

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปัญหาพิเศษ

เรื่อง

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากมะนาวและกากมะนาว

A study of optimal condition for pectin extraction from lemon and lemon pomace

โดย

นางสาวปรีดา เลิศจิตต์ธรรม

รฟง.
ร/471ก
2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 47208
วัน, เดือน, ปี 24 ส.ย. 2546

.b.....
.i.....

ปัญหาพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาอุตสาหกรรมเกษตร

ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒๓๐๖๕๑

บทคัดย่อปัญหาพิเศษ

ปีการศึกษา 2544

ชื่อเรื่อง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากมะนาวและกากมะนาว

A study of optimal condition for pectin extraction from lemon and lemon pomace

ชื่อ – สกุล นางสาว ปรีดา เลิศจิตต์ธรรม

สาขาวิชา อุตสาหกรรมเกษตร

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ภัทรภรณ์ จางวนิชเลิศ

บทคัดย่อ

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากมะนาวและกากมะนาว มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินในรูปแคลเซียมเพคเตทระหว่างกากมะนาวกับ น้ำมะนาว และศึกษาระดับความเข้มข้นของสารละลาย HCl อุณหภูมิ อัตราส่วนกากมะนาว ต่อ สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัดเพคตินจากกากมะนาว จากนั้นทำการทดลองผลิตเพคติน จากกากมะนาว

การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินระหว่างกากมะนาวกับน้ำมะนาวพบว่า ผลมะนาวเมื่อนำมาคั้นน้ำแล้วยังคงมีปริมาณเพคตินหลงเหลืออยู่ในกากร้อยละ 52.92 ของปริมาณเพคตินในทั้งหมดและมีปริมาณเพคตินออกไปกับน้ำร้อยละ 47.07 ของปริมาณในทั้งหมด สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ ทำการสกัดโดยใช้สารละลาย HCl 1.5 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 70 °ซ ใช้อัตราส่วนของกากมะนาว : สารละลาย HCl ในอัตราส่วน 1 : 10 นาน 2 ชั่วโมง เนื่องจากสภาวะดังกล่าวสามารถไฮโดรไลซ์โปรโตเพคตินไปเป็นเพคตินได้มากที่สุด ในขั้นตอนของการผลิตเพคติน โดยตกตะกอนด้วย 60 เปอร์เซ็นต์ เอทานอลพบว่าได้ปริมาณเพคตินเท่ากับร้อยละ 10.88 ของน้ำหนักกากมะนาว

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกากมะนาว ควรมีการศึกษาความเร็วในการกวน และขนาดอนุภาคเพิ่มเติมเนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด

ในการศึกษาการสกัดเพคตินจากกากมะนาว ควรมีการศึกษาการสกัดเพคตินโดยใช้ เอนไซม์โปรโตเพคตินเนสในการไฮโดรไลซ์ส่วนของ hairy region

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปัญหาพิเศษครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำจาก ท่านอาจารย์ทุกท่าน สาขาวิชาเคมีปฏิบัติการ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ ที่ให้คำแนะนำ , ให้ความกรุณาให้ใช้ห้องปฏิบัติการเคมี ในการทำการทดลอง และแนะแนวทางในการทำปัญหาพิเศษ ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ความดีและสิ่งดีที่ผู้ทดลองตั้งใจทำ ปัญหาพิเศษฉบับนี้ ขอมอบให้อาจารย์ภัทรภรณ์ จางวนิชเลิศ และผู้ที่กล่าวมาข้างต้น ตลอดจน บิดา มารดา และเพื่อน ๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ ขอให้ท่านทั้งหลายประสบความสำเร็จในหน้าที่การงาน และการดำเนินชีวิต ซึ่งท่านที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้ปัญหาพิเศษลุล่วงไปได้ด้วยดี

ปรีดา เลิศจิตต์ธรรม

กุมภาพันธ์ 2545

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษ.....	ก
กิตติกรรมประกาศ.....	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ง
สารบัญตารางภาคผนวก.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของปัญหา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง	
2.1 มະນาว.....	3
2.6 สารประกอบพืดดิน.....	8
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	23
3.2 วิธีการ.....	24
3.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	26
3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย.....	26
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	
4.1 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณพืดดินในผลมะนาว กากมะนาว กับน้ำมะนาว.....	28
4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดพืดดินจากกากมะนาว.....	29
4.3 ทดลองผลิตพืดดินจากกากมะนาวด้วยวิธีการตกตะกอนด้วย 60%เอทานอล.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	32
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	32
บรรณานุกรม.....	33
ภาคผนวก.....	35



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของมะนาว.....8
2	โพลีแซคคาไรด์ของผนังเซลล์พืชชั้นสูง.....9
3	ปริมาณเพคตินในผลไม้ชนิดต่างๆ.....12
4	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเพคตินชนิดต่างๆ.....14
5	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเอสเทอร์และอัตราเร็วในการเว็ทตัวของเพคติน จากกากแอปเปิ้ล.....16
6	แสดงปริมาณแคลเซียมเพคเตท.....28
7	ผลการศึกษาเปรียบเทียบเพคตินในผลมะนาว กากมะนาว และน้ำมะนาว.....28
8	ปริมาณแคลเซียมเพคเตทที่สกัดได้โดยใช้ระดับความเข้มข้นของสารละลายHCl และ อุณหภูมิที่ต่างกัน.....29
9	ปริมาณแคลเซียมเพคเตทที่สกัดได้โดยอัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl และระยะ เวลาในการสกัด.....30
10	แสดงปริมาณเพคตินที่ได้จากการตกตะกอนด้วย60%เอทานอล31

สารบัญตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
1 แสดงข้อกำหนดมาตรฐานระหว่างประเทศของเพคตินสำหรับใช้ในอาหาร และเภสัชกรรม.....	...37
2 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นสารละลาย HCl ที่ 1%, 1.5%, 1% และ อุณหภูมิ ที่ 60 ^๐ ซ, 70 ^๐ ซ, 80 ^๐ ซ เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	42
3 แสดงค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการศึกษาความเข้มข้นสารละลาย HCl และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	43
4 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl ที่ 1:5, 1:10, 1:15 และระยะเวลาในการสกัดที่ 2, 3, 4 ชั่วโมง เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	44
5 แสดงค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานการศึกษาอัตราส่วน กากมะนาว : สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%.....	45

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แผนภาพแสดงเซลล์พืช.....	6
2 ลักษณะ โครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยหมู่เมทิลแอลกอฮอล์ไปบางส่วน.....	10
3 โครงสร้างของโปรโตเพคตินในพืช.....	11
4 กากมะนาวที่ใช้ในการผลิตเพคติน.....	39
5 สารละลายเพคติน.....	39
6 pH metter.....	40
7 Water bath.....	40
8 ตะกอนแคลเซียมเพคเตท.....	41
9 ตะกอนเพคติน.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

เพคติน (pectin) เป็นสารไบโอพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงของกรดกาแลกทูโรนิก ซึ่งในโครงสร้างจะมีหมู่เมทิลเอสเทอร์ (COOCH_3) เป็นองค์ประกอบ คุณสมบัติที่สำคัญของเพคตินคือ ละลายน้ำได้และสามารถเกิดเจลหรือวุ้นได้ในสภาวะที่เหมาะสม ดังนั้นจึงใช้เพคตินเป็นส่วนที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตแยม เยลลี่ และยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านอื่นอีกด้วย จากการศึกษาพบว่า ในเปลือกของผลไม้บางชนิด เช่น เปลือกมะนาว เปลือกฝรั่ง เปลือกส้ม ซึ่งอาจจะได้จากกากเหลือทิ้งจากโรงงานแปรรูป โรงงานผลิตน้ำผลไม้ เป็นเปลือกที่สดใหม่ซึ่งเปลือกผลไม้เหล่านี้มีเพคตินปริมาณสูงพอที่จะใช้เป็นแหล่งวัตถุดิบในการนำมาสกัดเพคตินเพื่อใช้ประโยชน์ได้

กรรมวิธีในการผลิตเพคตินทางการค้า อาจผลิตได้จากส้ม มะนาว แอปเปิ้ล หรือ ผลไม้อื่นๆ โดยสกัดจากส่วนเปลือก แกน หรือ เนื้อเชื้อ ผลไม้ดิบมีปริมาณเพคตินสูงกว่าผลไม้สุก อาจสกัดออกมาในรูปของเพคตินผงหรือสารละลายเพคติน

มะนาวเป็นพืชที่มนุษย์นำมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวาง เช่น การนำไปปรุงรสอาหารให้ชวนรับประทาน นำไปเป็นส่วนผสมของยาแผนโบราณหลายชนิด และในปัจจุบันมะนาวยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมที่สำคัญๆ ได้อีกด้วย และน้ำมะนาวยังสามารถใช้เป็นเครื่องดื่มได้หลายชนิด เช่น น้ำมะนาวปั่น ไวน์มะนาว เป็นต้น ซึ่งน้ำมะนาวยังอุดมไปด้วย วิตามินซี และธาตุอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายอีกหลายชนิด ทุกๆ ส่วนของมะนาวไม่ว่า ใบ ผลลำต้น หรือเมล็ดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในแง่สมุนไพรรักษาโรคต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง และจากการวิเคราะห์ปริมาณเพคติน (% w/w) ในผักและผลไม้ พบว่าปริมาณเพคตินในมะนาวมีถึงร้อยละ 2.70194 โดยน้ำหนักแห้ง (รินดา แซ่ตัน, 2544 : 18)

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินระหว่างกากมะนาวกับน้ำมะนาว
2. เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารละลาย HCl และ อุณหภูมิ ที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน
3. เพื่อศึกษาอัตราส่วนของกากมะนาวต่อสารละลาย และ ระยะเวลาในการสกัดเพคติน
4. เพื่อทดลองผลิตเพคตินจากกากมะนาว

1.3 ขอบเขตของปัญหา

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกากมะนาวนั้น ดำเนินการทดลองแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือขั้นตอนแรกทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินในผลมะนาวกับกากมะนาว ขั้นที่สอง ทำการศึกษาค่าตัวแปร โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ความเข้มข้นของกรด อุณหภูมิ อัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัด ขั้นที่สาม ทดลองผลิตเพคตินโดยนำสารละลายเพคตินที่สกัดได้จากสภาวะที่เหมาะสมมาตกตะกอนด้วย 60% เอทานอล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบปริมาณเพคตินในผลมะนาวกับกากมะนาว
2. สามารถทราบความเข้มข้นสารละลาย HCl และ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน
3. สามารถทราบอัตราส่วนของกากมะนาวต่อสารละลาย และ ระยะเวลาในการสกัดเพคติน

บทที่ 2

การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะนาว

มะนาวเป็นไม้ผลยืนต้น จัดอยู่ในจำพวกส้มชนิดหนึ่ง เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของคนไทยมาช้านาน นอกจากใช้ปรุงแต่งรสชาติอาหารแล้ว ยังทำเป็นเครื่องดื่ม เป็นส่วนผสมของตำยาสมุนไพรหลายชนิด และยังใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมได้ด้วย มะนาวจึงเป็นพืชที่เข้ามามีบทบาททางการค้ามากขึ้น และทำรายได้ให้ผู้ปลูกได้ดีพอสมควร

มะนาวเป็นพืชที่ปลูกง่าย ขึ้นได้ดีในดินแทบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นดินเหนียว ดินร่วนทราย หรือดินลูกรัง มะนาวก็ขึ้นและเติบโตได้ดี แต่ถ้าเป็นที่ลุ่มน้ำขังและก็ไม่เหมาะที่จะนำมาปลูกมะนาว ถ้าเป็นดินเหนียวควรขร่งให้มีการระบายน้ำดีขึ้น มะนาวชอบสภาพความเป็นกรด – ด่าง (pH) ประมาณ 5.6 – 6 ถ้า pH สูงหรือต่ำกว่านี้เล็กน้อยก็ปลูกมะนาวได้เช่นกัน มะนาวสามารถติดดอกออกผลได้ตลอดทั้งปี แต่จะให้ผลดกเฉพาะในฤดูฝน พอถึงช่วงฤดูแล้งจะมีผลผลิตออกสู่ตลาดน้อย

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลำต้น มีลักษณะโค้งงอไม่ค่อยแข็งแรง เปลือกลำต้นมีสีเทาปนน้ำตาล กิ่งอ่อนมีสีเขียวอ่อน เมื่อแก่มีสีเข้มขึ้น บนลำต้นและกิ่งก้านจะมีหนามที่แข็ง แหลม ส่วนใหญ่เกิดที่ซอกใบมีสีเขียวเข้มและสีเขียวอมเหลือง

ใบ เป็นใบเดี่ยว มีสีเขียวอ่อน รูปร่างยาวรีหรือรูปไข่ ปลายใบมีลักษณะแหลม ขอบใบหยัก แผ่นใบกว้างประมาณ 3-6 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2-6 เซนติเมตร เมื่อทำการขยี้ใบจะมีกลิ่นแรง ก้านใบสั้น มีปีกใบแคบหรือไม่มีปีกใบก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์

ผล มีรูปกลมหรือรูปทรงยาวรีหรือรูปไข่ ที่ก้นผลมีลักษณะเป็นจุกเล็กๆ ผลมีขนาดความกว้าง ยาวประมาณ 3-12 เซนติเมตร ผิวเปลือกมีลักษณะขรุขระและมีต่อมน้ำมันที่ผิวเปลือก เมื่อผลแก่ผิวจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหรือสีทอง (ภูวนาท นนารีย์, 2537 : 10-11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ชนิดพันธุ์

ภูวนาท นนาวรีย์ (2537 : 10-11) จัดแบ่งมะนาวออกเป็น 4 กลุ่มดังนี้ คือ

- กลุ่มมะนาวเม็กซิกัน ผลมีขนาดเล็ก ผิวเปลือกเรียบเป็นมัน ที่ก้นผลมีจุดเล็กๆ ลำต้นมีหนามมาก เนื้อผลเปรี้ยวจัด สำหรับมะนาวไทยจัดอยู่ในกลุ่มนี้
- กลุ่มมะนาวตาฮิติ ผลมีขนาดใหญ่กว่ากลุ่มแรก มีลักษณะลำต้นคล้ายๆ กัน แต่มีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า โตเร็วและลำต้นใหญ่กว่า มีหนามน้อยหรือเมื่อปลูกไปนานๆ อาจไม่มีหนามเลย ในประเทศไทยมีอยู่หลายพันธุ์ เช่น มะนาวไข่ มะนาวไม่มีเมล็ด หรือที่เรียกว่า มะนาวตาฮิติ
- มะนาวหวาน มีขนาดผลเท่าๆ กับมะนาวตาฮิติ ลักษณะทั่วไปก็เหมือนกับมะนาวอื่นๆ แต่เนื้อผลหวานซัดและมีกลิ่นฉุน ไม่ค่อยนิยมปลูกกันมากนัก
- กลุ่มมะนาวแมนดาริน มีลักษณะคล้ายกับส้มเขียวหวาน แต่รสเปรี้ยวคล้ายกับมะนาว ไม่นิยมปลูกกันมากนัก เนื่องจากเป็นโรคที่เกิดจากเชื้อไวรัสบางชนิดได้ง่าย

2.1.3 โครงสร้างของมะนาว

มะนาวมีโครงสร้างเช่นเดียวกับผักผลไม้โดยทั่วไป ซึ่งสามารถแบ่งระบบเนื้อเยื่อออกเป็น 4 ชนิด คือ dermal, ground, vascular และ support โครงสร้างของระบบเหล่านี้เกี่ยวข้องกับหน้าที่ทางสรีรวิทยาและลักษณะเฉพาะในระหว่างการเติบโต และระยะความแก่ของผักผลไม้

1 เซลล์ชั้นนอก (dermal tissues) เป็นกลุ่มเนื้อเยื่อที่เรียงตัวอยู่ชั้นนอกทำหน้าที่ป้องกันเซลล์ที่อยู่ภายใน

1.1 เซลล์อีพิเดอร์มิส (epidermis) เป็นเซลล์ที่มีความหนาเพียงชั้นเดียวเหล่านี้เป็นเซลล์ที่ยังมีชีวิตและมีเมตาบอลิซึมอยู่และอาจมีคลอโรพลาสต์และเม็ดสีอยู่ภายในแวคคิวโอล

1.2 ชั้นของคิวติคิวลาร์ สารประกอบเชิงซ้อนพวกไขมันที่เรียกว่าคิวติน มักพบเป็น ตาข่ายระหว่างภายในผนังเซลล์ด้านนอกและบนผิวด้านนอกของเซลล์อีพิเดอร์มิส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 สโตมาตา (stomata) เกิดร่วมกับอพิเคอร์มิสซึ่งทำหน้าที่เป็นวาล์วเล็ก ๆ สำหรับการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างเนื้อเยื่อกับสิ่งแวดล้อมภายนอก

1.4 เลนติเคิล (lenticles) มักพบในลำต้น รากและผลไม้มักไม่พบในผักใบ เลนติเคิลเป็นส่วนที่เปิดอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างเซลล์ที่อยู่ถัดจากอพิเคอร์มิสและสิ่งแวดล้อมภายนอก

1.5 ไตรโคม (trichomes) เป็นส่วนของอพิเคอร์มิสที่เพิ่มขึ้น

2 ground tissues เซลล์พาราไคมา (parenchyma) มีโปรโตพลาสที่เป็นองค์ประกอบผนังเซลล์ของพาราไคมา โดยทั่วไปจะบางและภายในแวคิวโอลของเซลล์จะใช้เป็นที่เก็บสารต่างๆ เช่น กรด น้ำตาล แอนโทไซยานิน แทนนิน อีออนบางชนิด รวมทั้งสารต่างๆ ที่ละลายน้ำ ไขมัน และโปรตีน จะอยู่ในของเหลวในเซลล์ (cytoplasm) ซึ่งอยู่ระหว่างผนังเซลล์และแวคิวโอล โพลีแซคคาไรด์อื่นๆ นอกจากสตาร์ช (starch) คือ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน จะรวมอยู่ในผนังเซลล์ ระหว่างเซลล์แต่ละเซลล์จะเชื่อมติดกันด้วยชั้นบางๆ เรียกว่า Middle lamella ในส่วนนี้ไม่มีเซลลูโลสแต่จะประกอบด้วยสารเพคตินที่มีโครงสร้างคล้ายเจล ส่วนของ Middle lamella นี้ จะมีผลต่อความแข็งแรงของการยึดเกาะระหว่างเซลล์จึงมีผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของผัก ผลไม้ สารเพคตินนี้สามารถเกิดพันธะกับอีออนของโลหะที่มีประจุบวกสอง โดยเฉพาะแคลเซียมและแมกนีเซียม ทำให้การละลายน้ำลดลง

3 เนื้อเยื่อค้ำจุน (support tissues)

3.1 เซลล์คอลเลนไคมา (collenchyma) เซลล์นี้จะมีผนังเซลล์ที่หนาและเป็นส่วนที่ทำให้โครงสร้างสำหรับพืชมีผนังเซลล์ที่หนาไม่สม่ำเสมอ ซึ่งมีเพคตินและน้ำอยู่จำนวนมาก ผนังเซลล์มีลักษณะที่ยืดหยุ่น ดังนั้นจึงทำหน้าที่ค้ำจุนส่วนของพืชที่ยังอ่อนและกำลังเติบโต การจัดเรียงตัวตามแนวยาวของสารเซลลูโลสมีผลต่อความยืดหยุ่นและความแข็งแรงของเซลล์ด้วย

3.2 สเคอเรนไคมา (sclerenchyma) เซลล์ชนิดนี้มีผนังหนาและเท่ากันตลอด ผนังเซลล์ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

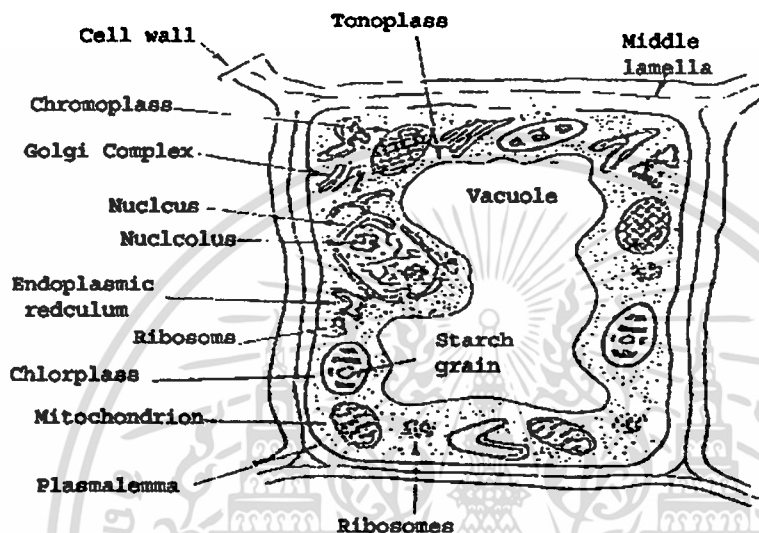
4 เนื้อเยื่อลำเลียง (vascular system)

เนื้อเยื่อลำเลียงประกอบด้วยเนื้อเยื่อหลัก 2 ชนิด คือ ไซเลม และโฟลเอ็ม โดยไซเลมทำหน้าที่ลำเลียงน้ำและสารอาหาร เกือบแรกที่ละลายน้ำได้ ขณะที่โฟลเอ็มลำเลียงอาหารที่สังเคราะห์ในใบ เนื้อเยื่อลำเลียงทำหน้าที่เป็นตัวให้ความค้ำจุน เนื่องจากมีผนังเซลล์หนา โดยเฉพาะไซเลม (สายชล เกตุษา, 2528 : 353-354)

2.1.4 องค์ประกอบของเซลล์

เซลล์ของผักผลไม้เป็นหน่วยโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตซึ่งรวมกันเป็นเนื้อเยื่อต่างๆ

ดังภาพที่ 1 แสดงองค์ประกอบหลักของเซลล์พืช



ภาพที่ 1 แผนภาพแสดงเซลล์พืช

ที่มา Will และ คณะ, 1989 : 285

1 ผนังของเซลล์ (cell wall and cell membrane)

1.1 ผนังเซลล์ (cell wall) เป็นส่วนที่ไม่มีชีวิตสร้างขึ้นมาเพื่อห่อหุ้มส่วนต่างๆ ของเซลล์เป็นสิ่งที่แข็งแรงที่สุดของเซลล์ ผนังเซลล์พืชแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

(1) middle lamella เป็นส่วนที่ประกอบด้วยสารแคลเซียมและแมกนีเซียมเพคเตต มีความยืดหยุ่น ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างผนังเซลล์ปฐมภูมิของเซลล์ข้างเคียงให้ติดต่อกันได้

(2) ผนัง (wall) เป็นส่วนที่อยู่ชั้นนอกของเซลล์ แบ่งตามโครงสร้างและการเจริญออกเป็น 2 ชั้น คือ

- ผนังปฐมภูมิ (primary wall) ประกอบด้วยเส้นใยของเซลลูโลส ซึ่งเรียกว่า microfibril เรียงตัวพันกันไปมาไม่เป็นระเบียบ ผนังชนิดนี้จะเกิดขึ้นแรกสุดในระยะเริ่มเจริญเติบโต นอกจากเซลลูโลสแล้วยังประกอบด้วยสารเฮมิเซลลูโลส และเพคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผนังทุติยภูมิ (secondary wall) ประกอบด้วยเซลลูโลส แต่ microfibril เรียงตัวเป็นระเบียบในแนวขนานกัน นอกจากนี้ยังประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และคิวติน ผนังชนิดนี้มักเกิดขึ้นในเซลล์บางชนิดที่ต้องการความแข็งแรง และเกิดที่ด้านในของผนังเซลล์ปฐมภูมิ

1.2 เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane)

เป็นผนังหรือเนื้อเยื่อบางๆ ที่ห่อหุ้มโปรโตพลาสซึมไว้ เป็นเนื้อเยื่อที่มีชีวิตความยืดหยุ่น ประกอบด้วยโมเลกุลของสารพวกโปรตีน และไขมัน เรียกเนื้อเยื่อนี้ว่า differentially permeable membrane (สายชล เกตุษา, 2528 : 354)

2 โปรโตพลาสซึม (Protoplasm)

เป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งอยู่ในเซลล์ มีลักษณะเป็นของเหลวที่มีความข้นและเหนียว เป็นเมือกใส โปร่งแสง ไม่มีสี และยืดหยุ่นได้ โปรโตพลาสซึมแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

2.1 ไซโทพลาสซึม (cytoplasm)

สายชล เกตุษา (2528 : 354) ได้ให้ความหมายคำว่า ไซโทพลาสซึม คือส่วนของโปรโตพลาสซึม ซึ่งอยู่รอบนอกของนิวเคลียส ภายในไซโทพลาสซึมประกอบด้วย ออแกเนล (organelle) และสารประกอบต่างๆ (inclusion)

(1) ออแกเนล เป็นสารประกอบหรือโครงสร้างที่มีชีวิตที่อยู่ภายในไซโทพลาสซึมและมีเยื่อบางๆ (membrane) หุ้มอยู่

(2) สารประกอบต่างๆ เป็นสิ่งไม่มีชีวิตทั้งหลายที่อยู่ในไซโทพลาสซึมประกอบด้วยผลิตภัณฑ์จากเมตาบอลิซึม ได้แก่ อาหารที่สะสมไว้ ของเสียต่างๆ

2.1.5 องค์ประกอบทางเคมี

ผักผลไม้ชนิดเดียวกันสามารถมีองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกัน เนื่องจากผักผลไม้มีการเกิดเมตาบอลิซึมอยู่ตลอดเวลา ทำให้องค์ประกอบเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของฝรั่ง แสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของมะนาว

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ
โปรตีน	0.82 เปอร์เซ็นต์
ไขมัน	0.89 เปอร์เซ็นต์
คาร์โบไฮเดรต	7.84 เปอร์เซ็นต์
แคลเซียม	0.033 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
ฟอสฟอรัส	0.024 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
โปแตสเซียม	0.193 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
เหล็ก	0.0006 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม
วิตามินซี	160 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

ที่มา : วราภรณ์ ชัยโอภาส, 2538 : 45

2.2 สารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์

พืชชั้นสูงมีโพลีแซ็กคาไรด์ (polysaccharide) เป็นองค์ประกอบอยู่หลายชนิด ได้แก่ แป้ง (starch) เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เพคติกสับสแตนซ์ (pectic substances) และ โพลีแซ็กคาไรด์อื่นๆ นอกจากนี้ยังมีไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ที่มีโครงสร้างประกอบด้วย แมนโนส (mannose) ไซโลส (xylose) ฟูโคส (fucose) และ N-acetylglucosamine ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 โพลีแซคคาไรด์ของผนังเซลล์พืชชั้นสูง

General category	Structural classification
Cellulose	β -D-Glucan (4-linked)
Pectic substances	Galacturonans and rhamnogalacturonane Arabinans Galactans and arabinogalactans I
Hemicelluloses	Xylans [including arabinoxylans and (4-O-methyl) glucuronoxylans] Galactomannans and glucomannans β -D- Glucans (3-and4- linked) β -D-Glucans-cellose (3-linked) Xyloglucans (4-linked β -D- Glucans with Attached side chains)
Other polysaccharides	Arabinogalactans II Glucuronomannans

ที่มา : Whitaker J, 1984 : 12

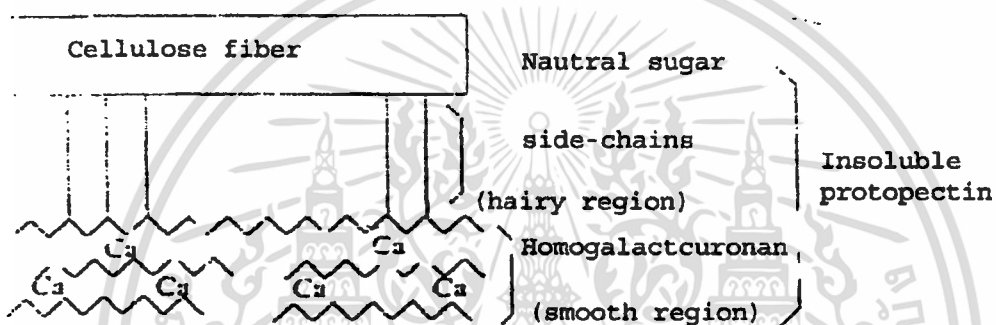
2.2.1 เพคติกสับแสดนซ์ (pectic substances)

เพคติกสับแสดนซ์แบ่งออกได้หลายประเภท ดังนี้

1. กาแลกทูโรแนน (galacturonane) ซึ่งเป็น โพลีเมอร์ของกรดกาแลกทูโรนิก
2. แรมโนกาแลกทูโรแนน (rhamnogalacturonane) เป็น โพลีเมอร์ผสมระหว่าง แรมโนส (rhamnose) และกรดกาแลกทูโรนิก (galacturonic acid)
3. อะราบินแนน (arabinans) เป็น โพลีเมอร์ของอะราบินโนส (arabinose)
4. กาแลกแทน (galactans) เป็น โพลีเมอร์ของกาแลกโตส (galactose)
5. อะราบินโนกาแลกแทน (arabinogalactans) เป็น โพลีเมอร์ผสมของ อะราบินโนสและกาแลกโตส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เพคติน (pectin) เป็นสารประกอบโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ โครงสร้างประกอบด้วย กรดกาแลคทูโรนิก (galacturonic acid) และหมู่คาร์บอกซิล โดยจะเกิดเป็นเอสเทอร์กับเมทิลแอลกอฮอล์ในปริมาณต่างๆ กัน กรดกาแลคทูโรนิกที่ไม่ได้ถูกเอสเทอร์ไฟด์ ด้วยหมู่เมทิล จะเชื่อมต่อกับกรดกาแลคทูโรนิกที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ ด้วยหมู่เมทิลด้วยพันธะ -1,4 ไกลโคซิดิก



ภาพที่ 2 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยหมู่เมทิลแอลกอฮอล์ไปบางส่วน

ที่มา : Doesburg J, 1960 : 25

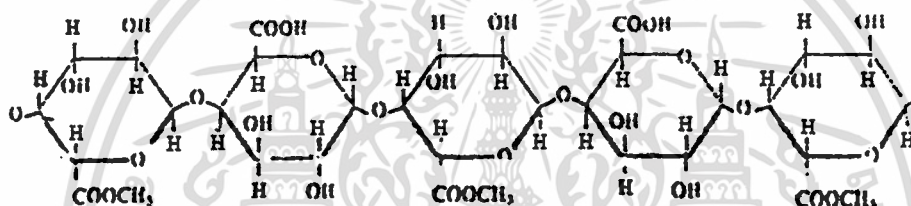
โดยทั่วไปเนื้อเยื่อพืชจะประกอบด้วยกลุ่มสารเพคตินต่อไปนี้

1. โปรโตเพคติน (protopectin) เป็นสารตั้งต้นของเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ มักพบรวมอยู่กับเซลลูโลส ส่วนใหญ่จะอยู่ในผลไม้ดิบ จะเปลี่ยนไปเป็นเพคตินโดยเอนไซม์โปรโตเพคตินเนส ซึ่งย่อยสลายโปรโตเพคตินจากสารที่ไม่ละลายน้ำ กลายเป็นเพคตินซึ่งสารที่ละลายน้ำได้

2. กรดเพคตินิก (pectinic acid) เป็นเพคตินที่ละลายน้ำได้ ภายในโมเลกุลประกอบด้วยกรดโพลีกาแลคทูโรนิกที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยกลุ่มเมทิลไปบางส่วนเกิดเป็นเมทิลเอสเทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพคติน (pectin) หรืออาจเรียกว่ากรดเพคตินิก (pectinic acid) เนื่องจากเพคตินก็คือ กรดเพคตินิกที่ละลายน้ำได้ โดยมี การเปลี่ยนแปลงจำนวนเมทิลเอสเทอร์ โดยมีกลุ่มคาร์บอกซิล (carboxyl group) ประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ ถูกเอสเทอร์ไฟด์ด้วยเมทานอล (MeOH) เมื่อทำให้เป็นกลาง (neutralize) ในโมเลกุลจะมีปริมาณเอสเทอร์ต่างๆ กัน ขึ้นกับแหล่งที่เกิดและวิธีการสกัดเพคตินสามารถเกิดเจลกับน้ำตาล และกรดภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบมากในช่วงที่ผลไม้กำลังจะสุกงอม เกิดเอนไซม์โปรโตเพคตินเอสเปลี่ยนโปรโตเพคตินไปเป็นเพคตินแล้วถ้าต้มผลไม้ในสารละลายกรด เปลี่ยนโปรโตเพคตินไปเป็นเพคตินได้เช่นกัน (ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรรณี เดชกำแหง, 2530 : 78)



ภาพที่ 3 โครงสร้างของโปรโตเพคตินในพืช

ที่มา : Nadamura T, 1995 : 45-46

จากภาพจะเป็นโครงสร้างของโปรโตเพคตินในพืชซึ่งส่วนที่ทำการยึดเกาะระหว่างผนังเซลล์พืช คือโซ่แขนงของน้ำตาลต่างๆ ได้แก่อะราบิโนส แรมโนส หรือเรียกว่า hairy region โปรโตเพคตินจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นในการสกัดเพคตินจะต้องทำการไฮโดรไลต์ส่วนของ hairy region โดยการใส่กรด ความร้อน หรือ เอนไซม์โปรโตเพคตินเอส ให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ (ศศิเกษม ทองยงค์ และ พรรณี เดชกำแหง, 2530 : 78)

ผลไม้แต่ละชนิดจะมีปริมาณเพคตินแตกต่างกันเนื่องจากมีโครงสร้างของเพคตินที่แตกต่างกันดังแสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณเพคตินในผลไม้ชนิดต่างๆ

ผลไม้	เปอร์เซ็นต์เพคติน(น.น./น.น.)
แอปเปิ้ล	0.5-1.6
กากแอปเปิ้ล	1.5-2.5
กล้วย	0.7-1.2
หัวบีท	1.0
แครอท	0.2-0.5
ฝรั่ง	0.77-0.99
มะนาว	2.5-4.0
ลิ้นจี่	0.42
ส้ม	3.5-5.5
มะละกอ	0.66-1.0
เสาวรส	0.5
พีช	0.1-0.5
สับปะรด	0.04-0.13
สตอเบอรี่	0.6-0.7
มะขาม	1.71
มะเขือเทศ	0.2-0.6

ที่มา : ปิยะนุช เอกฉัตร, 2541 : 15

2.2.2 การจัดประเภทของเพคติน

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล (2542 : 163-164) ได้กล่าวถึง สมบัติการเกิดเจลของเพคติน ที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร จัดเป็นพื้นฐานสำคัญในการจำแนกเพคตินเป็นสองกลุ่ม ทั้งนี้ขึ้นกับระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน หรือค่า DE ซึ่งมีนิยามดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน (DE) หมายถึง จำนวนของ gallacturonic acid ที่ถูกเอสเทอร์ไฟด์ต่อ 100 หน่วย ของ gallacturonic acid บนสายโมเลกุลของเพคติน

$$\%DE = \frac{\text{จำนวนหมู่เอสเทอร์บนสายโมเลกุล} \times 100}{\text{จำนวน gallacturonic acid 100หน่วย}}$$

ระดับการเอไมเคชัน (Degree of amidation, DA) หมายถึง จำนวนของกรดกาแลคทูโรนิกที่ถูกดีเอสเทอร์ไฟด์ (de-esterified) ด้วยแอมโมเนียต่อ 100 หน่วย ของกรดกาแลคทูโรนิกบนสายโมเลกุลของเพคติน

$$\%DE = \frac{\text{จำนวนหมู่เอไมรับบนสายโมเลกุล} \times 100}{\text{จำนวน gallacturonic acid 100หน่วย}}$$

การแบ่งเพคตินตามระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. เพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลมาก (High methoxy-pectin) มีค่า DE > 50% ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่มีระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน 75% (DE=75%)

2. เพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลน้อย (Low methoxy-pectin) มีค่า DE < 50% ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของเพคตินที่มีระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน 25% (DE=25%)

สำหรับเพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลน้อย ที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมยังสามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะ กล่าวคือ

Non-amidated-Low methoxyl pectin เพคตินชนิดนี้มีค่า DE < 45% และ DA = 0

Amidated-Low methoxyl pectin : เพคตินชนิดนี้มีค่า DE < 45% และ DA < 25% ซึ่ง amidated pectin เกรดสำหรับใช้ในอาหารต้องมีค่า DA ไม่เกิน 25% ตามกฎหมายอาหารบัญญัติไว้ ซึ่งเพคตินแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จะกล่าวไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของพืดินชนิดต่างๆ

คุณสมบัติ	HM	LM	LMA
ผลที่เกิดจากแรงเฉือน	เจลถูกทำให้แตก ไม่สามารถทำเป็นเนื้อเดียวกันได้	โดยปกติแรงเฉือนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปได้ทุกพีเอช	จะเกิดการเปลี่ยนรูปจากแรงเฉือน เมื่อมีพีเอช 3.5 แต่จะไม่เปลี่ยนรูปถ้าพีเอชต่ำกว่า 3.5
อุณหภูมิในการแข็งตัวของเจล	35-90 องศาเซลเซียส	40-100 องศาเซลเซียส	30-70 องศาเซลเซียส
การเปลี่ยนรูปของเจลเมื่อได้รับความร้อน	ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง	เกิดการละลายเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 150 องศาเซลเซียส	เกิดการละลายที่อุณหภูมิต่ำกว่า 75 องศาเซลเซียส
เนื้อสัมผัสของเจลที่พีเอช 1-3.5	เป็นเจลแข็ง	เป็น preserve-like และสามารถทำได้จะมีลักษณะแข็งเมื่อพีเอชต่ำกว่า 3.4	เป็นเจลคล้าย HM แต่จะคล้ายขามากกว่า
เนื้อสัมผัสของเจลที่พีเอช 3.5 หรือสูงกว่า	ไม่เป็นเจล มีลักษณะเหนียว	เป็น preserve-like และสามารถทำได้จะมีลักษณะแข็งเมื่อพีเอชต่ำกว่า 3.4	เป็น preserve-like และสามารถทำได้จะมีลักษณะแข็งเมื่อพีเอชต่ำกว่า 3.4

ที่มา : Hoefler C.A, 1998 : 22-23

หมายเหตุ HM = พืดินที่มีหมู่เมทอกรอกซิลสูง LM = พืดินที่มีหมู่เมทอกรอกซิลต่ำ

LMA = พืดินที่มีหมู่เมทอกรอกซิลต่ำประเภทมีหมู่เอไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ชนิดของเพคติน

เพคตินมีคุณสมบัติละลายน้ำ และเมื่อนำมาตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์หรือเกลือของโลหะแล้วนำไปละลายใหม่จะไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ เพคตินสามารถเกิดเป็นเจลได้ในสภาพที่มีปริมาณน้ำตาลและกรดที่เหมาะสม ปริมาณเพคตินที่ใช้ขึ้นกับชนิดและคุณภาพของเพคตินด้วยในทางการค้าจะแบ่งเพคตินตามคุณสมบัติออกเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

ความสามารถในการเกิดเจล (Gelling Power) แบ่งเพคตินตามความสามารถในการเกิดเจลเป็นเกรดต่างๆ โดยกำหนดในรูปสัดส่วนปริมาณน้ำตาลต่อปริมาณเพคติน และเปรียบเทียบผลของเฮลลี่ที่ทำมาจากเพคตินที่สกัดได้กับเพคตินมาตรฐาน โดยสังเกตลักษณะความหนืด ความโปร่งแสงและความแข็งของเจล (Gel Strength) ซึ่งวัดโดยใช้เครื่องพีเนโตมิเตอร์ (Penetrometer) ถ้าลักษณะของเฮลลี่ทั้งสองนี้มีลักษณะใกล้เคียงกันมากที่สุด ก็สามารถเกิดเจลได้ดีโดยใช้เพคตินน้อย ความสามารถในการเกิดเจลขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและระดับเอสเทอร์ โดยเฉพาะน้ำหนักโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อความสามารถในการเกิดเจล ถ้าเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เส้นใยร่างแหที่เกิดขึ้นมักไม่ต่อเนื่องทำให้ได้เจลที่อ่อน เพคตินที่เกิดเจลได้ดีควรมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูง

ระดับเอสเทอร์ (Degree of esterification) ปกติกลุ่มคาร์บอกซิลของเพคตินบางส่วนจะเกิดเป็นเอสเทอร์กับเมทิลแอลกอฮอล์ การวัดการเกิดเอสเทอร์ของเพคตินจะวัดในรูปปริมาณร้อยละของกลุ่มคาร์บอกซิลที่ถูกเอสเทอริไฟด์ เทียบกับปริมาณกาแลคทูโรนิกทั้งหมด ถ้ากลุ่มคาร์บอกซิลทั้งหมดถูกเอสเทอริไฟด์จะถือว่าเพคตินนั้นมีระดับเอสเทอร์ 100 % ซึ่งจะมีปริมาณเมทอกซิล (Methoxyl Content) 16.32% ของน้ำหนักโมเลกุลของเพคติน เพคตินชนิดนี้จะไม่พบในธรรมชาติจะพบเพคตินที่มีกลุ่มเมทอกซิล 9.5-11.0% เท่านั้น แต่อาจเตรียมเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่างๆ ตามต้องการโดยใช้กรด ต่าง หรือ เอนไซม์เอสเทอเรสละลายเอสเทอร์บอนด์ระดับเอสเทอร์ในโมเลกุลของเพคตินมีผลต่ออัตราเร็วและอุณหภูมิในการเซ็ตตัวของเจล สามารถแบ่งเพคตินตามระดับเอสเทอร์ได้เป็น 2 ชนิด

(1) เพคตินที่มีเมทอกซิลสูง เป็นเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์สูงกว่า 50% ขึ้นไป จะเกิดเจลได้ดีที่ระดับเอสเทอร์ 60-75% เมื่อมีปริมาณน้ำตาล 55% หรือสูงกว่า (55-85%) และที่พีเอช 3.5 หรือต่ำกว่า (1-3.5) ไม่จำเป็นต้องใช้แคลเซียมช่วยในการเกิดเจล

(2) เพคตินที่มีเมทรอกซิลต่ำ เป็นเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์น้อยกว่า 50% จะเกิดเจลได้ดีเมื่ออ้อนอื่นๆ แม้ว่าไม่มีน้ำตาลก็ได้ และที่พีเอช 1-7 หรือสูงกว่าปริมาณเพคตินที่ต้องการ ในการเกิดเจลลดลงตามระดับเอสเทอร์

3. อัตราเร็วในการเซ็ทตัว (Rate of set) หลังการเติมส่วนผสมต่างๆ ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่เข้าด้วยกัน เจลจะเกิดการเซ็ทตัวช้าเร็วต่างกัน ปกติเพคตินที่มีหมู่เมทรอกซิลสูงหรือต่ำจะเซ็ทตัวได้เร็ว ส่วนพวกที่มีหมู่เมทรอกซิลปานกลางจะเซ็ทตัวได้ช้า ถ้าปริมาณกลุ่มเมทรอกซิลเท่ากัน เพคตินที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าจะเซ็ทตัวได้เร็วกว่าอาจแบ่งเพคตินตามอัตราเร็วในการเซ็ทตัว ได้ดังนี้

ก. เพคตินที่เซ็ทตัวเร็ว (Rapid-set Pectin) เป็นเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์ในโมเลกุล 70% ขึ้นไป เจลจะเริ่มเซ็ทตัวที่อุณหภูมิ 77-88 องศาเซลเซียส พีเอชที่เหมาะสมในการเกิดเจลอยู่ระหว่าง 3.0-3.4 ความแข็งของเจลขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลของเพคตินมากกว่าเอสเทอร์ในโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุลยิ่งสูงจะยิ่งให้เจลที่แข็ง

ข. เพคตินที่เซ็ทตัวช้า (Slow-set Pectin) เป็นเพคตินที่มีระดับเอสเทอร์ 50-70% เจลจะเริ่มเซ็ทตัวที่อุณหภูมิระหว่าง 54-65 องศาเซลเซียส พีเอชที่เหมาะสมในการเกิดเจลอยู่ระหว่าง 2.8-3.2 ตารางที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับเอสเทอร์และอัตราเร็วในการเซ็ทตัวของเพคตินจากกากแอปเปิ้ล (รัชนี คัมพะพานิชกุล , 2542 : 164-165)

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเอสเทอร์และอัตราเร็วในการเซ็ทตัวของเพคตินจากกากแอปเปิ้ล

ระดับการเอสเทอร์พีเคชั่น	ชนิดของเพคติน
80-82%	เซ็ทตัวเร็วมากที่สุด
74-76% or 45-55%(ใช้แคลเซียม)	เซ็ทตัวเร็ว
68-72%	เซ็ทตัวเร็วปานกลาง
60-65%	เซ็ทตัวช้า

ที่มา : Doseburg J, 1960 : 18-19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 กลไกการเกิดเจลของเพคติน

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล (2542 : 164-165) ได้แบ่งกลไกการเกิดเจลของเพคติน ออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. เจลของเพคติน (Pectin Gel) เป็นเจลที่เกิดจากเพคตินที่มีกลุ่มเมทรอกซิลสูง เพคตินมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophillic) เมื่อละลายน้ำจะเกิดพันธะระหว่างเพคตินกับน้ำ ได้สารชั้นหนืด เพคตินที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลส่วนใหญ่เกิดเป็นเอสเทอร์ ($-COOCH_3$) และส่วนน้อยจะเกิดเป็นคาร์บอกซิลอิสระ ($-COOH$) จะมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน และจะแตกตัวมากขึ้นกับพีเอช ที่พีเอชสูงจะแตกตัวได้มากขึ้นให้ประจุที่ผลักกันเอง ทำให้โมเลกุลเรียงกันเป็นเส้นตรงของเหลวจะหนืดแต่ไม่เกิดเจลขึ้น เจลจะเกิดได้เมื่อเพคตินมาเชื่อมเข้าด้วยกันตรงบริเวณที่เรียกว่า Junction Zone เกิดเป็น โครงสร้างร่างแหสามมิติขึ้น

กรณีนี้จะเกิดได้เมื่อมีการเติมน้ำตาลลงไปเพื่อดึงน้ำออก และเติมกรดเพื่อลดพีเอชให้อยู่ในช่วง 2.9-3.4 ทำให้กลุ่มคาร์บอกซิลลดการแตกตัว โมเลกุลของเพคตินจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งที่มีความยืดหยุ่น กลุ่มโพลาร์ (Polar Groups) ของโมเลกุลของเพคตินที่อยู่ใกล้กันจะเชื่อมต่อเข้าด้วยกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (H-bonds) เกิดเป็นร่างแหสามมิติที่กักของเหลวไว้ใน ความแข็งของเจลขึ้นกับความแข็งแรงและความต่อเนื่องของร่างแหของเพคติน

2. เจลของแคลเซียมเพคเตท (Calcium Pectate Gel) เจลชนิดนี้เกิดกับเพคตินที่มีเมทรอกซิลต่ำจะเกิดที่พีเอชสูงกว่าพวกแรก คือในช่วง 3.4-6.0 โดยร่างแหสามมิติเกิดขึ้นจากการที่ไอออนของแคลเซียม (Ca^{2+}) หรือ แมกนีเซียม (Mg^{2+}) เป็นตัวเชื่อมกลุ่มคาร์บอกซิลที่แตกตัวของโมเลกุลเพคตินที่อยู่ใกล้กัน เกิดการฟอร์มตัวของ Junction Zones ด้วยไอออนของแคลเซียมเพื่อเชื่อมสายโมเลกุลและมีการจัดรูปร่างใหม่ที่เรียกว่า "Egg-Box Model" เจลชนิดนี้สามารถเกิดได้แม้ไม่มีน้ำตาลเลยก็ตาม โดยทั่วไปเจลชนิดนี้จะมีคามแข็งน้อยกว่าเจลของเพคติน

2.2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดเจลของเพคติน

รัชนี ตัณฑะพานิชกุล (2542 : 166) กล่าวถึงปัจจัยสำคัญในการเกิดเจลของเพคติน ในผลิตภัณฑ์แยม เยลลี่ คือ

1 ปริมาณและคุณภาพของเพคติน เพคตินสามารถเกิดเจลได้ในที่มีน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสม ปกติในการทำแยมจะใช้เพคตินเพียง 1% ก็เพียงพอในการเกิดเจลแต่ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดและคุณภาพของเพคตินด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปริมาณน้ำตาล การเพิ่มความเข้มข้นน้ำตาลในแยมและเยลลี่จะลดการละลายของเพคตินทำให้เพคตินเกิดเป็นร่างแห เจลที่ได้จะมีความแข็งแรงขึ้น ปกติต้องการปริมาณน้ำตาลราว 60-70% ระดับที่เหมาะสม คือ 67% ที่พีเอชที่เหมาะสมค่าหนึ่ง ถ้าปริมาณน้ำตาลลดลงจะต้องใช้ปริมาณเพคตินสูงขึ้นเพื่อให้เจลมีความแข็งแรงเท่ากัน การใช้ปริมาณน้ำตาลสูง ๆ จะทำให้แยมเกิดการแข็งตัวได้เร็วขึ้น

3. ผลของกรดหรือพีเอช กรดที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ นอกจากจะทำให้กลิ่นรสดีขึ้นและป้องกันการเสื่อมเสียแล้ว กรดยังมีผลในการลดพีเอชซึ่งมีผลต่อการแตกตัวของเพคติน อัตราเร็วในการเซ็ตของเจล อุณหภูมิในการเซ็ตตัวและการไหลเยิ้มของน้ำเชื่อม พีเอชที่เหมาะสมในการเกิดเจลราว 3.0 ที่พีเอชต่ำกว่านี้ความแข็งแรงของเจลรวมทั้งอัตราเร็วและอุณหภูมิในการเกิดเจลจะเพิ่มขึ้นด้วย

2.2.6 การสกัด

การสกัดเป็นกระบวนการที่ใช้แยกสารที่ต้องการออกจากของผสมหรือสารละลายโดยใช้ตัวทำละลายและวิธีการที่เหมาะสม การสกัดเพคตินจากมะนาว จะใช้เทคนิคเป็นการสกัดของแข็งด้วยของเหลว

ศิริลักษณ์ สนิทวาลัย (2525 : 167) ได้กล่าวถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการสกัดไว้ว่า

1. ขนาดของอนุภาค (Particle Size) ถ้าอนุภาคที่นำมาสกัดมีขนาดเล็กจะทำให้พื้นที่ในการถ่ายเทมวลมากขึ้น และทำให้ระยะทางที่ตัวถูกละลาย (Solute) ที่อยู่ภายในของแข็งแพร่กระจายออกสู่ตัวทำละลายสั้นลง จึงแพร่กระจายได้เร็วขึ้น

2. ตัวทำละลาย (Solvent) ตัวทำละลายที่ดีควรมีสภาพขั้วที่เหมาะสมกับตัวถูกละลายและมีความหนืดต่ำ เพื่อให้มีการไหลเวียนที่ดี โดยทั่วๆ ไปจะใช้ตัวทำละลายที่บริสุทธิ์ในการสกัดตอนเริ่มต้น ตัวทำละลายบริสุทธิ์ จะไม่มีตัวถูกละลายอยู่เลย เมื่อเวลาในการสกัดมากขึ้น ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายจะเพิ่มขึ้นด้วยจนกระทั่งผลต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายและในอนุภาคของมะนาวที่นำมาสกัดน้อยลงตัวถูกละลายจะถูกสกัดได้น้อยลงปัจจัยในการเลือกตัวทำละลายเพื่อสกัดเพคติน

- ต้องสามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้
- ต้องไม่เป็นอันตรายหรือไม่เป็นพิษ เช่น ไม่ติดไฟ ไม่ระเบิดง่าย

- ราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สะดวกในการกำจัดหรือแยก ออกจากผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้ และนำกลับมาใช้ใหม่ได้

3. อุณหภูมิของตัวทำละลาย (Temperature of Solvent) เมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้น จะทำให้ปริมาณการสกัดสูงขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายจะเพิ่มมากขึ้นแต่ในการสกัดเพคตินจะไม่ใช้อุณหภูมิสูงมากนัก เพราะจะทำให้เพคตินสลายตัวได้บางส่วน จึงควรหลีกเลี่ยงการใช้อุณหภูมิสูง ๆ

4. เวลาในการสกัด เวลาที่มีผลในการสกัด ถ้าเวลาในการสกัดน้อย สารที่ต้องการสกัดก็ถูกสกัดออกมาน้อย ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้เวลาในการสกัดให้เหมาะสมเพื่อให้สกัดสารที่ต้องการให้ได้มากที่สุด

5. การกวนของไหล (Agitation of the fluid) การกวนตัวทำละลายเป็นสิ่งสำคัญมากเพราะจะช่วยเพิ่มอัตราการสกัด เนื่องจากทำให้เกิดการแพร่ในสภาวะปั่นป่วนทำให้อัตราแพร่สูงขึ้นจึงทำให้การถ่ายเทมวลสารจากผิวสัมผัส จากอนุภาคไปยังของเหลวภายนอกได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการกวนจะทำให้อนุภาคลอยตัวผสมกันได้ดี และเกิดการลอยตัวขึ้น จะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างของแข็งและของเหลวมีมวลมากขึ้น ประสิทธิภาพการสกัดก็เพิ่มขึ้น

2.2.7 วิธีในการสกัด

เพคตินสกัดได้จากส้ม มะนาว แอปเปิ้ล หรือ ผลไม้อื่นๆ โดยสกัดจากส่วนเปลือกแกนหรือเนื้อเยื่อ โดยที่ผลไม้ดิบมีปริมาณเพคตินสูงกว่าผลไม้สุก เพคตินที่ได้จะอยู่ในรูปของเพคตินผงหรือสารละลายเพคติน วิธีการสกัดเพคตินมีขั้นตอนดังนี้ (ศิริลักษณ์ สันธวาลย์, 2525 : 168)

1. การเตรียมวัตถุดิบ ประกอบด้วย การล้างเอาสิ่งสกปรกหรือยาฆ่าแมลงออก ถลันเอาน้ำมันหอมระเหยออก

2. การทำให้เพคตินอยู่ในรูปที่ละลายน้ำ ส่วนใหญ่ของเพคตินในผลไม้ อยู่ในรูปของโปรโตเพคตินที่ไม่ละลายน้ำ จึงอาจใช้กรดอินทรีย์ หรือกรดอนินทรีย์ ทำให้เพคตินอยู่ในรูปของเพคตินที่ละลายน้ำได้ เช่น ใช้กรดกำมะถัน กรดเกลือ กรดซิตริก กรดแลคติก กรดทาร์ทาริก เป็นต้น โดยใช้สารละลายกรดต้มสกัดที่อุณหภูมิสูง หลายๆ ครั้ง

นอกจากนี้ยังมีการใช้สารที่มีคุณสมบัติในการจับอออน โลหะพวกแคลเซียมหรือแมกนีเซียมร่วมในขั้นตอนการสกัดด้วย เช่น แอมโมเนียมออกซาลेट (Ammonium Oxalate)

โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate) โซเดียมฟอสเฟต (Sodium Phosphate) โซเดียมอีดีทีเอ

(Sodium - EDTA) โซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต (Sodium hexa-meta-phosphate) โซเดียมเตตระฟอสเฟต (Sodium tetra-phosphate) พบว่าจะช่วยให้การสกัดเพคตินได้มากขึ้น และสามารถลดเวลาที่ใช้ในการสกัด โดยสารเหล่านี้ป้องกันมิให้อิออนของแคลเซียมและแมกนีเซียมที่อยู่ในน้ำที่ใช้สกัด รวมตัวกับสารเพคตินในมะนาว เกิดเป็นเกลือเพคเตท ที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งทำให้ไม่สามารถสกัดออกมาได้

3. การทำให้สารละลายเพคตินใสและการฟอกสี โดยผ่านการกรองแล้วการฟอกสี ด้วยผงถ่านประมาณ 1%

4. การตกตะกอนเพคติน สารละลายเพคตินจะถูกนำมาเคี่ยวให้เข้มข้นราว 30-40 บริกซ์ แล้วทำการตกตะกอนอาจใช้ตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ อะซิโตนหรือตกตะกอนด้วยเกลือของโลหะ เช่น อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ วิธีหลังนี้ทำได้โดยเติมแอมโมเนียลงในสารละลายเพคตินจนมีค่าพีเอชประมาณ 4.0 แล้วเติมอลูมิเนียมซัลเฟตจะได้อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เกิดขึ้น อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์มีประจุบวก จะรวมตัวกับประจุลบของเพคติน แล้วตกตะกอนเพคตินลงมาตั้งสมการ



5. การทำให้บริสุทธิ์และการทำให้แห้ง จากนั้นแยกตะกอนบีบน้ำออก แล้วล้างหลายๆ ครั้งด้วยแอลกอฮอล์ เพื่อกำจัดสารตกค้าง อบในเตาอบให้แห้ง บดเป็นผงร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100-200 เมช

2.2.8 สมบัติและหน้าที่

รัชนี ดัชนีอะพานิชกุล (2542 : 169) แบ่งสมบัติและหน้าที่ของเพคตินดังนี้

1. การละลาย

เพคตินละลายได้ในน้ำเย็นและน้ำร้อน ให้สารละลายที่มีความข้นหนืด แต่ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ปัญหาที่ควรระวังคือการจับตัวเป็นก้อนของเพคตินเมื่อนำไปละลายน้ำ วิธีการแก้ไขโดยทั่วไปนิยมใช้เครื่องผสมความเร็วสูงช่วยในการละลายของเพคติน โดยค่อยๆ เติมเพคตินในน้ำร้อนอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเปิดเครื่องความเร็วสูงเป็นเวลา 5-10 นาที

2. ความหนืด

ความหนืดของเพคตินจะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง เช่น ระดับการเอสเทอร์ฟิเคชันของเพคตินความเข้มข้น อุณหภูมิ พีเอช และเกลือชนิดต่างๆ ในระบบที่มีการใช้เพคตินและน้ำตาลอย่างเหมาะสมสารละลายที่ได้จะมีความหนืดจนกระทั่งเมื่อพีเอชของระบบต่ำกว่า 3.6 จะเกิดเจล ทั้งนี้ระบบพีเอชที่ใช้ขึ้นกับระดับการเอสเทอร์ฟิเคชันของเพคตินชนิดนั้นๆ และเกลือที่ใช้ร่วมด้วย การใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ปริมาณเล็กน้อย (ประมาณ 0.6เปอร์เซ็นต์) มีผลทำให้ความหนืดของสารละลายเพคตินเพิ่มขึ้นอย่างมาก และถ้าใช้ถึง 0.8 เปอร์เซ็นต์ ก็จะทำให้เพคตินที่มีระดับการเอสเทอร์ฟิเคชัน 40 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 2.9 เกิดเจลได้ ความหนืดของสารละลายเพคตินจะมีค่าลดลงที่พีเอช 4.4 และที่พีเอชสูงขึ้น (ประมาณพีเอช 6)

3. การเกิดเจล

การเกิดเจลของพันธะเพคติน จัดเป็นสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ

3.1 การเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลมาก

การเลือกใช้พีเอชที่เหมาะสมมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำตาลที่ใช้ อย่างเช่น การทำแยมโดยทั่ว ๆ ไป การใช้เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลมากประเภทเจลที่ได้จะรวดเร็วมากเป็นพิเศษ เพคตินชนิดที่เกิดเจลเร็วจะใช้ปริมาณน้ำตาลประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอช 3.0-3.2 ในบางกรณีสามารถใช้กลูโคสไซรัปแทนน้ำตาลในการเกิดเจลได้ แต่พบว่าเจลมีค่าความแข็งแรงลดลงและอุณหภูมิในการเกิดเจลมีค่าเพิ่มขึ้น

3.2 การเกิดเจลของเพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลน้อย

เพคตินชนิดที่มีหมู่เมทอกซิลน้อย สามารถเกิดเจลได้โดยใช้แคลเซียมอ็อกไซด์ ซึ่งเชื่อว่ามีกลไกการเกิดเจลเป็นแบบกล่องไข่ เช่นเดียวกับการเกิดเจลของโซเดียมอัลจินेट โดยมี Ca^{2+} ทำหน้าที่ตัวเชื่อมประสานระหว่างสายโมเลกุลของเพคตินบริเวณหมู่ไม่มีเอสเทอร์ (อาจมีหมู่เอไมด์ได้เพียงเล็กน้อย)

2.2.9 ประโยชน์ของเพคตินในอุตสาหกรรมอาหาร

ยวดี กาญจน์ฐิติ และ คณะ (2530 : 708) กล่าวถึงประโยชน์ของเพคตินในอุตสาหกรรมอาหารไว้ดังนี้

1. แยมและเยลลี่ เพคตินที่นิยมการนำเพคตินไปใช้ประโยชน์นำมาใช้ส่วนใหญ่จะเป็นเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงมากกว่าเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ โดยใช้เพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงเป็นส่วนประกอบประมาณ 0.3-0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ระบบต้องมีปริมาณของแข็งละลายอยู่ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ มีพีเอชเท่ากับ 2.9-3.2 ลักษณะของแยมที่มีส่วนประกอบของเนื้อผลไม้ผสมอยู่ คือ เนื้อผลไม้เหล่านั้นจะต้องกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ไม่แขวนลอยอยู่ด้านบนหรือตกตะกอนนอนก้นอยู่ด้านล่าง ซึ่งการเกิดเจลต้องเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยการใช้เพคตินที่มีค่าระดับเอสเทอร์พีเคขึ้นตั้งแต่ 75 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไป

2. การผลิตโยเกิร์ต เพคตินที่มีเมทอกซิลต่ำถูกนำมาใช้เป็นส่วนผสมของการเตรียมผลไม้ที่จะใช้ในการทำโยเกิร์ต เพื่อป้องกันการลอยตัวและการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของเนื้อผลไม้ใน stir yoghurt ทำให้เนื้อผลไม้และชั้นของโยเกิร์ตผสมกันได้ดี

3. การถนอมอาหาร ใช้สำหรับอาหารที่ไม่มีการเติมน้ำเพื่อความหวานนอกจากน้ำผลไม้ซึ่งเป็นผลทำให้อาหารนั้นมีปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่น้อย ซึ่งมีผลต่อ Aw ในอาหารนั้น ถ้ามีของแข็งแขวนลอยอยู่น้อยจะทำให้อาหารนั้นมีค่า Aw มากขึ้น โอกาสที่จุลินทรีย์จะเจริญก็มีมากปริมาณของแข็งแขวนลอยที่สามารถยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้ได้นานขึ้น จะอยู่ประมาณ 55-62 เปอร์เซ็นต์ การเติมเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ ลงไปจะเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งแขวนลอยให้กับอาหารนั้น

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ก วัสดุดิบ

- 1 มะนาวสด
- 2 กากมะนาว

ข สารเคมี

- 1 เอทานอล 95%
- 2 โซเดียมไฮดรอกไซด์
- 3 กรดอะซิติก
- 4 แคลเซียมไฮดรอกไซด์
- 5 สารละลายไฮดรอกไซด์
- 6 ฟองน้ำกัมมันต์
- 7 celite

ค อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1 บีกเกอร์ขนาดต่างๆ
- 2 Buchner funnel
- 3 Suction flask
- 4 กระดาษกรองแดนเลส
- 5 ผ้าขาวบาง
- 6 ฝาลินิน
- 7 ถ้วยอลูมิเนียม
- 8 เทอร์โมมิเตอร์
- 9 กระดาษกรองเบอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์

- 1 เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 2 ตู้อบ
- 3 อ่างควบคุมอุณหภูมิ
- 4 Hot plate

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินระหว่างกากมะนาวกับน้ำมะนาว

3.2.1.1 การสกัดเพคตินจากผลมะนาว

1. ชั่งน้ำหนักผลมะนาวที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ 100 กรัมปั่นรวมกับน้ำ 250 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้ได้ 4.5
2. ให้ความร้อนที่ 80 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
3. กรองขณะร้อนด้วยผ้าขาวบางพับ 2 ทบ 2 ครั้ง รวม 2 ผืนวางบนผ้าฝ้ายบนกระชอนจะได้สารละลายเพคตินที่สกัดจากผลมะนาว

3.2.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณเพคตินในรูปแคลเซียมเพคติน

1. บีบอัดสารละลายเพคตินที่สกัดได้จำนวน 100 – 200 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร
2. ทำให้สารละลายเป็นกลางโดยเติม 1N NaOH แล้วเติม 10 มิลลิลิตรของ 1N NaOH กวนสารละลายให้เข้ากันทิ้งไว้ 1 คืน
3. เติม 50 มิลลิลิตร ของ 1N CH₃COOH ทิ้งไว้ 5 นาที เติม 25 มิลลิลิตร ของ 1N Ca(OH)₂ ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
4. นำไปต้มให้ร้อนจนเดือด 2 –3 นาที นำสารละลายที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำเดือดจนหมดอนุภาคอะไรดี
5. อบตะกอนที่ 100-105 °ซ เป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง
6. ชั่งตะกอนแคลเซียมเพคเตท บันทึกผล
7. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เพคตินในรูปแคลเซียมเพคเตท

3.2.1.3 การสกัดเพคตินจากกากมะนาว

1. ชั่งน้ำหนักผลมะนาวที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆ 100 กรัม แยกน้ำมะนาวออกโดยการบีบเอาน้ำมะนาวออกจากผลมะนาวที่หั่นเป็นชิ้นเล็กๆจนหมด แล้วชั่งน้ำหนักกากมะนาว น้ำ กากมะนาว 37.20 กรัม ปั่นรวมกับน้ำ 250 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้ได้ 4.5
2. ให้ความร้อนที่ 80°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
3. กรองขณะร้อนด้วยผ้าขาวบางพับ 2 ทบ 2 ครั้ง รวม 2 ผืนวางบนผ้าฝ้ายบนกระชอนจะได้สารละลายเพคตินที่สกัดจากกากมะนาว

3.2.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณเพคตินในรูปแคลเซียมเพคติน

1. บีบสารละลายเพคตินที่สกัดได้จำนวน 100 – 200 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร
2. ทำให้สารละลายเป็นกลางโดยเติม 1N NaOH แล้วเติม 10 มิลลิลิตรของ 1N NaOH กวนสารละลายให้เข้ากันทิ้งไว้ 1 คืน
3. เติม 50 มิลลิลิตร ของ 1N CH_3COOH ทิ้งไว้ 5 นาที เติม 25 มิลลิลิตร ของ 1N $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
4. นำไปต้มให้ร้อนจนเดือด 2 –3 นาที นำสารละลายที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำเดือดจนหมดอนุผลตลอดไว้
5. อบตะกอนที่ $100-105^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง
6. ชั่งตะกอนแคลเซียมเพคเตท บันทึกผล
7. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เพคตินในรูปแคลเซียมเพคเตท

3.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกากมะนาว

3.2.2.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของHClและอุณหภูมิ : การสกัดเพคติน

1. ชั่งน้ำหนักกากมะนาว 100 กรัม
2. เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในอัตราส่วนกากมะนาว : สารละลายกรด 1: 10 ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 1, 1.5 และ 2 เปอร์เซ็นต์
3. ให้ความร้อนใน Water bath $60, 70$ และ 80°C ตามลำดับทำการสกัดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. กรองด้วยผ้าขาวบาง จะได้สารละลายเพคตินที่สกัดได้จากกากมะนาว
5. วิเคราะห์หาปริมาณเพคตินที่สกัดได้ในรูปแคลเซียมเพคเตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณเพคตินในรูปแคลเซียมเพคติน

1. บีบเปิดสารละลายเพคตินที่สกัดได้จำนวน 100 – 200 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร
2. ทำให้สารละลายเป็นกลางโดยเติม 1N NaOH แล้วเติม 10 มิลลิลิตรของ 1N NaOH กวนสารละลายให้เข้ากันทิ้งไว้ 1 คืน
3. เติม 50 มิลลิลิตร ของ 1N CH₃COOH ทิ้งไว้ 5 นาที เติม 25 มิลลิลิตร ของ 1N Ca(OH)₂ ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
4. นำไปต้มให้ร้อนจนเดือด 2 –3 นาที นำสารละลายที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำเดือดจนหมดอนุโมลคลอไรด์
5. อบตะกอนที่ 100-105 °C เป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง
6. ชั่งตะกอนแคลเซียมเพคเตท บันทึกผล
7. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เพคตินในรูปแคลเซียมเพคเตท

3.2.2.3 ศึกษาผลของระยะเวลาและอัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl

1. ชั่งน้ำหนักกากมะนาว 100 กรัม
2. เติมสารละลายไฮโดรคลอริกในอัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl ที่ 1 : 5, 1 : 10, และ 1 : 15 ตามลำดับโดยใช้สารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้นที่เหมาะสม
3. ให้ความร้อนใน Water bath ที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ใช้ระยะเวลา 2, 3 และ 4 ชั่วโมง
4. กรองด้วยผ้าขาวบาง จะได้สารละลายเพคตินที่สกัดได้จากกากมะนาว
5. วิเคราะห์หาปริมาณเพคตินที่สกัดได้ในรูปแคลเซียมเพคเตท

3.2.2.4 การวิเคราะห์ปริมาณเพคตินในรูปแคลเซียมเพคติน

1. บีบเปิดสารละลายเพคตินที่สกัดได้จำนวน 100 – 200 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร
2. ทำให้สารละลายเป็นกลางโดยเติม 1N NaOH แล้วเติม 10 มิลลิลิตรของ 1N NaOH กวนสารละลายให้เข้ากันทิ้งไว้ 1 คืน
3. เติม 50 มิลลิลิตร ของ 1N CH₃COOH ทิ้งไว้ 5 นาที เติม 25 มิลลิลิตร ของ 1N Ca(OH)₂ ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
4. นำไปต้มให้ร้อนจนเดือด 2 –3 นาที นำสารละลายที่ได้มากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ล้างตะกอนด้วยน้ำเดือดจนหมดอนุโมลคลอไรด์

5. อบตะกอนที่ 100-105 °ซ เป็นเวลา 12-18 ชั่วโมง
6. ชั่งตะกอนแคลเซียมเพคเตท บันทึกผล
7. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เพคตินในรูปแคลเซียมเพคเตท

3.2.3 การทดลองผลิตเพคตินจากกากมะนาว

1. ทำการสกัดเพคตินจากสภาวะที่เหมาะสม
2. ฟอกสีสารละลายเพคตินที่ได้จากกากมะนาว โดยเติมผงถ่านกัมมันต์ในปริมาณ 3%
3. กรองผ่านชั้นของผงกรอง (celite ped) จะได้สารละลายที่มีลักษณะใส
4. ทำให้เข้มข้นที่อุณหภูมิ 60 °ซ
5. เติม 60% เอทานอล ในสัดส่วน 1 : 1 ทิ้งไว้ 30 นาที เกิดตะกอน
6. กรองด้วยผ้าลินิน ล้างตะกอนด้วย 75% เอทานอล 2 ครั้ง และ 95% เอทานอล 1 ครั้ง
7. อบเพคตินที่อุณหภูมิ 60 °ซ
8. ชั่งตะกอนเพคตินที่ได้

3.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการเคมี คณะเทคโนโลยีเคมี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทคนิค
กรุงเทพ ถนนนางลิ้นจี่ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

3.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

เริ่มตั้งแต่เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2544 ถึงเดือน มีนาคม พ.ศ. 2545

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

4.1 ศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแพคตินระหว่างกากมะนาว กับ น้ำมะนาว

ตารางที่ 6 แสดงปริมาณแคลเซียมแพคเตทในส่วนประกอบของมะนาว

วัตถุดิบ	ปริมาณแคลเซียมแพคเตท (กรัม)
ผลมะนาว	0.3832
กากมะนาว	0.2028
น้ำมะนาว	0.1803

ตารางที่ 7 ผลการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณแคลเซียมแพคเตทระหว่าง กากมะนาว กับ น้ำมะนาว

วัตถุดิบ	ปริมาณแคลเซียมแพคเตท(%)
กากมะนาว	52.92
น้ำมะนาว	47.07

การวิเคราะห์หาปริมาณของแพคตินในรูปของแคลเซียมแพคเตท พบว่าในผลมะนาว 100 กรัม มีปริมาณแคลเซียมแพคเตท 0.3832 กรัม แบ่งเป็นกากมะนาว 37.20 กรัม มีปริมาณแคลเซียมแพคเตท 0.2028 กรัม และในน้ำมะนาว 62.80 กรัม มีปริมาณแคลเซียมแพคเตท 0.1803 กรัม ในส่วนประกอบของมะนาวทั้งผล จะเห็นได้ว่า กากมะนาวมีปริมาณแคลเซียมแพคเตทสูงกว่า น้ำมะนาว โดยพบปริมาณแคลเซียมแพคเตท คิดเป็นร้อยละ 52.92 และ 47.07 ตามลำดับ

4.2ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกากมะนาว

4.2.1ศึกษาความเข้มข้นสารละลาย HCl และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด

ตารางที่ 8 ปริมาณแคลเซียมเพคเตทที่สกัดได้โดยใช้ระดับความเข้มข้นของสารละลาย HCl และอุณหภูมิที่ต่างกัน

ความเข้มข้นสารละลาย HCl (%)	ปริมาณแคลเซียมเพคเตท (กรัม)		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	60	70	80
1	$0.7585^c \pm 0.1255$	$0.9661^b \pm 0.1089$	$0.7306^c \pm 0.0758$
1.5	$0.9500^b \pm 0.1097$	$1.2817^a \pm 0.1247$	$0.9370^b \pm 0.0855$
2	$1.0280^b \pm 0.0470$	$0.9460^b \pm 0.0550$	$0.6640^c \pm 0.2920$

จากผลการศึกษาความเข้มข้นสารละลาย HCl และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด พบว่าความเข้มข้นสารละลาย HCl ที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้น 1.5% และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 70 องศาเซลเซียส ปริมาณแคลเซียมเพคเตทที่สกัดได้มากที่สุด ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ $1.2817^a \pm 0.1247$ กรัม/100กรัมกากมะนาว จากผลการศึกษาความเข้มข้นสารละลาย HCl 1.5 % พบว่าเมื่อลดอุณหภูมิเป็น 60°ซ จะได้ปริมาณแคลเซียมเพคเตทเท่ากับ $0.9500^b \pm 0.1097$ กรัม/100กรัม และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นคือที่อุณหภูมิ 80°ซ ปริมาณแคลเซียมเพคเตทเท่ากับ $0.9370^b \pm 0.0855$ แต่ก็มีปริมาณน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 70°ซ ที่ความเข้มข้น 1.5% ซึ่งมีปริมาณเท่ากับ $1.2817^a \pm 0.1247$ กรัม/100กรัม จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารละลาย HCl กับ อุณหภูมิจะเห็นว่าเมื่อใช้อุณหภูมิที่ 80°ซปริมาณแคลเซียมเพคเตทจากตารางที่ 8 นั้นมีปริมาณน้อยที่สุดคือ ที่ความเข้มข้น 1% เท่ากับ $0.7306^c \pm 0.0758$ กรัม/100กรัมกากมะนาว และที่ 2% เท่ากับ $0.6640^c \pm 0.2920$ กรัม/100กรัมกากมะนาว และเมื่อลดอุณหภูมิเป็น 60°ซ ปริมาณแคลเซียมเพคเตทมีปริมาณสูงกว่าที่อุณหภูมิ 80°ซ คือที่ ความเข้มข้น 1.5% มีปริมาณเท่ากับ $0.9500^b \pm 0.1097$ กรัม/100กรัมกากมะนาว และที่ 2% มีปริมาณเท่ากับ $1.0280^b \pm 0.0470$ กรัม/100กรัมกากมะนาว แต่ก็ยังมีปริมาณแคลเซียมเพคเตทน้อยกว่าที่ อุณหภูมิ 70°ซ ความเข้มข้น 1.5% เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเพคติน ดังที่ ประสิทธิ์ อติวีรกุล (2527 : 137) กล่าวว่า ความเข้มข้นสารละลายกรดค่าปริมาณความเข้มข้นจะไม่เพียงพอต่อการไฮโดรไลซ์โปรโตเพคติน และความเข้มข้นสูงที่อุณหภูมิต่ำปริมาณตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมเฟดเตทที่ได้สูง เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเพดตินเสื่อมสภาพลง จึงไม่สามารถตกตะกอนออกมาได้

4.2.2 ศึกษาอัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัด

ตารางที่ 9 ปริมาณแคลเซียมเฟดเตทที่สกัดได้โดยอัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัด

อัตราส่วนกากมะนาวต่อ สารละลาย HCl	ปริมาณแคลเซียมเฟดเตท (กรัม)		
	ระยะเวลาในการสกัด (ชั่วโมง)		
	2	3	4
1 : 5	$0.9977^{bc} \pm 0.0135$	$0.7030^c \pm 0.0290$	$0.7823^{de} \pm 0.0651$
1 : 10	$1.2817^a \pm 0.1247$	$0.8375^{cde} \pm 0.0775$	$1.1363^{ab} \pm 0.1314$
1 : 15	$0.9720^{bcd} \pm 0.2340$	$0.6430^e \pm 0.0490$	$0.9920^{bc} \pm 0.0890$

จากผลการศึกษาอัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัดพบว่า อัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl และระยะเวลาในการสกัดที่เหมาะสมคือ ทำการสกัดโดยใช้อัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl ในอัตราส่วน 1 : 10 ระยะเวลาในการสกัด 2 ชั่วโมง ซึ่งสามารถตกตะกอนให้แคลเซียมเฟดเตทในปริมาณที่มากที่สุด ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมเฟดเตท เท่ากับ $1.2817^a \pm 0.1247$ กรัม/100กรัมกากมะนาว จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl และ ระยะเวลาในการสกัด เมื่อลดอัตราส่วนเป็น 1 : 5 จะเห็นว่าปริมาณแคลเซียมเฟดเตทจากตารางที่ 9 นั้น มีปริมาณน้อยที่สุด โดยดูได้จากระยะเวลาในการสกัดที่ 3 และ 4 ชั่วโมง มีปริมาณเท่ากับ $0.7030^c \pm 0.0290$ และ $0.7823^{de} \pm 0.0651$ กรัม/100กรัมกากมะนาว ตามลำดับ เมื่อเพิ่มอัตราส่วน เป็น 1 : 15 ปริมาณแคลเซียมเฟดเตทสูงกว่าที่อัตราส่วน 1 : 5 โดยดูได้จาก ระยะเวลาในการสกัดที่ 2 และ 4 ชั่วโมง มีปริมาณแคลเซียมเฟดเตทเท่ากับ $0.9720^{bcd} \pm 0.2340$ และ $0.9920^{bc} \pm 0.0890$ กรัม/100กรัมกากมะนาว ตามลำดับ แต่ก็ยังมีปริมาณแคลเซียมเฟดเตทน้อยกว่าที่อัตราส่วน 1 : 10 ที่ระยะเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมเฟดเตท เท่ากับ $1.2817^a \pm 0.1247$ และ $1.1363^{ab} \pm 0.1314$ กรัม/100กรัมกากมะนาว ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl ในอัตราส่วน 1 : 10 และระยะเวลา 2 ชั่วโมงเป็นสถานะที่เหมาะสม ดังที่ ศิริลักษณ์ สนิทวาลัย (2525 : 167) กล่าว

เอเอส คำนึงถึงความปลอดภัยทางอาหารและสุขภาพของผู้บริโภค การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความปลอดภัยในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่า เมื่อเวลาในการสกัดมากขึ้นความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลายจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งผลต่างของความเข้มข้นของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย และในอนุภาคของมะนาวที่นำมาสกัดเพคตินน้อยลงตัวถูกละลายจะถูกสกัดได้น้อย ดังนั้นต้องเลือกใช้เวลาในการสกัดให้เหมาะสมเพื่อให้สกัดสารที่ต้องการให้ได้มากที่สุด

4.3 ทดลองผลิตเพคตินจากกากมะนาวด้วยวิธีการตกตะกอนด้วย 60%เอทานอล

ตารางที่ 10 ปริมาณเพคตินที่ได้จากการตกตะกอนด้วย 60%เอทานอล

วิธีการ	ปริมาณเพคติน %(นน./นน.)
ตกตะกอนด้วย 60%เอทานอล	10.88

จากผลการทดลองผลิตเพคตินโดยใช้การตกตะกอนด้วย 60% เอทานอล พบว่าปริมาณเพคตินที่ได้มีปริมาณสูง เนื่องจากในขั้นตอนของการสกัดที่อัตราส่วนกากมะนาว : สารละลาย HCl 1 : 10 ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ความเข้มข้น HCl 1.5 % และ อุณหภูมิ 70 °ซ เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดจึงทำให้โปรโตเพคตินเปลี่ยนเป็นเพคตินได้มากขึ้นส่งผลให้เมื่อนำมาตกตะกอนด้วย 60% เอทานอล ปริมาณเพคตินมีค่ามาก ดังที่ ประสิทธิ์ อติวีรกุล (2527 : 137) กล่าวว่า เมื่อสกัดในสภาวะที่เหมาะสมแล้วในมาตกตะกอนด้วย 60% เอทานอล จะทำให้ได้ปริมาณเพคตินมาก

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณเพคตินในผลมะนาวและกากมะนาวพบว่า ผลมะนาวเมื่อนำมาคั้นน้ำแล้วยังคงมีปริมาณเพคตินหลงเหลืออยู่ในกากร้อยละ 52.92 ของปริมาณเพคตินในทั้งหมด และมีปริมาณเพคตินออกไปกับน้ำร้อยละ 47.05 ของปริมาณในทั้งหมด สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ ทำการสกัดโดยใช้สารละลาย HCl 1.5% ที่อุณหภูมิ 70^oซ ใช้อัตราส่วนของกากมะนาว : สารละลาย HCl ในอัตราส่วน 1 : 10 นาน 2 ชั่วโมง เนื่องจากสภาวะดังกล่าวสามารถไฮโดรไลซ์โปรโตเพคตินไปเป็นเพคตินได้มากที่สุด ในขั้นตอนของการผลิตเพคติน โดยตกตะกอนด้วย 60% เอทานอลพบว่าได้ปริมาณเพคตินเท่ากับ ร้อยละ 10.88 ของน้ำหนักกากมะนาวแห้ง

5.2 ข้อเสนอแนะ

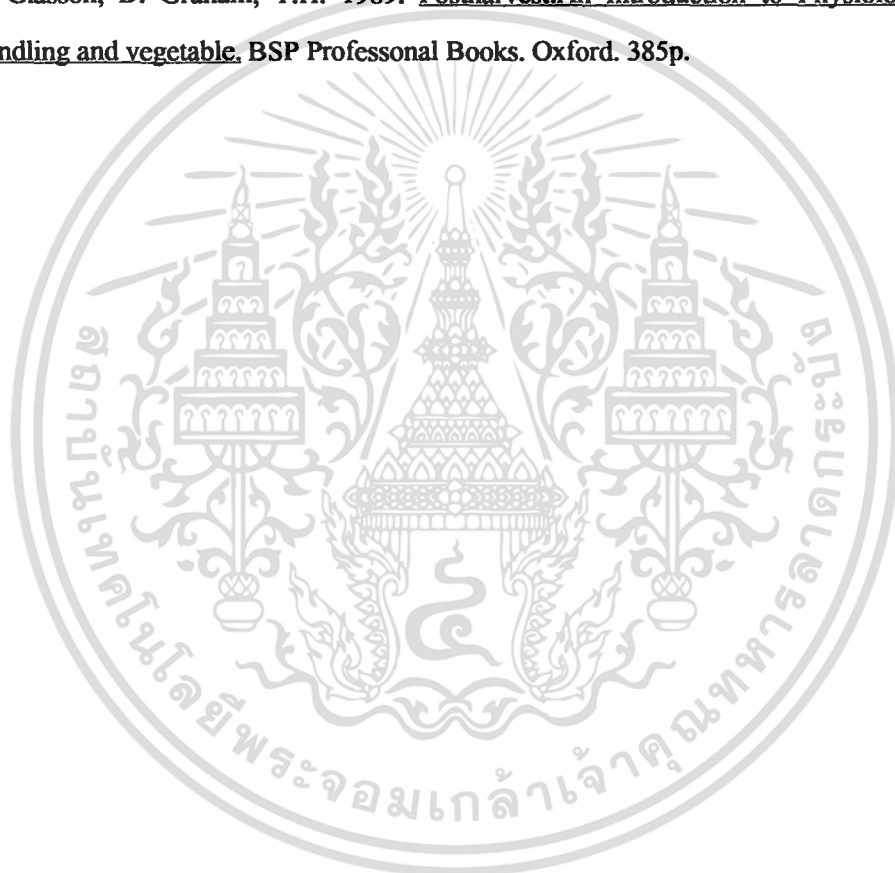
1. ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากกากมะนาว ควรมีการศึกษาความเร็วในการกวน และขนาดอนุภาคเพิ่มเติมเนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสกัด
2. ในการศึกษาการสกัดเพคตินจากกากมะนาว ควรมีการศึกษาการสกัดเพคตินโดยการใช้น้ำมันโปรโตเพคตินเนสในการไฮโดรไลซ์ส่วนของ hairy region

บรรณานุกรม

- ประสิทธิ์ อติวีรกุล. 2527. เทคโนโลยีผลไม้และผัก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. 147-167 น.
- ปิยะนุช เอกฉัตร. 2541. เพคตินและการนำไปใช้ประโยชน์. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์ปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 1-17 น.
- ภูวนาท นนวารีย์. 2527. เทคนิคการปลูกมะนาวออกนอกฤดู. กรุงเทพมหานคร : โอ เอส
พรินติ้งเฮาส์. 19 น.
- ยุวดี กาญจน์ฐิติ และคณะ. 2530. อาหารและโภชนาการ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร :
บริษัทนวกน. 1066น.
- รัชณี ตันตะพานิชกุล. 2542. เคมีอาหาร. กรุงเทพมหานคร : ไทยวัฒนาพานิช. 280 น.
- รินดา แซ่ตัน. 2538. "การสกัดเพคตินในผักที่เป็นอาหาร" วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 3 (3)
(กันยายน-ธันวาคม 2538) น. 43-48
- วรารณ ชัยโอภาส. 2538. "เอกสารเผยแพร่ของกรมวิทยาศาสตร์ชีวภาพ" กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน . (อัดสำเนา)
- ศศิเกษม ทองรงค์ และ พรณี เดชกำแหง. 2530. เคมีอาหารเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : โอ เอส
พรินติ้งเฮาส์. 211 น.
- ศิริลักษณ์ สิ้นธวาลัย. 2525. ทฤษฎีอาหารเล่ม 2. นนทบุรี : บริษัททวารวดีการพิมพ์. 270 น.
- _____. 2522. ทฤษฎีอาหารเล่ม 3 หลักการทดลองอาหาร. นนทบุรี : บริษัททวารวดีการพิมพ์.
257 น.
- สายชล เกตุษา. 2528. สรีระวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้. มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตร
แห่งชาติ. 364 น.
- Doesburg, J. 1960. Pectin Substances in Fresh and Preserve Fruits and Vegetable. New York :
Institute for Research on storage and Processing of Horticultural Produce Wageningen.
73 p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Hoefler, C.A. 1998. Pectin Chemistry Funtionality and Appications. Hercules Incorporated Foodgum Group. Wilmington. 103 p.
- Nadamura, T. 1995. Enzyme Macerston of vegetable with Protopectinases. J.Food Sci. 60(3). 463-472 p.
- Whitaker, J. 1984. Pectic Substance Pectic Enzyme and Haze Formation in Fruit Juices. Enzyme Microbiological Technology 6. 341-349 p.
- Will, R.B. Glasson, D. Graham, T.H. 1989. Postharvest:An Introduction to Physiology and Handling and vegetable. BSP Professonal Books. Oxford. 385p.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณปริมาณเพคตินในรูปของแคลเซียมเพคเตท

ผลมะนาว	100	กรัม	มีปริมาณแคลเซียมเพคเตท	= 0.3832	กรัม
กากมะนาว	37.20	กรัม	มีปริมาณแคลเซียมเพคเตท	= 0.2028	กรัม
คั่งนั้น	ในน้ำมะนาว	62.80	กรัม	มีปริมาณแคลเซียมเพคเตท	0.3832 - 0.2028
				= 0.1804	กรัม

คิดเป็นร้อยละของกากมะนาว เท่ากับ

$$\frac{0.2028 \times 100}{0.3832}$$

$$= 52.92$$

$$= 52.92$$

คิดเป็นร้อยละของน้ำมะนาว เท่ากับ

$$\frac{0.1804 \times 100}{0.3832}$$

$$= 47.07$$

$$= 47.07$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวก ที่ 1 แสดงข้อกำหนดมาตรฐานระหว่างประเทศของเพคตินสำหรับใช้ในอาหารและเภสัชกรรม

Criteria	Expressed As	Food additive			Pharmacopoeia USPXXI/NFXVI
		FAO/WHO	FCC	ECC	
Identification	-	Conforms to Tests A to F	Conforms to Tests A to D	Conforms to Tests A to E	Conforms to Tests A to E
Loss on drying	%	12 max	12 max	12 max	10 max
Total ash	%	-	10 max	-	-
Acid insoluble ash	%	1 max	1 max	1 max	-
SO ₂ Content	ppm	50 max	-	50 max	-
Methyisulphate content	%	-	0 max	-	-
Residual alcohol solvents	%	1 max	-	1 max	-
Nitrogen (N) content :					
Pectin	%	2.5 max	-	2.5 max	-
Amidated-pection	%	-	-	0.5 max	-
Sugars and organic acids	%	-	-	-	1.6 max
Methoxyl (OCH ₃) content	%	-	-	-	6.7 mini
Galacturonic acids	%	65 mini	70 mini	65 mini	74 mini

ตารางภาคผนวก ที่ 1 (ต่อ)

Criteria	Expressed As	Food additive			Pharmacopoeia USPXXI/NFXVI
		FAO/WHO	FCC	ECC	
Degree of esterification					
-HM pectins	%	-	-	-	-
-LM pectins	%	-	-	-	-
Degree of amidation	%	25max	40max	25max	-
Arsenic (asAs)	ppm	3max	3max	3max	3max
Heavy metals (as Pb) :	ppm	-	40max	-	-
-Lead (as Pb)	ppm	10max	10max	10max	5max
-Copper(as Pb)	ppm	50max	-	50max	-
-Zinc(as Pb)	ppm	25max	-	25max	-
Bacteriology					
-Total germs	gems/g				
-Salmonella	gems/2g	Not specified	Not specified	Not specified	Not specified
-Yeast and moulds	gems/g				
Packaging and stocking	-	-	Store in closed Packages	-	Kepp in well-sealed packages

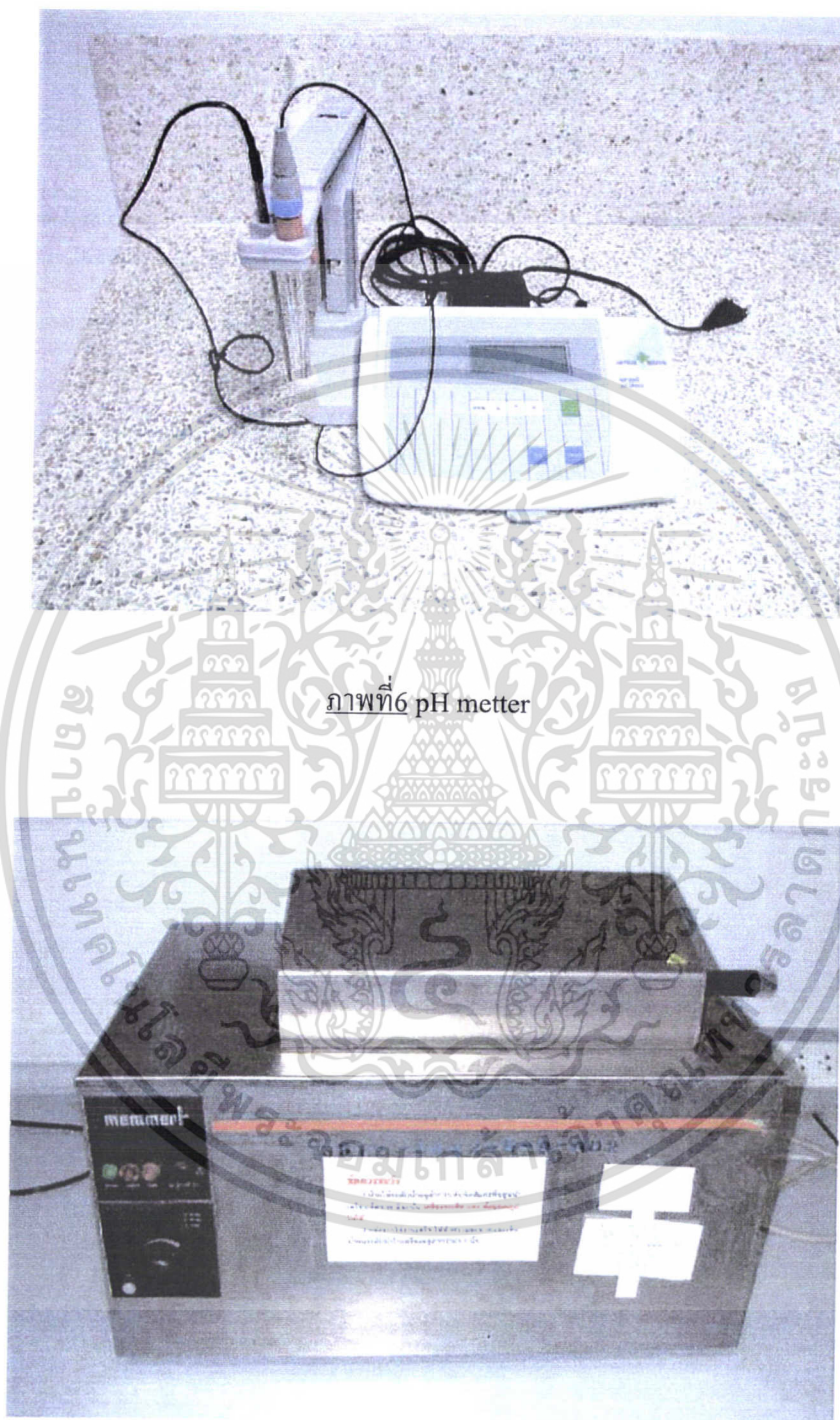
ภาคผนวก ค



ภาพที่4 กากมะนาวที่ใช้ในการผลิตเพคติน

ภาพที่5 สารละลายเพคติน

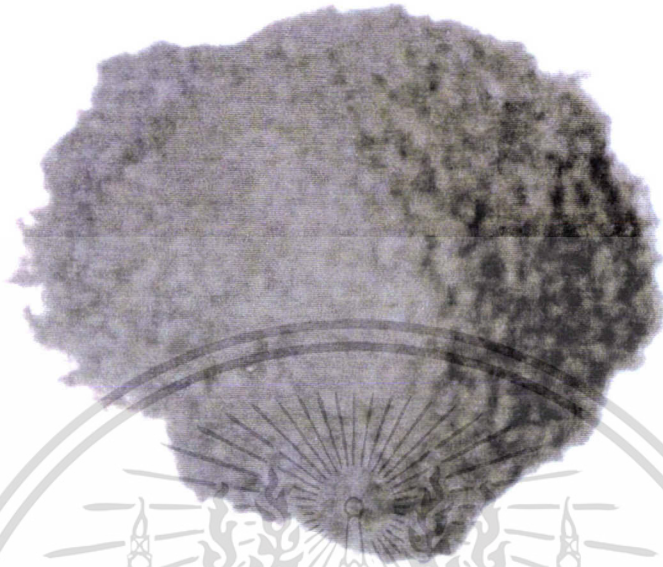
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6 pH meter

ภาพที่ 7 Water bath

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 8 ตะกอนแคลเซียมเฟลคเตท



ภาพที่ 9 ตะกอนเฟคติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางที่ภาคผนวกที่2 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นสารละลาย HCl ที่ 1%, 1.5%, 1% และ อุณหภูมิที่ 60⁰ซ, 70⁰ซ, 80⁰ซ เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

TRT	N	Subret for alpha = .05		
		1	2	3
9.00	3	.664000		
3.00	3	.730667		
1.00	3	.758500		
6.00	3		.937000	
8.00	3		.946000	
4.00	3		.950000	
2.00	3		.966100	
7.00	3		1.028000	
5.00	3			1.281667
Sig.		.266	.307	.307

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000 .

หมายเหตุ	1 = 1%,60 ⁰ ซ	4 = 1.5%,60 ⁰ ซ	7 = 2%,60 ⁰ ซ
	2 = 1%,70 ⁰ ซ	5 = 1.5%,70 ⁰ ซ	8 = 2%,70 ⁰ ซ
	3 = 1%,80 ⁰ ซ	6 = 1.5%,80 ⁰ ซ	9 = 2%,80 ⁰ ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการศึกษาความเข้มข้นสารละลาย HCl และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence		Minimum	Maximum
					Inter for Mean			
					Lower Bound	Upper Bound		
1.00	3	.758500	.125500	7.24575E-02	.446741	1.070259	.6330	.8840
2.00	3	.966100	.108900	6.28734E-02	.695577	1.236623	.8570	1.0750
3.00	3	.730667	7.58149E-02	4.37717E-02	.542332	.919001	.6540	.8056
4.00	3	.950000	.109659	6.33114E-02	.677593	1.222407	.8250	1.0300
5.00	3	1.281667	.124709	7.20008E-02	.971872	1.591461	1.1980	1.4250
6.00	3	.937000	8.55395E-02	4.93862E-02	.724508	1.149492	.8500	1.0210
7.00	3	1.028000	4.70000E-02	2.71355E-02	.911246	1.144754	.9810	1.0750
8.00	3	.946000	5.50000E-02	3.17543E-02	.809372	1.082628	.8910	1.0010
9.00	3	.664000	9.20000E-02	5.31162E-02	.435459	.892541	.5720	.7560
Total	27	.917993	.194695	3.74690E-02	.840974	.995011	.5720	1.4250

หมายเหตุ 1 = 1%,60⁰ซ 4 = 1.5%,60⁰ซ 7 = 2%,60⁰ซ
 2 = 1%,70⁰ซ 5 = 1.5%,70⁰ซ 8 = 2%,70⁰ซ
 3 = 1%,80⁰ซ 6 = 1.5%,80⁰ซ 9 = 2%,80⁰ซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 4 แสดงค่าความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนกษมะนาว : สารละลาย HCl ที่ 1:5,1:10,1:15 และระยะเวลาในการสกัดที่ 2,3,4 ชั่วโมง เพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

TRT	N	Subret for alpha = .05				
		1	2	3	4	5
8.00	3	.643000				
2.00	3	.703033				
3.00	3	.782333	.782333			
5.00	3	.837500	.837500	.837500		
7.00	3		.972000	.972000	.972000	
9.00	3			.992000	.992000	
1.00	3			.997667	.997667	
6.00	3				1.136333	1.136333
4.00	3					1.281667
Sig.		.061	.060	.118	.109	.123

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000 .

หมายเหตุ

1= 1: 5,2 hr	4= 1: 5,3 hr	7= 1: 5,4 hr
2= 1: 10,2 hr	5= 1: 10,3 hr	8= 1: 10,4 hr
3= 1: 15,2 hr	6= 1: 15,3 hr	9= 1: 15,4 hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางภาคผนวกที่ 5 แสดงค่าเฉลี่ยเลขคณิต และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของการศึกษ้อัตราส่วน

กากมะนาว : สารละลายHCl และระยะเวลาในการสกัด ที่ระดับความเชื่อมั่น

95%

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
1.00	3	.997667	1.35031E-02	7.79601E-03	.964123	1.031210	.9840	1.0110
2.00	3	.703033	2.90483E-02	1.67701E-02	.630873	.775193	.6750	.7330
3.00	3	.782333	6.50641E-02	3.75648E-02	.620705	.943961	.7190	.8490
4.00	3	1.281667	.124709	7.20008E-02	.97187	1.591461	1.1980	1.4250
5.00	3	.837500	7.75000E-02	4.47446E-02	.644979	1.030021	.7600	.9150
6.00	3	1.136333	.131367	7.58449E-02	.809999	1.462667	.9850	1.2210
7.00	3	.972000	.234000	.135100	.390712	1.553288	.7380	1.2060
8.00	3	.643000	4.90000E-02	2.82902E-02	.521277	.764723	.5940	.6920
9.00	3	.992000	8.90000E-02	5.13842E-02	.770912	1.213088	.9030	1.0810
Total	27	.327281	.218397	4.20305E-02	.840886	1.013677	.5940	1.4250

หมายเหตุ

1= 1: 5,2 hr

4= 1: 5,3 hr

7= 1: 5,4 hr

2= 1: 10,2 hr

5= 1: 10,3 hr

8= 1: 10,4 hr

3= 1: 15,2 hr

6= 1: 15,3 hr

9= 1: 15,4 h

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้