กระบวนการผลิตเพคตินในระดับอุตสาหกรรม สภาพะในการสกัดจะเก็บเป็นความลับในทางการค้า โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้ในการสกัดจะมีทั้งสดและที่ผ่านการอบแห้ง ได้แก่ กากแอปเปิล เปลือกผลไม้ตระกูลส้ม จานรองดอกเมล็ดทานตะวัน หัวบีท (Karpovich et al., 1981) สารที่ใช้สกัดเป็นกรดไฮโดรคลอริก หรือกรดไนตริก ที่มีความเป็นกรด - ต่างระหว่าง 1.5 – 3.0 อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 70 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ในกรณีที่เป็นเปลือกส้ม ต้องทำการลอกและล้างเพื่อยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพคตินเอสเทอเรส กำจัดน้ำตาล กรดซิตริก และสารอื่นๆ ส่วนการอบแห้งนั้นจะไม่มีผลต่อปริมาณเพคตินที่สกัดได้ โดยทั่วไปมีจุดมุ่งหมายเพื่อความสะดวกในการขนส่งและเก็บรักษา

ปริมาณการดีเอสเทอร์ริฟิเคชัน(De-esterification)ของเพคติน จะเกิดขึ้นระหว่างการสกัด ดังนั้นการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของเพคตินที่ต้องการ สิ่งที่ต้องควบคุมคือ อุณหภูมิ ความเป็นกรด - ต่าง และเวลาในการสกัด (Rolin and De Vries, 1990)

เพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูงจะเกิดเจลได้เร็ว อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดจะค่อนข้างสูงเกือบถึงจุดเดือด ที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการไฮโดรไลซิสสารประกอบเพคตินออกมาเร็วขึ้น ความชื้นหนืดต่ำและทำให้เกิดการแพร่ได้ง่ายขึ้น วิธีการนี้จะใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่า 1 ชั่วโมง จะเกิดการดีเอสเทอร์ริฟิเคชันเพียงเล็กน้อย แต่หากสกัดที่อุณหภูมิต่ำเวลานาน จะทำให้ได้เพคตินที่มีการดีเอสเทอร์ไฟด์สูง หลังจากสกัดเพคตินออกแล้วกากที่เหลือจะใช้เป็นอาหารสัตว์

สารที่สกัดได้จะประกอบด้วยเพคติน 0.3 – 1.5 % จากนั้นทำให้ใสโดยการกรองหรือหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง ทำให้เข้มข้น จากนั้นเติมสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เพื่อป้องกันการเสื่อมเสีย แล้วขายในรูปเพคตินเหลวหรือทำการตกตะกอนเพคตินด้วยแอลกอฮอล์ โดยเพคตินจะก่อเป็นชั้นเจล แล้วแยกเจลออก ส่วนของแอลกอฮอล์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการกลั่นการใช้แอลกอฮอล์ในการตกตะกอนนั้นสามารถใช้ เมธิลแอลกอฮอล์ เอธิลแอลกอฮอล์ หรือ 2-โพรพานอล ในบางกระบวนการจะทำการระเหยน้ำออกจากสารสกัดก่อนทำการตกตะกอนทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนการผลิต (Rolin and De Vries, 1990) อีกทางเลือกหนึ่งคือการตกตะกอนเพคตินด้วยอะลูมิเนียมหรือคอปเปอร์ไอออน(Kausar and Nomura, 1982 ; Michel et al., 1981) ในลักษณะของ insoluble salt ล้างตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ร่วมกับกรด แล้วทำตะกอนเพคตินให้เป็นกลางได้ด้วยวิธีการใช้แอลกอฮอล์ร่วมกับด่าง หรือทำการดีเอสเทอร์ไฟด์ด้วยแอลกอฮอล์ แล้วล้างด้วยแอลกอฮอล์บริสุทธิ์จากนั้นทำการบีบเอาแอลกอฮอล์ออก ทำให้เพคตินแห้งแล้วบด (Rolin and

De Vries., 1990) ขั้นตอนการสกัดดังรูปที่ 2.8 คือ นำกากผลไม้มาล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนต่างๆออก จากนั้นสกัดด้วยน้ำและกรด กรองแยกกากออก แล้วนำสารละลายที่ได้มาทำให้เข้มข้น ตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ ทำให้แห้ง บดให้เป็นผง แล้วผสมกับน้ำตาล ปริมาตรฐาน เพคตินที่ได้เรียกว่า เพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง ส่วนเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำนั้นสามารถทำได้โดยในระหว่างตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ เติมแอมโมเนียลงไปเพื่อทำการดีเอสเทอร์ไฟด์ หลังจากนั้นทำให้แห้ง บดให้เป็นผง ผสมกับน้ำตาล ปริมาตรฐาน เพคตินที่ได้เรียกว่าเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำ



รูปที่ 2.8 การสกัดเพคตินในระดับอุตสาหกรรม

(ที่มา : Wang et al.,2002)

นอกจากการหาวัตถุดิบที่เหมาะสมแล้ว วิธีการเตรียมวัตถุดิบก็เป็นขั้นตอนที่สำคัญต่อความบริสุทธิ์ของเพคติน ดังนั้นจึงต้องกำจัดสิ่งแปลกปลอม เช่น สี สารให้กลิ่นรส น้ำตาล และสารอื่นๆ โดยล้างน้ำหรือน้ำร้อน เพคตินบางส่วนจะละลายไปกับน้ำ ซึ่งเพคตินที่สูญเสียไปนั้นเป็นเพคตินที่มีคุณภาพต่ำ เพคตินที่เหลือในขั้นตอนนี้จะเป็นจะอยู่ในรูปของโปรโตเพคติน ถ้าหากกำจัดสิ่งแปลกปลอมในผลไม้ไม่หมด จะทำให้เพคตินที่ได้มีลักษณะขุ่นแต่ไม่เกิดเจล หรือถ้าเป็นเพคตินผงก็จะดูความชื้นและจับกันเป็นก้อน จากการศึกษาการล้างสิ่งแปลกปลอมในกากของฐานรองดอกเมล็ดทานตะวัน อุณหภูมิที่ใช้ล้าง 74.8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 นาที อัตราส่วนระหว่าง

น้ำที่ใช้ล้างต่ออากาศของฐานรองดอกเมล็ดทานตะวัน 25 : 1 สามารถล้างสารให้สีออกได้ถึงร้อยละ 56.47 และสูญเสียเพคตินไปเพียงร้อยละ 2.90 ตามรายงานงานวิจัยของ Walter (1991) พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ล้างวัตถุดิบที่ 65 – 90 องศาเซลเซียส เวลา 1 – 5 นาที สามารถยับยั้งการทำงานของ เอนไซม์เพคตินเนสได้อีกด้วย

ส่วนกรรมวิธีในการสกัดเพคตินได้มีการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆอย่างกว้างขวาง (Sudhakar and Maini, 2000 ; Kalapathy and Procter, 2001 ; Pagan and Ibarz, 1999 ; Mohamed and Hasan, 1995 ; Weisenborn et al., 1999 ; Hwang et al., 1998 ; Krachanov, 1986) ปัจจัยเหล่านี้ได้แก่

- สารเคมีที่ใช้สกัด มีการใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นตั้งแต่ 0.05 – 0.20 นอร์มอล กรดทาร์ทริก กรดไนตริก และ สารโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.50 – 5.00 % w/w
- ความเป็นกรด - ด่าง ในการสกัด 1.20 – 3.23
- อุณหภูมิในการสกัด 40 – 100 องศาเซลเซียส
- เวลาในการสกัด 10 – 80 นาที
- อัตราส่วนของสารสกัดต่อวัตถุดิบ 1 : 1 ถึง 1 : 6
- จำนวนครั้งในการสกัด 1 – 4 ครั้ง

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาสกัด ปริมาณและคุณภาพของเพคตินที่ต้องการ เมื่อสกัดเพคตินได้แล้วจำเป็นต้องมีขั้นตอนการตกตะกอนเพื่อเอาเพคตินออกจากสารละลาย สารที่นิยมใช้คือ เอธิลแอลกอฮอล์ (Sudhakar and Maini, 2000 ; Kalapathy and Procter, 2001 ; Pagan and Ibarz, 1999 ; Mohamed and Hasan, 1995 ; Weisenborn et al., 1999) นอกจากนี้ยังสามารถตกตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ หรือ คอปเปอร์คลอไรด์ (ณรงค์, 2538)

นอกจากปัจจัยข้างต้นแล้ว ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ยังขึ้นอยู่กับอายุของการเจริญเติบโตของพืชที่นำมาสกัดด้วย เมื่อพืชเจริญเติบโตมากขึ้นจะเปลี่ยนโปรโตเพคตินในพืชที่ทำให้เซลล์พืชมีลักษณะแข็งกรอบเป็นเพคตินซึ่งมีคุณสมบัติละลายในน้ำเนื่องจากการทำงานของเอนไซม์เพคตินเนส (Huber, 1983) จากการศึกษาของ Dhingra and Gupta (1984) พบว่าเพคตินในฝรั่งที่อยู่ในช่วงการเจริญเติบโตเต็มที่ จะมากกว่าในช่วงสุก แต่ขัดแย้งกับงานของ Jagtiani et al. (1988) ที่พบว่าถ้าเป็นฝรั่งสุกจะมีปริมาณเพคตินสูงถึง 705 – 804 มิลลิกรัมต่ออากาศฝรั่ง 100 กรัม

ประเทศไทยไม่มีการผลิตเพคตินเพื่อการค้า จะสั่งซื้อจากต่างประเทศเข้ามาจำหน่ายให้บริษัทหรือโรงงานที่จำเป็นต้องใช้เพคติน เพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ แต่ก็ได้มีการศึกษาการสกัดเพคตินเช่นกัน ซึ่งยังอยู่ในวงจำกัด ส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาของนักศึกษาปริญญาตรี และโท

มาลินี (2509) ศึกษาปริมาณเพคตินในมะนาวและส้มเขียวหวาน พบว่ามีแคลเซียมเพคเตต 2.04 และ 0.08% ตามลำดับ ส่วนสุทัศน์ (2518) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการสกัดเพคตินจากดอกกระเจี๊ยบ ผลปรากฏว่าเมื่ออุณหภูมิสูงและเวลาเพิ่มขึ้น ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จะเพิ่มมากขึ้นด้วย และอัตราการสกัดเพคตินในช่วงแรกของการสกัดจะสูงแต่จะลดลงเรื่อยๆ เมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น มีการศึกษาการสกัดเพคตินจากฝรั่งดิบและฝรั่งสุก พบว่าภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพคติน คือ กรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.75% อัตราส่วนผลไม้ต่อกรดเท่ากับ 1 : 2 อุณหภูมิที่ใช้สกัด 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการสกัด 60 นาที ปริมาณเพคตินที่สกัดได้พบว่าฝรั่งดิบมีปริมาณแคลเซียมเพคเตตมากกว่าฝรั่งสุก คือ 5.42 และ 4.98 % ตามลำดับ ในรูปน้ำหนักรวม (สุมาลี, 2517) นัยทัศน์ (2521) ได้ศึกษาการสกัดเพคตินจากฝรั่งสด ทั้งจำปาตะ มะละกอดิบ กระเจี๊ยบแห้ง และเปลือกมะนาวที่ผ่านการขจัดผิวแล้ว พบว่าผลไม้ที่ให้ปริมาณเพคตินมากที่สุดคือเปลือกมะนาวที่ผ่านการขจัดผิวแล้วคือมี 25.30% ส่วนผลไม้ที่มีปริมาณเพคตินที่น้อยที่สุดคือฝรั่งที่มี 7.19% โดยน้ำหนักรวม และจากการศึกษาการเติมโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ลงไปในระหว่างการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวที่ขจัดผิวแล้วที่ความเป็นกรดต่าง 2.0 พบว่าสารดังกล่าวไม่เพิ่มความสามารถในการสกัดเพคตินจากเปลือกมะนาวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการสกัดเพคตินจากเปลือกเสาวรส พบว่าเพคตินที่ได้มีค่า DE 11.16% มีค่าเยลลีเกรด 220 และเมื่อนำเพคตินที่สกัดได้ไปทำแยมสตอเบอร์พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีมาตรฐานทัดเทียมกับการใช้เพคตินทางการค้า (พวงทอง, 2537)

สมบัติทางเคมีเพคติน

- การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง

ในการเกิดเจลของเพคตินได้จะต้องมีปริมาณน้ำตาลและกรดที่เหมาะสมเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากสายเพคตินจะถูกดึงน้ำออกมีผลทำให้เพคตินมีประจุลบ จึงทำให้ลดแรงระหว่างสายโซ่ (chain-chain interaction) ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการเกิดเจลของเพคตินชนิดที่เกิดเจลได้ช้าและเร็ว นั้น คือ 3.2 และ 3.4 ตามลำดับ ที่ความเป็นกรด-ด่างต่ำ ค่า gel strength จะเพิ่มมากขึ้นและอุณหภูมิในการเกิดเจลก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย (May, 1997)

สภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลนั้นมีหลายปัจจัย ที่ระดับความเข้มข้นของน้ำตาลสูงๆ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มมากขึ้น โดยน้ำตาลจะมีผลต่ออัตราการเกิดเจล โดยพบว่าหากใช้กลูโคสหรือฟรุกโตสแทนน้ำตาลมีผลทำให้ gel strength ลดลง แต่ต้องใช้อุณหภูมิในการเกิดเจล

เพิ่มมากขึ้น ในการใช้น้ำตาลฟรักโตสทดแทนน้ำตาล จะมีผลต่อ gel strength น้อย แต่จะมีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิในการเกิดเจล (May, 1997)

- การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำ

ในการเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำนั้นขึ้นอยู่กับหลายๆปัจจัย ได้แก่ ปริมาณ Ca^{2+} ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของน้ำตาล ปริมาณของเพคติน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเกิดเจลและค่า gel strength ที่ต้องการ ในการเตรียมเจลมาตรฐานต้องประกอบด้วยความเป็นกรด-ด่าง 3.0 ปริมาณน้ำตาล 30% โดยใช้มีเพคติน 1% และสารประกอบแคลเซียม โดยเพคตินชนิดนี้จะไม่สามารถเกิดเจลได้หากมีปริมาณแคลเซียมไม่เพียงพอ แต่ถ้าหากเพิ่มปริมาณของแคลเซียม ค่า gel strength ก็เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งแล้วจะลดลง อุณหภูมิในการเกิดเจลก็จะเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิปกติ และจุดเดือดจะเพิ่มมากขึ้นตาม gel strength ที่เพิ่มขึ้น

การลดลงของค่า a_w เนื่องจากการละลายของน้ำตาลเพิ่มมากขึ้น จะสามารถเกิดเจลได้ง่าย แม้ว่าจะมี Ca^{2+} ต่ำ และเป็นเพคตินที่ไม่ไวต่อ Ca^{2+} หากต้องการใช้น้ำตาลเพิ่มขึ้นเป็น 60% ก็จะต้องใช้ Ca^{2+} เพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของน้ำตาลที่เพิ่มมากขึ้น

สมบัติทางกายภาพของเพคติน

1. สมบัติการละลายของเพคติน

เพคตินสามารถละลายในน้ำเย็นและทำให้เกิดความข้นหนืดได้เช่นเดียวกับกัมส์ชนิดอื่นๆ แต่ผงเพคตินจับกันเป็นก้อนได้ง่ายมีผลทำให้ละลายได้ช้าและยาก เพคตินจะสามารถละลายได้ดีในน้ำอุ่นหรือน้ำที่มีอุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส แล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วจากต่ำไปหาสูงสุด ต้องระวังไม่ให้เพคตินจับกันเป็นก้อนเพราะจะทำให้ละลายได้ยาก อีกวิธีที่จะละลายเพคตินได้ดีนั้นจะต้องผสมเพคตินกับน้ำตาลโดยอัตราส่วนของเพคติน 1 ส่วนกับน้ำตาล 5 ส่วน หรือกับสารละลายอื่นๆ เช่น สารละลายน้ำตาล ความเข้มข้น 65 % หรือแอลกอฮอล์เพื่อให้เพคตินเปียก ถ้าไม่ได้ผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง ให้ต้มประมาณ 1 นาที เพื่อให้มั่นใจได้ว่าการละลายได้หมด (Rolin and De Vries, 1990) การตรวจดูว่ามีการละลายเกิดขึ้นสมบูรณ์หรือไม่ สามารถทำได้โดยการดูฟิล์มของสารละลายบนไม้พายหรือใบมีดที่สะอาดจะต้องใสไม่มีส่วนคล้ายเม็ดทรายอยู่ (May, 1997)

2. ความหนืดของเพคติน

ความข้นหนืดของเพคตินนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเพคติน ปริมาณแคลเซียม ปริมาณความเป็นกรด - ต่าง ชนิดของเพคตินและขนาดของมวลโมเลกุล

- ความเข้มข้นของเพคติน สารละลายเพคตินเจือจางจะให้การไหลแบบนิวโตเนียน (Newtonian) ถ้าสารละลายเพคตินมีความเข้มข้นมากกว่า 1% สารละลายเพคตินจะมีคุณสมบัติเป็น Pseudoplastic solution (Kawakatsu, 2001)

- ความเป็นกรด-ต่าง ถ้าเพิ่มความเป็นกรด-ต่างพบว่าความหนืดของสารละลายเพคตินจะเพิ่มขึ้นด้วย ถ้าความเป็นกรดต่างลดลงเป็น 2.5 – 5.5 สารละลายเพคตินจะอยู่ในรูปของ Thixotropic solution สารละลายที่มีประจุ+1 จะลดความหนืดของสารละลายเพคติน เพราะลดแรงดึงดูดระหว่างประจุ

- มวลโมเลกุล เพคตินที่มีมวลโมเลกุลสูง จะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงขึ้นด้วย การหาค่าความหนืดของเพคตินสามารถทำนายได้โดยการหาค่า intrinsic viscosity ในทางตรงกันข้ามเมื่อเจือจางสารละลายและไม่มีแคลเซียม สารละลายจะมีความหนืดลดลงการเตรียมสารละลายเพคตินให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันนั้น สามารถทำได้โดยผสมเพคตินชนิดต่างๆ หรือผสมเพคตินให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (Michel et al., 1982 ; Christensen, 1954 ; Berth et al., 1982)

- ปริมาณของ Ca^{2+} เพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูงไม่ต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่เพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่สามารถแบ่งเพคตินออกตามความไวต่อ Ca^{2+} ออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่เกิดเจลได้ช้า เนื่องจากความไวต่อแคลเซียมต่ำ และกลุ่มที่เกิดเจลได้เร็ว มีความไวต่อแคลเซียมสูง กลุ่มหลังนี้หากเพิ่มปริมาณแคลเซียมความหนืดของสารละลายเพคตินก็จะสูงขึ้นด้วย

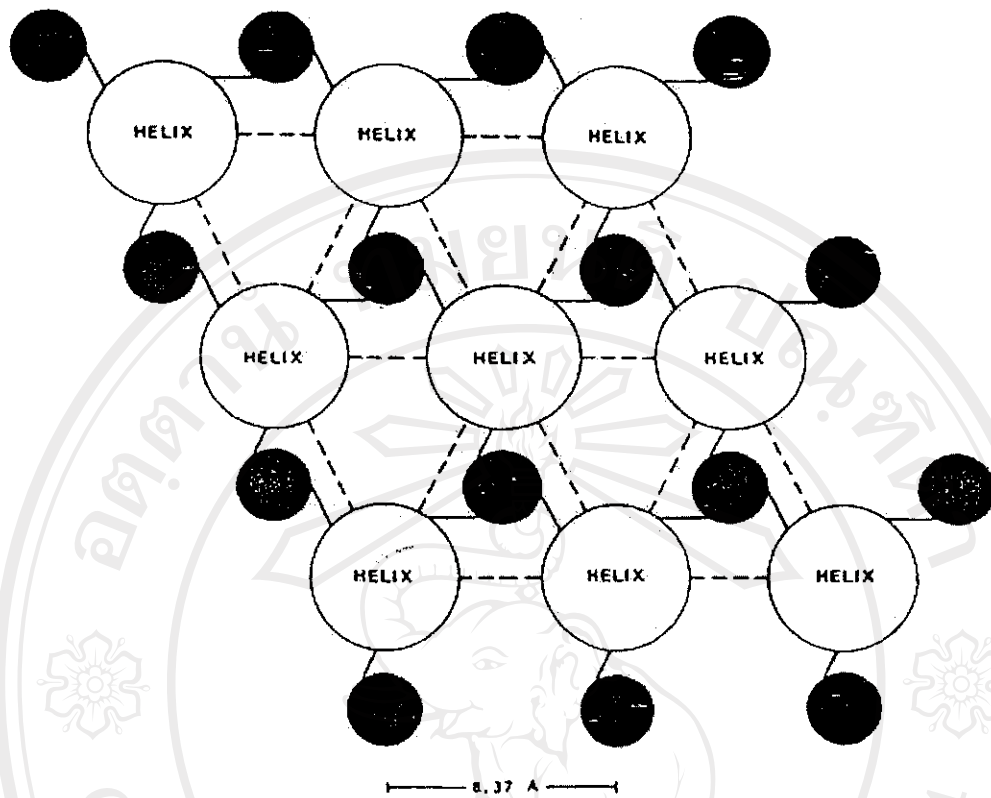
การเกิดเจลและสมบัติของเจลของเพคติน

- เพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง

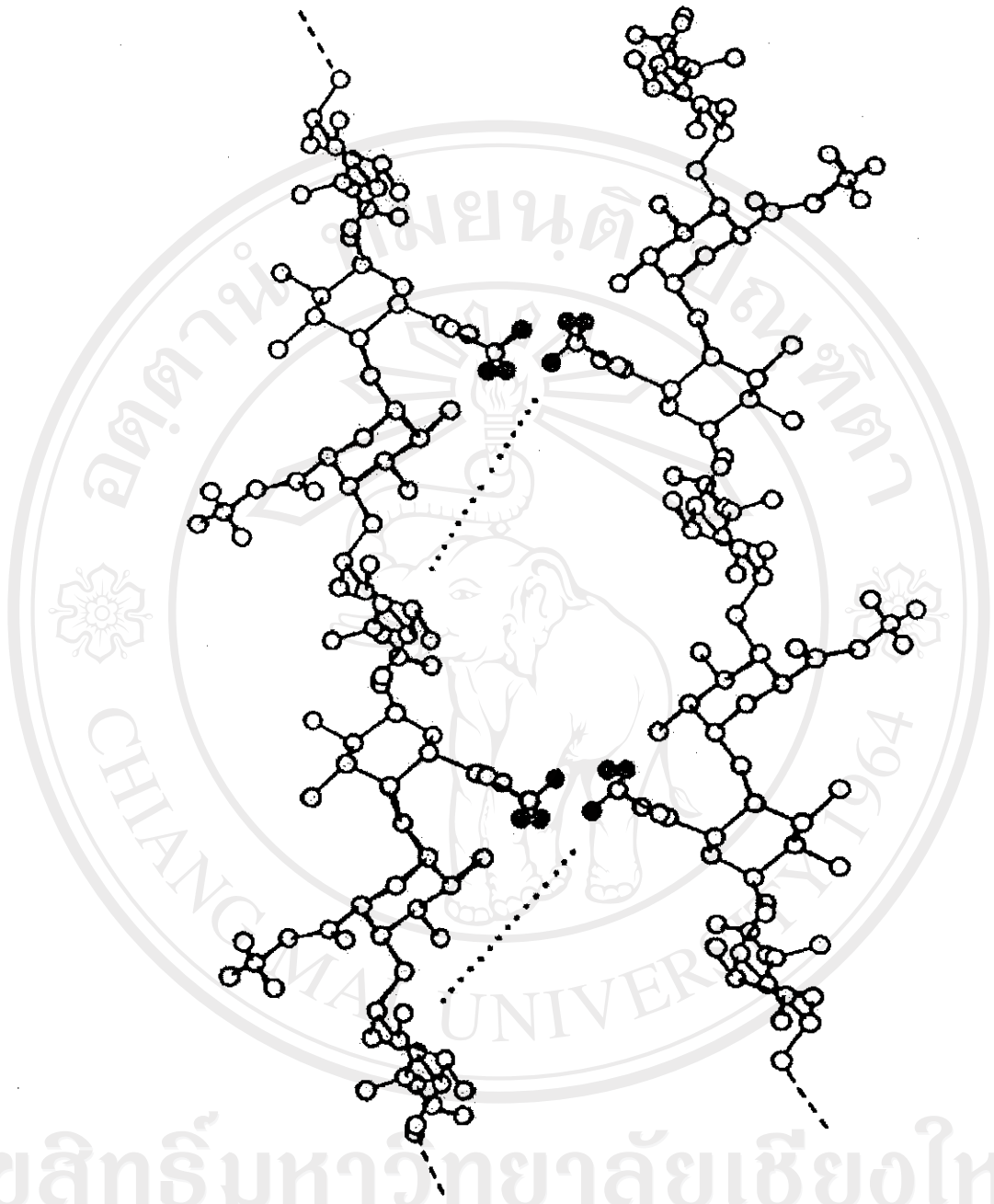
การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูงนั้นเกิดจากการที่หมู่กาแลคทูโรนิกจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนและพันธะไฮโดรฟอบิกเกิดเป็นเกลียว โดยน้ำตาลไฮโมกาแลคทูโรนนั้นจะประกอบด้วยกาแลคทูโรนิก 3 หน่วยต่อ 1 รอบต่อกันในลักษณะที่เป็นเกลียวดังรูปที่ 2.9 (a) ส่วนที่เป็นทรงกลมที่ยื่นออกมา คือส่วนของเมธิลเอสเทอร์ซึ่งจะเปลี่ยนไปเป็นลักษณะเส้นตรง 3 เส้นต่อกันเป็นแผ่นระนาบ ช่องว่างระหว่างหมู่เมธิลจะอยู่ในแนวเดียวกับเกลียวที่สมมาตรเป็นลักษณะรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าดังรูปที่ 2.9 (b) เมื่อโมเลกุลของกาแลคทูโรนิกมาชิดกันจะเกิดเป็น Junction zone ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (c) โดยที่เกิดพันธะไฮโดรเจนภายในอนุภาคระหว่างออกซิเจนตำแหน่งที่ 3 ของของกรดกาแลคทูโรนิกเส้นหนึ่งไปจับกับออกซิเจนตำแหน่งที่ 6 ของของกรดกาแลคทูโรนิกของอีกเส้นหนึ่ง หมู่เมธิลจะอยู่ระหว่างเกลียวของเพคติน 3 เกลียว ดังรูปที่ 2.10 โดยที่จะมี 2 เกลียวยึดเกาะกับหมู่เมธิลอย่างแน่นหนา ภายในสายเพคตินเดียวกัน หมู่เมธิลจะมีลักษณะไฮโดรฟอบิก โดยที่ยึดเกาะกันอย่างแน่นหนา ส่วนที่ยึดเกาะกับน้ำได้น้อยมากจึงมีพลังงานอิสระต่ำ ซึ่งอาจเปรียบเทียบกับหยดน้ำมันเมื่อกระจายตัวในน้ำ จะมีการรวมตัวของหยดน้ำมันเป็นหยดใหญ่ขึ้น



รูปที่ 2.9 การเกิด Junction zone ของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง (a) ลักษณะการเกิดเกลือของเพคตินที่ประกอบด้วยหมู่กาแลคทูโรนิก 3 หน่วย โดยที่วงกลมแทนหมู่เมธิลเอสเทอร์ (b)ลักษณะของเกลือของเพคติน ส่วนที่ยื่นออกมาคือหมู่เมธิลเอสเทอร์ (c) การเกิด Junction zone ของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลสูง เกลือเล็ก ๆ สืบตำแหน่งหมู่เมธิลเอสเทอร์ (ที่มา : Dumitriu, 1998)



รูปที่ 2.10 การเกิด Junction zone ของเจลของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เมธอกซิลสูง
(ที่มา : Nussinovitch, 1997)

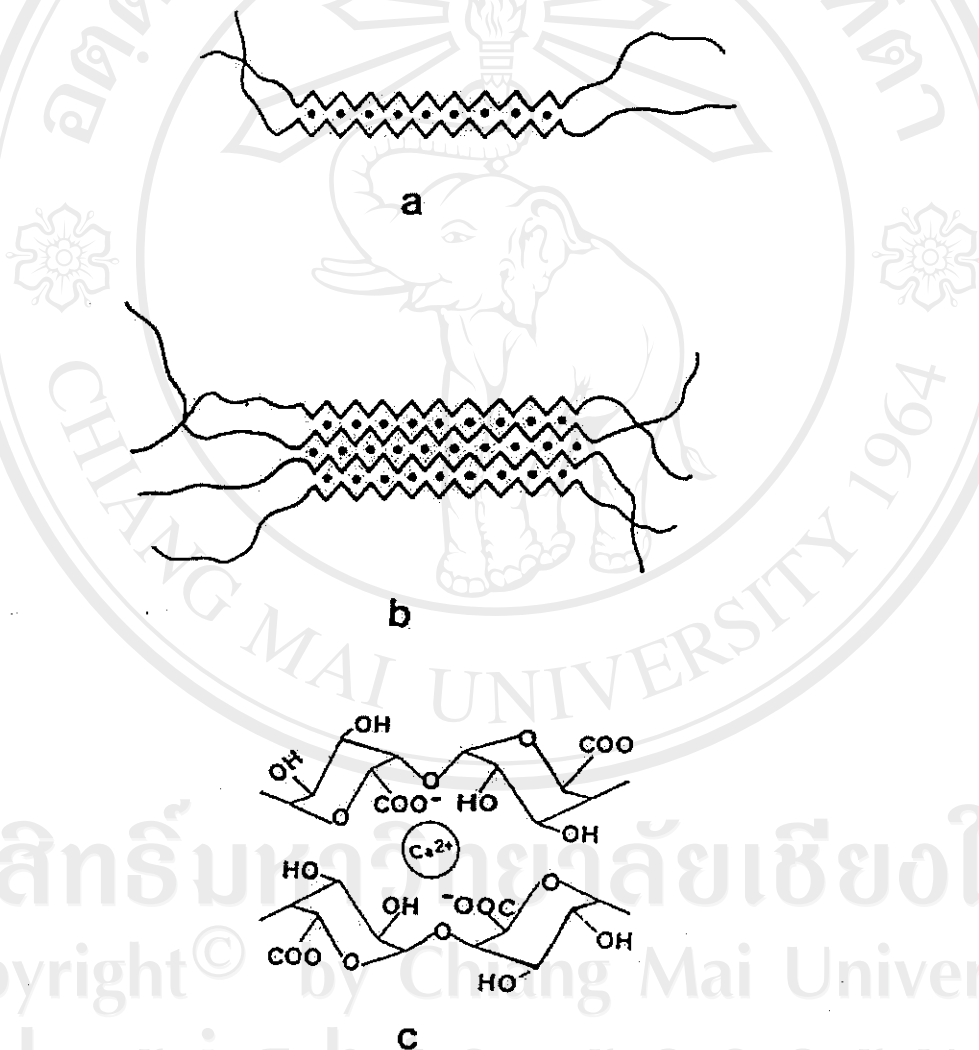


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รูปที่ 2.11 การเกิด Junction zone ของพอลิเมอร์ที่มีหมู่เมธอกซิลสูง จุดที่บ่งแสดงถึงไฮโดรเจนอะตอมของหมู่เมธิล ที่ต่อกันด้วยพันธะไฮโดรโฟบิก และเส้นประแสดงถึงพันธะไฮโดรเจน (ที่มา : Oakenfull,1981)

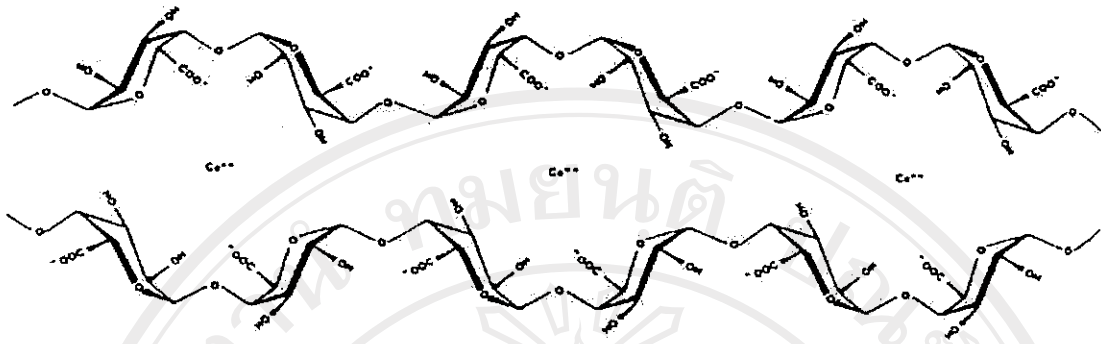
- เพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำ

การเกิดเจลของเพคตินชนิดนี้ไม่ต้องการของแข็งละลายได้สูงหรือต้องมีความเป็นกรด-ด่างต่ำ แต่ต้องการอนุภาคของแคลเซียม การเกิดเจลสามารถอธิบายได้โดยใช้โมเดลแบบกล่องใส่ไข่ (Egg box model) ดังรูป 2.12 ประกอบด้วยห่วงโซ่ของกาแลคทูโรแนนที่มีลักษณะเป็นเกลียวเรียงขนานกัน เมื่ออนุภาคแคลเซียมแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างห่วงโซ่ทั้งสองก็จะเกาะเกี่ยวด้วยอะตอมของออกซิเจนของห่วงโซ่ทั้งสอง เกิดเป็นร่างแหของโมเลกุลขนาดใหญ่



รูปที่ 2.12 การเกิด Junction zone ของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำ

(ที่มา : Nussinovitch, 1997)



รูปที่ 2.13 การเกิด Junction zone ของเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำ
(ที่มา : May,1997)

เพคตินที่มีค่า DE ระหว่าง 25 – 35 % และค่า DA 18 – 25 % จะทำปฏิกิริยาได้ดีกับแคลเซียมจึงสามารถใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีแคลเซียมต่ำและมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดต่ำ ส่วนเพคตินที่มีค่า DE 35 – 45 % ไม่มีหมู่เอไมด์เป็นองค์ประกอบ กับเพคตินที่มีค่า DE 30 – 40 % และค่า DA 10 – 18 % เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีแคลเซียมสูงหรือปริมาณของแข็งที่ละลายได้สูง ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างเจลของเพคตินทั้ง 2 ชนิดคือเจลเพคตินที่มีหมู่เมธอกซิลต่ำหลังจากหลอมละลายแล้วสามารถเกิดเจลใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ขณะที่เจลของหมู่เมธอกซิลสูงจะเกิดเจลใหม่ได้ช้ามาก

สมบัติของเจลจะวัดในรูปของความแข็งแรงของเจล (gel strength) ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการวัดค่า deformation ในช่วงอีลาสติกหรือวัดแรงที่ทำให้เจลแตก วิธีมาตรฐานที่นิยมใช้กันคือ SAG ซึ่งให้ค่าจำกัดความว่า เจลลีเกรด 150° USA – SAG หมายถึง เจลที่เกิดจากการเติมน้ำตาล 150 ส่วนต่อเพคติน 1 ส่วนในสารละลายที่มีของแข็งละลายได้ 65 °Brix ค่าความเป็นกรด—ด่าง 2.2 – 2.4 จะมีการยุบตัวลง 23.5 % หลังจากเอาออกจากพิมพ์แล้วทิ้งไว้ 2 นาที นอกจากวิธี SAG แล้วสามารถวัดความแข็งแรงของเจลในรูปของแรงได้โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสแบบต่างๆ

การนำเพคตินไปใช้ประโยชน์

• การใช้เพคตินในผลิตภัณฑ์แยม

จุดมุ่งหมายโดยทั่วไปของการใช้เพคตินนั้นเพื่อใช้ในการเตรียมแยม เยลลี่ และเจลอื่นๆ (Kertesz, 1951) โดยในระยะแรกการผลิตแยมจะใช้เพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูง ต่อมาใช้เพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์ต่ำ เพราะเจลที่ได้มีการกระจายตัวที่ดีและเจลที่ได้มีความยืดหยุ่นกว่า หากผลิตภัณฑ์แยมมีเนื้อผลไม้อยู่ด้วยจะต้องใช้คุณสมบัติในการทำให้เกิดเจลค่อนข้างสูง และจะแข็งตัวทันทีหลังจากเทลงในภาชนะบรรจุ จึงทำให้ชั้นผลไม้ไม่ลอยอยู่ที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ หากภาชนะที่ใช้ในการบรรจุใหญ่เกินไปจะพบว่าหากบรรจุผลิตภัณฑ์ในอุณหภูมิที่ต่ำเกินไป ปริมาณกลิ่นและสีจะถูกทำลายโดยเฉพาะบริเวณกึ่งกลางของภาชนะบรรจุ เนื่องจากเป็นจุดที่มีการถ่ายเทความร้อนออกมาได้ช้าที่สุด

ในการเตรียมเจลที่มีน้ำตาลอยู่น้อยจะใช้เพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์ต่ำ ทำให้เกิดเจลได้โดยการใช้แคลเซียมไอออนและอุณหภูมิในการทำให้เกิดเจลที่แตกต่างกัน แล้วเปรียบเทียบเนื้อสัมผัสของเจลที่ได้ ในกรณีที่ไม่มีชั้นผลไม้อยู่ด้วย การใช้เพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์ต่ำจะใช้เวลาในการเกิดการแข็งตัวของเจลค่อนข้างนานภายหลังจากที่บรรจุในภาชนะ ในกรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์ขนมหวานหรือลูกอมจะใช้เพคตินแบบที่มีหมู่เอสเทอร์สูงและเกิดเจลช้า โดยการเตรียมจะต้องมีของแข็งทั้งหมดเป็น 78 % ในทางตรงกันข้ามการเตรียมแยมจะต้องมีของแข็งทั้งหมดเป็น 65 % หรือผลิตภัณฑ์แยมที่มีน้ำตาลต่ำจะมีของแข็งทั้งหมดเป็น 30 – 55 % (Rolin and De vries, 1990)

• การใช้เพคตินในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่

สำหรับผลิตภัณฑ์เบเกอรี่จะต้องใช้เจลที่ทนต่อความร้อน โดยต้องมีของแข็งทั้งหมดตั้งแต่ 45 – 75 % ขึ้นอยู่กับชนิดของเพคตินที่ใช้ ชนิดของผลิตภัณฑ์ ความเป็นกรด-ด่างตั้งแต่ 3.3 – 3.6 โดยทั่วไปเจลที่มีความคงตัวต่อความร้อนนั้นเตรียมจากเพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูง แต่ก็สามารถใช้เพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์ต่ำได้แต่ต้องใช้แคลเซียมซิเตรตช่วยในการยกระดับอุณหภูมิในการทำให้เกิดเจล

ในผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ที่มีการใช้เพคตินเป็นส่วนผสมในการทำไส้หรือมีการเคลือบผลิตภัณฑ์แยมประเภทที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบที่สูง 70% ควรใช้เพคตินชนิดที่มีหมู่เอสเทอร์

สูงและเกิดเจลได้อย่างรวดเร็ว ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคงตัวสูงและ การเกิด syneresis น้อย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบ มีการแนะนำให้ใช้พดตินชนิดที่มีหมู่เอสเทอร์ต่ำและไม่มีหมู่เอไมด์เป็นองค์ประกอบ สามารถเตรียมได้โดยใช้น้ำตาล 65 % และมีปริมาณ Ca^{2+} สูง แต่ก่อนที่จะนำเจลนี้มาใช้จะต้องมีการเติมน้ำ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เพื่อเหนียวนาให้เกิดการหลอมละลาย จากนั้นนำมาเคลือบผลิตภัณฑ์ในขณะที่ร้อน แล้วก็ทิ้งไว้ให้เย็น (Coffin and Fishman, 1994)

- การใช้พดตินในผลิตภัณฑ์นม

ผลไม้ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์นมนั้นจะอยู่ในรูปของ semi - gel thixotropic product โดยมีน้ำตาลอยู่ 30 - 65 % ความเป็นกรด - ต่าง 3.6 - 4.0 เตรียมด้วยพดตินที่มีหมู่เอสเทอร์ต่ำ 0.3 - 0.6 % ซึ่งอาจเตรียมใส่ภาชนะใหญ่ๆที่สามารถสูบหรือบั่นเพื่อให้ส่วนผสมเข้ากันได้ดี หลังจากนั้นนำไปบรรจุหรือขายต่อไป (Rolin and De vries, 1990)

ในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวที่มีความเป็นกรด-ต่าง 3.5 - 4.2 สามารถใช้พดตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูง โดยมีค่าดี-เอสเทอร์พีเคชั่นประมาณ 70 การทำให้นมมีรสเปรี้ยวสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการหมักหรือการเติมน้ำผลไม้ หากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณเคซีนไม่คงตัวทำให้เกิดลักษณะเป็นลิ่มๆ จะต้องมีการเติมพดตินก่อนทำการโฮโมจีไนส์ (Homogenization) แล้วพดตินจะจับกับเคซีนที่มีประจุเป็นบวกในผลิตภัณฑ์นม ในช่วงแรกที่ทำกรเติมพดตินลงไปปริมาณที่น้อยๆ ทำให้ประจุรวมในผลิตภัณฑ์นมเป็นกลาง จึงทำให้ระบบเกิดการยุบตัว ขึ้นทำให้ลดแรงของประจุบวก จากนั้นเมื่อเติมพดตินลงไปเรื่อยๆจะทำให้เกิดแรงผลักรวมขึ้นมาใหม่ ทำให้ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวมีความคงตัว นอกจากนี้พันธะไฮโดรไฟบิกนั้นจะมีผลพอกกับแรงของประจุ ต่อความคงตัวของการกระจายตัวของโปรตีนกับเคซีน (Pereyra et al., 1995) การหาอัตราของแรงเฉือนและเวลาของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนั้นวัดลักษณะของการเติมพดตินเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และการเพิ่มปริมาณของสตอเบอร์รี่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (Basak and Ramaswamy, 1994) ค่าลักษณะการไหล (rheology) ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผสมกลืนต่างๆนั้นมีผลกระทบจากทั้งพดติน (0 - 0.5 %) และความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ศึกษา การศึกษาความข้นหนืดนั้นสามารถศึกษาได้จากการผสมพดตินกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผ่านกระบวนการหมักแล้ว และความเข้มข้นของผลไม้ คุณภาพของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผลไม้ไม่ต้องเตรียม และปัจจัยต่างๆที่ศึกษาคูสมบัติทาง rheology ของโยเกิร์ตผสมพดตินนั้นศึกษาโดย Kratz and Dengler (1995) มีการใช้พดติน 3 ชนิดในการเตรียมผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

เพื่อหาความเป็นไปได้ในการเตรียมโยเกิร์ตจากผลไม้ จุดมุ่งหมายของการศึกษาเพื่อที่จะเพิ่มปริมาณของแข็งและเพิ่มความหนืดของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตผลไม้ไขมันต่ำ จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะทางเนื้อสัมผัสและมีความคงตัวดี โดยเติมนมผง เจลาติน เพคติน และแป้ง ทั้งนี้เพื่อกำจัดลักษณะของความขุ่นหนืดและลักษณะเนื้อสัมผัสที่ไม่ดี ลดการเกิดการ syneresis ของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตที่ผ่านการฆ่าเชื้อแบบพาสเจอร์ไรส์ แก่ไขโดยการเติมเจลาติน เพคติน และแป้ง (Moller, 1995) นอกจากนี้มีการเติมผักและผลไม้อบแห้งในผลิตภัณฑ์นมหมักด้วยเหตุผลทางการแพทย์ และเป็นตัวที่ช่วยเร่งการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยแลคโตสเป็นกรดแลคติกนั้นพบว่าโดยพบว่าผู้ป่วยที่รับประทานมากกว่า 2 สัปดาห์จะเพิ่มความอยากอาหาร เพิ่มปริมาณเชื้อในลำไส้เป็น 20 – 25 % และช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลในเลือดได้ (Arkhipova and Krasnikova, 1994)

- **ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม**

การใช้เพคตินเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม ความคงตัวขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณเพคตินที่ใช้ (Elshamei and Elzoghbi, 1994) สามารถเตรียมได้จากผลไม้ตระกูลส้มโดยใช้เอนไซม์สกัดเพคตินออกจากผลไม้ โดยต้องมีความคงตัวหลังจากทำการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 42 วัน (Klavans et al., 1994)

- **ผลิตภัณฑ์ลูกกวาด**

ในอุตสาหกรรมผลิตลูกกวาดใช้เพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูงและเกิดเจลช้า ในอุตสาหกรรมผลิตลูกกวาดใช้เพคตินเป็นสารที่ทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัส ช่วยในการเก็บรักษากลิ่นและสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง มีการใช้เพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูงในการป้องกันไม่ให้ไขมันในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดแยกตัวออกมา (Brake and Fenema, 1993)

- **ผลิตภัณฑ์อื่นๆ**

การใช้เพคตินที่มีหมู่เอสเทอร์ต่ำเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลและเป็นสารเพิ่มลักษณะทางเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดเช่น ไซป์ลาคาเวียเทียม ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม และของหวานต่างๆ การใช้เพคตินร่วมกับอัลจินเนตมีผลต่อคุณการเกิดเจล มีการใช้เพคตินร่วมกับแทนแทนแกมเพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำสลัด เพื่อป้องกันการรวมตัวกันของก้อนน้ำแข็งใน

ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกลือน้ำแข็งหรือเซอร์เบต นอกจากนี้ยังมีการใช้เพคตินร่วมกับกาแลคทูแมนแนน เพื่อเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ทำให้เกิดความคงตัวของอิมัลชันของโปรตีนนม (Einhornstoll et al., 1996) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงตัว นอกจากนี้ยังมีการใช้ประโยชน์ของ เพคตินในด้านอื่นๆ อีกมากมาย เช่นผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่แข็ง การใช้เพคตินจับกับกลีนาเพื่อทำ ผลิตภัณฑ์ชาผงละลายได้ทันที และผลิตภัณฑ์อื่นอีกมากมาย

- การใช้เพคตินในทางการแพทย์

ในทางการแพทย์และเภสัชกรรมมีประโยชน์ คือใช้เป็นยาแก้อาการท้องร่วงและลดกรดใน กระเพาะอาหารได้ เนื่องจากเพคตินสามารถดูดซับสารพิษที่เกิดจากเชื้อจุลินทรีย์ได้ นอกจากนี้ยัง ส่งเสริมการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ในลำไส้ ทำให้ร่างกายกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็น อันตรายต่อร่างกายได้ง่ายขึ้น ใช้เป็นตัวช่วยในการห้ามเลือด สามารถดูดซึมแร่ธาตุที่เป็นอันตราย ต่อร่างกาย เช่น รังสีโคบอลต์ และสตรอนเทียม ใช้แก้พิษของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แมงกานีส โคบอลต์ เป็นต้น โดยทำปฏิกิริยากับโลหะที่เป็นพิษเกิดเป็นเกลือที่ละลายไม่ได้ ใช้ทำสารประกอบ เชิงซ้อนที่ช่วยยืดระยะเวลาในการออกฤทธิ์ของยาบางประเภทให้ยาวนานขึ้น เช่น พวกยา เพนนิซิลิน (Penicillin), อีพิเนฟริน (Ephinephrine), สเตรปโตไมซิน (Streptomycin) เป็นต้น ช่วยลด การดูดซึมของไขมัน (โคเลสเตอรอล) เข้าสู่ร่างกายได้ประมาณ 11 – 32 % โดยไม่มีอันตราย ป้อง กันการเกิดโรคหัวใจเนื่องจากหลอดเลือดตีบตัน ลดความดันโลหิตได้ประมาณ 10 % ช่วยป้องกันการเกิดภาวะน้ำตาลในเลือดสูงเฉียบพลัน ช่วยให้ระบบขับถ่ายปกติ และพบว่ามีการใช้เพคตินที่มี ปริมาณเมธอกซิลต่ำในรูปของสารละลายทดแทนไขมันมากขึ้น (IFT.,1991; Hoefler, 1994 ; Baker,1997 ; Anonymous,2000)

ความปลอดภัยในการใช้เพคตินในผลิตภัณฑ์อาหาร

เพคตินเป็นส่วนประกอบสำคัญของพืชและมีปริมาณการบริโภคเพิ่มมากขึ้น เพคตินไม่ สามารถถูกย่อยได้โดยระบบของร่างกายจนถึงลำไส้ใหญ่ แล้วแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่จะใช้เพคติน เป็นแหล่งคาร์บอน ถึงแม้จะย่อยที่ลำไส้ใหญ่ได้แต่ก็ไม่ให้พลังงานแก่ร่างกาย (Cambell and Palmer, 1978) จากความเป็นพิษของเพคตินนั้นไม่มี จึงไม่มีการควบคุมปริมาณการใช้สำหรับเป็น

อาหารของมนุษย์ ดังนั้นองค์การอาหารและยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (FDA) จึงไม่กำหนดปริมาณการใช้โดยเฉพาะหรือข้อแนะนำสำหรับวิธีหรือปริมาณการใช้อาหารต่างๆ (Anon, 1981)

ฝรั่ง (ส่วสด, 2541)

ฝรั่งเป็นพืชอยู่ในวงศ์ (Family) เมอร์เตซีอี (Myrtaceae) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Psidium guajava*, L. มีโครโมโซม $2n = 22$ จัดเป็นพืชยืนต้นมีถิ่นกำเนิดอยู่ในอเมริกาใต้และอินเดีย ซึ่งปลูกได้ดีในประเทศเขตร้อน ประเทศกึ่งร้อน หรือประเทศที่มีอากาศที่ค่อนข้างอบอุ่น สามารถปลูกได้ตั้งแต่ระดับน้ำทะเลเป็นต้นไปจนถึงท้องที่ที่มีความสูงกว่าระดับน้ำทะเลประมาณ 2,500 เมตร สำหรับการแพร่กระจาย เข้าใจว่าเข้ามาในประเทศไทยในเขตเอเชียโดยทำการติดต่อ กับชาวอเมริกา โดยชาวอเมริกาได้นำฝรั่งมาด้วย เพราะเป็นผลไม้ที่มีรสชาติอร่อย มีคุณค่าทางอาหาร ทำให้ฝรั่งได้แพร่กระจายในทวีปเอเชียได้เป็นอย่างดี

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของฝรั่งมีดังนี้

ลำต้น ฝรั่งเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กหรือไม้พุ่ม ทรงต้นสูงประมาณ 3 - 10 เมตร แตกกิ่งก้านสาขาที่ใกล้บริเวณโคนต้น มีการแตกหน่อจากราก เปลือกมีสีน้ำตาลอมแดง หรือน้ำตาลอมเขียว เปลือกจะลอกเองเมื่อลำต้นแก่.

ใบ เป็นไม้ประเภทใบคู่ ใบอ่อนสีเขียว มีลักษณะไม่เรียบมีขนอ่อนปกคลุม เมื่อแตกออกจะแยกเป็น 2 แนว แผ่นใบเป็นรูปไข่ ปลายมนกว้าง 3 - 7 เซนติเมตร ยาว 5 - 15 เซนติเมตร ด้านหลังเรียบ ด้านท้องใบมีขนอ่อนอยู่ ฐานใบโค้งขอบใบเรียบและมีขอบโปร่งใส

ดอก เกิดที่ตาข้างมักไม่เกิดที่ตายอด เป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อจำนวน 2 - 3 ดอก ต่อ 1 ช่อ ก้านดอกมีสีเขียวอมเหลือง มีขนอยู่ทั่วไป มีกลีบรองดอกอยู่ 4 - 6 อัน สีเขียวอมเหลือง มีขนอ่อนปกคลุม ขณะที่ดอกตูม กลีบเลี้ยงจะหุ้มส่วนอื่นของดอก แต่จะแตกออกเมื่อดอกเริ่มคลี่บาน ชั้นกลีบเลี้ยงจะไม่หลุดร่วงจนผลแก่แล้วยังติดอยู่ ชั้นกลีบดอกสีขาวรูปร่างรี จำนวน 4 - 5 อัน จะมีเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียอยู่ในดอกเดียวกัน

ผล รูปร่างกลมหรือไข่ ป่องตรงปลาย เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 - 9 เซนติเมตร ยาว 5 - 12 เซนติเมตร มีชั้นกลีบเลี้ยงของดอกติดอยู่ที่ปลายเปลือกขรุขระเล็กน้อยแต่จะเป็นมัน เมื่อผลเล็กจะมีผิวสีเขียวเข้ม แก่ผิวจะมีสีเขียวอ่อน และสุกจะมีสีเหลืองอ่อน เปลือกชั้นกลางมีสีขาว ความหนาของเนื้อแตกต่างกันออกไปตามแตชนิดของพันธุ์ เนื้อฉ่ำน้ำ เมื่อสุกจะมีรสหวานและกลิ่นแรง มักปรากฏส่วนที่เรียกว่าเซลล์หินด้วย นิยมรับประทานเมื่อผลแก่จัดแต่ยังไม่สุก เนื่องจากรสชาติของ

ฝรั่งนั้นดี มีรสเปรี้ยวอมหวานและกรอบ รับประทานได้ทั้งผลยกเว้นเมล็ดซึ่งย่อยยาก เนื้อชั้นในติดกับเมล็ด มีทั้งสีขาวเหลือง ชมพูหรือแดง รสหวาน

เมล็ด เกาะติดอยู่กับเนื้อชั้นในใจกลางของผลเป็นจำนวนมาก น้อยหรือไม่มีเลยขึ้นอยู่กับพันธุ์ มีสีเหลืองอ่อนหรือสีน้ำตาลอมเหลือง เปลือกแข็งมาก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2 – 0.3 เซนติเมตร และยาว 0.3 – 0.5 เซนติเมตร รูปร่างคล้ายไตลักษณะโค้ง

ฝรั่งพันธุ์กลมสาลี มีลักษณะผลกลมขนาดใหญ่ มีผิวสีเขียวอ่อน เนื้อหนา แน่น และกรอบ รสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย

ฝรั่งเป็นผลไม้ที่อุดมด้วยวิตามิน โดยเฉพาะวิตามินซีและเอนั้นมีมากกว่ามะนาวถึง 4 เท่า จึงมีคุณค่าในการต้านทานโรคหวัดได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมีการแนะนำให้รับประทานฝรั่งเพื่อลดความอ้วน เนื่องจากคนอ้วนชอบรับประทานของจุกจิก อีกทั้งฝรั่งมีเพคตินที่ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้งานได้ ดังนั้นเมื่อรับประทานฝรั่ง ซึ่งเป็นผลไม้ที่มีความกรอบ ทำให้เคี้ยวเพลีน และไม่เพิ่มน้ำหนัก

สำหรับคุณค่าทางอาหารนั้นกองโภชนาการกรมอนามัย ได้ศึกษาคุณค่าทางอาหารไว้ดังนี้

วิตามินบี 1	0.06 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามินบี 2	0.13 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามินซี	160 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามินเอ	89 หน่วยสากลต่อ 100 กรัม
ค่าพลังงานความร้อน	51 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม
แคลเซียม	13 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
เหล็ก	0.5 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
ฟอสฟอรัส	25 กิโลกรัมต่อ 100 กรัม
คาร์โบไฮเดรต	11.6 เปอร์เซ็นต์
โปรตีน	0.9 เปอร์เซ็นต์
เส้นใย	6 เปอร์เซ็นต์
ไขมัน	0.1 เปอร์เซ็นต์
ความชื้น	80.7 เปอร์เซ็นต์

สำหรับวิตามินซี ซึ่งมีอยู่ในฝรั่งเป็นจำนวนมากนั้นต้องขึ้นอยู่กับพันธุ์ของฝรั่ง บางพันธุ์มีวิตามินซีเฉลี่ยถึง 95 มิลลิกรัม ต่อน้ำหนักฝรั่ง 100 กรัม

ฝรั่งนั้นมีมากมายหลายพันธุ์ ถ้าเอาเฉพาะสีของเนื้อฝรั่งมาพิจารณาดู จะพบว่าฝรั่งนั้นมีลักษณะสีอยู่ 2 สี คือ สีขาวและสีชมพูอมแดง ซึ่งทั้ง 2 พันธุ์นี้ก็จะให้คุณค่าทางอาหารแตกต่างกันออกไป ซึ่งวันชัย สมชิต แห่งสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ศึกษาวิเคราะห์ความแตกต่างทางคุณค่าทางอาหารไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางอาหารของฝรั่งพันธุ์เนื้อสีชมพูอมแดงและพันธุ์เนื้อสีขาว

รายการ	พันธุ์เนื้อสีชมพูอมแดง	พันธุ์เนื้อสีขาว
น้ำ (%)	65.4	72.3
คาร์โบไฮเดรต (%)	26.8	20.4
ไขมัน (%)	0.4	0.4
โปรตีน (%)	1.0	1.2
เถ้า (%)	0.7	0.7
แคลอรี (หน่วย)	124	99
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	33	22
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	28	34
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.6	0.8
วิตามินเอ (มิลลิกรัม)	105	106
วิตามิน บี 1 (มิลลิกรัม)	0.06	0.07
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	126	104
เส้นใย (%)	5.7	5.0

(ที่มา : สวัสดิ์, 2541)