



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการสกัดเพคตินเมทออกซิลต่ำจากเปลือกลูกตาลอ่อนโดย
การหมุนเวียนเอทานอลกลับมาใช้ซ้ำ
Development of low methoxyl pectin extraction process
from young sugar palm by recovery of ethanol

นายกิตติชัย บรรจง

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนากระบวนการสกัดเพคตินเมทอกซิลต่ำจากเปลือกลูกตาลอ่อนโดย
การหมุนเวียนเอทานอลกลับมาใช้ซ้ำ
Development of low methoxyl pectin extraction process
from young sugar palm by recovery of ethanol

นายกิตติชัย บรรจง

12695609

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การพัฒนากระบวนการสกัดเพคตินเมทอกลูคอสิลต่ำจากเปลือกลูกตาลอ่อนโดยการหมวนเวียนเอทานอลกลับมาใช้ซ้ำ

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 357,440 บาท

ระยะเวลาในการทำวิจัย 1 ปี ตุลาคม 2556 – กันยายน 2557

หัวหน้าโครงการ นายกิตติชัย บรรจง คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาและเปรียบเทียบผลของกระบวนการสกัดเพคตินจากเปลือกลูกตาลดิบด้วยวิธีการนำเอซิลแอลกอฮอล์ที่ใช้แล้วในกระบวนการมาลั่นแล้วหมวนเวียนใช้ซ้ำ โดยการใช้อีซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation; P) และจากการใช้อีซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (PW) เปรียบเทียบกับการสกัดโดยใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process; C) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า PW สามารถลดต้นทุนการใช้อีซิลแอลกอฮอล์ 95% ได้ และเมื่อนำผลผลิตเพคตินจากเปลือกลูกตาลดิบที่สกัดได้จากกระบวนการสกัดในข้างต้นมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แยมเคลอรีต่ำแล้วนำไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์แยมที่ได้จากเพคตินทางการค้าหุ้มเมทอกลูคอสิลต่ำ (LM) พบว่าเพคตินที่ได้จากกระบวนการ P และ C มีคุณภาพทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่าความแข็งแรงเจล (นิวตัน) ค่าสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ และความหนืดแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับ LM และเมื่อนำไปทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสพบว่าในกลุ่มที่ 1 แยมจาก LM_0 ได้คะแนนสูงกว่าแยมจาก C_0 เล็กน้อย ส่วนกลุ่มที่ 2 แยมจาก LM_{33} ได้คะแนนไม่แตกต่างจากแยมจาก C_{33} ส่วนแยมจาก P_{33} พบว่ามีคะแนนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

คำสำคัญ: เพคติน, เปลือกลูกตาลดิบ, การสกัด, เอซิลแอลกอฮอล์, แยมเคลอรีต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Development of low methoxyl pectin extraction process from young sugar palm by recovery of ethanol

Researcher: Kittichai Banjong

Faculty: Agro-industry

ABSTRACT

The recovered ethyl alcohol from distillation was substituted for 95 % ethyl alcohol in precipitation and washing process during pectin extraction from young sugar palm mesocarp and exsocarp. The pectin from recovered ethyl alcohol substituted in precipitation (P). The pectin from recovered ethyl alcohol substituted in precipitation and washing (PW) and the pectin from conventional process using 95% ethyl alcohol (C) was analyzed and then compared. It was found that the substitution of recovered ethyl alcohol for 95% ethyl alcohol in precipitation and washing (PW) can reduce the cost of 95% ethyl alcohol. This study was also to prepare low calorie jam using pectin from conventional process using 95% ethyl alcohol (C) and pectin from recovered ethyl alcohol substituted in precipitation (P). The development of low calorie jam was divided into two groups: The first group is low calorie jam with no sugar added (LM_0 , C_0 and P_0). The second group is low calorie jam with 33% sugar (LM_{33} , C_{33} and P_{33}). The products (LM_0 , C_0 and P_0) were tested by consumers for color, odor, appearance, spread ability, flavor and overall acceptance. The physico-chemical properties including gel strength (N), color (L^* , Hue angle and Chroma value), total soluble solid ($^{\circ}$ Brix) were also determined. It was found that pectin from conventional process using 95% ethyl alcohol (C) pectin from recovered ethyl alcohol substituted in precipitation (P) was significantly different compared to commercial pectin ($P < 0.05$).

Keyword: pectin, young sugar palm, extraction, ethyl alcohol, low calorie jam

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับเงินทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แหล่งเงินทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2557 ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคลากรและนักศึกษาระดับปริญญาตรี และนักศึกษาระดับปริญญาโท คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่เกี่ยวข้อง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้วยดี

นายกิตติชัย บรรจง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีเตรียมการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1. ตาลโตนด.....	4
2.2. สารเพกติน.....	5
2.3. เพกติน.....	6
2.3.1. โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของเพกติน.....	6
2.3.2. การแบ่งประเภทของเพกติน.....	7
2.3.2.1. เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin, LMP).....	8
2.3.2.2. เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลสูง (High methoxyl pectin, HMP).....	10
2.4. การสกัดเพกติน.....	11
2.4.1. การใช้กรด-ด่าง.....	11
2.4.2. การใช้เอซิลแอลกอฮอล์ในกระบวนการสกัดเพกติน.....	11
2.4.3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสกัดเพกติน.....	12
2.4.3.1. อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด.....	12
2.4.3.2. ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด.....	12
2.4.3.3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด.....	12
2.5. การกลั่นแอลกอฮอล์.....	13
2.5.1. การกลั่นธรรมดา.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2. การกลั่นลำดับส่วน	14
2.6. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกติน	16
2.6.1. ชนิดของผลไม้.....	16
2.6.2. ความแก่อ่อนของผลไม้	17
2.6.3. พันธุ์ของผลไม้	17
2.6.4. เพกตินในส่วนต่างๆ ของผลไม้	17
2.6.5. กรรมวิธีการสกัด, การตกตะกอน และการทำให้บริสุทธิ์	17
2.7. สมบัติของเพกติน	17
2.7.1. การละลายของเพกติน	17
2.7.2. ความหนืดของเพกติน	17
2.7.2.1. ความเข้มข้นของเพกติน	17
2.7.2.2. ปริมาณแคลเซียม	17
2.7.2.3. ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง	17
2.7.2.4. ชนิดของเพกติน LM และ HM	18
2.7.2.5. ขนาดของมวลโมเลกุล	19
2.7.3. สมบัติการไหล (รีโอโลยี)	19
2.7.4. ความเป็นกรด - ด่าง	19
2.7.5. มวลโมเลกุลของเพกติน	19
2.7.6. ปริมาณของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+})	19
2.7.7. การเกิดเจล	19
2.8. การนำเพกตินมาใช้ประโยชน์	19
2.8.1. การใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์แยม, เยลลี่ และมาร์มาเลด	19
2.8.2. การใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์นม	20
2.8.3. การใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม	20
2.8.4. การใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์ลูกกวาด	21
2.8.5. การใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์อื่นๆ	21
2.9. อาหารพลังงานต่ำ.....	22
2.10. แยม.....	24
2.10.1. องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แยม	26
2.10.2. ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์แยม	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10.2.1. ผลไม้.....	26
2.10.2.2. เพกติน.....	27
2.10.2.3. น้ำตาล.....	29
2.10.2.4. กรด.....	29
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย.....	31
3.1. การศึกษาคุณลักษณะและผลผลิตของเพกตินที่ได้จากการสกัดจากเปลือกตาลดิบ โดยใช้เอซิลแอลกอฮอล์ที่หมุนเวียนนำกลับมาใช้ซ้ำ.....	31
3.1.1. วัตถุประสงค์.....	31
3.1.2. สารเคมี.....	31
3.1.3. เครื่องมือ.....	31
3.1.4. วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	32
3.1.4.1. การเตรียมวัตถุดิบ.....	32
3.1.4.2. เปรียบเทียบกระบวนการสกัดเพกตินทั้ง 3 กระบวนการสกัด คือ C, P และ PW.....	33
3.1.4.3. วิธีการสกัดเพกติน.....	33
3.1.4.4. หาอัตราส่วนสารละลายเอซิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอน.....	35
3.1.4.5. เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของเพกตินทั้ง 4 ชนิด คือ C, P, PW และเพกติน ทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต่ำ.....	35
3.1.4.6. เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของเพกตินทั้ง 4 ชนิด คือ C, P, PW และเพกติน ทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต่ำ.....	39
3.1.4.7. วิธีการกั่นเอซิลแอลกอฮอล์.....	40
3.1.4.8. ความเข้มข้นของเอซิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านกระบวนการสกัด และแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่.....	40
3.1.4.9. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	40
3.2. การใช้เพกตินชนิดหุ้มเมทอกซิลต่ำสกัดจากเปลือกตาลดิบในแยมเคลอริต้า.....	40
3.2.1. วัตถุประสงค์.....	40
3.2.2. สารเคมี.....	40
3.2.3. เครื่องมือ.....	41
3.2.4. วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3.2.4. วิธีการดำเนินงานวิจัยการศึกษานี้. ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์. ไม่สามารถแก้ไข, กระจาย, หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์. หากต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.4.1. การศึกษาอิทธิพลของเพกตินทางการค้าหมู่มะทอกซิลต่ำ และ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่มีผลต่อค่าความแข็งแรง ของเจล ร่วมกับการใช้น้ำตาล.....	41
3.2.4.2. การศึกษาอิทธิพลของเพกตินร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียม- ฟอสเฟตที่มีผลต่อค่าความหนืด	42
3.2.4.3. การศึกษาเปรียบเทียบแยมแคลอรีต่ำที่ทำมาจาก เพกตินทางการค้าหมู่มะทอกซิลต่ำ, เพกตินจากการใช้เอริล- แอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ (C) และเพกตินจากการใช้เอริล- แอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอน การตกตะกอน (P)	42
3.2.4.4. การวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของแยมแคลอรีต่ำ	44
3.2.4.5. การวิเคราะห์ทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพบางประการ ของแยมแคลอรีต่ำ.....	45
3.2.4.6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	45
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	46
4.1. คุณสมบัติของเอริลแอลกอฮอล์ที่ผ่านกระบวนการกลั่นซ้ำ.....	46
4.2. ผลของอัตราส่วนของสารละลายเพกตินต่อเอริลแอลกอฮอล์ ที่ใช้ในการตกตะกอน.....	46
4.3. คุณสมบัติทางเคมีของเพกติน	49
4.3.1. ระดับการเกิดเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Degree of esterification, DE)	49
4.3.2. ปริมาณความชื้นของเพกติน	49
4.3.3. ปริมาณเถ้าของเพกติน	50
4.3.4. ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกของเพกติน (Galacturonic acid, GA)	50
4.3.5. น้ำหนักสมมูล (Equivalent weight)	51
4.4. คุณสมบัติทางกายภาพของเพกติน.....	52
4.4.1. ความหนืดของเพกติน	52
4.4.2. สีของเพกติน.....	54
4.5. ปริมาณการใช้และต้นทุนเอริลแอลกอฮอล์ 95% ในกระบวนการสกัดเพกติน	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6. การศึกษาอิทธิพลของเพกตินทางการค้าหมู่มะทอกซิลต่ำ และโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจล ร่วมกับการใช้น้ำตาลทราย.....	58
4.7. การศึกษาอิทธิพลของเพกตินร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟต ที่มีผลต่อค่าความหนืด	63
4.8. การศึกษาเปรียบเทียบแยมแคลอรีต่ำที่ทำมาจากเพกตินทางการค้าหมู่มะทอกซิลต่ำ, เพกตินจากการใช้เฮซิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ (C) และเพกตินจากการใช้ เฮซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (P).....	66
4.8.1. การวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของแยมแคลอรีต่ำ	66
4.8.2. การวิเคราะห์ทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพบางประการ ของแยมแคลอรีต่ำ	70
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	74
บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....	76
บรรณานุกรม.....	77
ภาคผนวก.....	84
ประวัตินักวิจัย.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ส่วนประกอบสำคัญในการเตรียมแยมเคลอรีต้า.....	43
4.1 ปริมาณความเข้มข้นของเอธิลแอลกอฮอล์.....	46
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอนต่อสารละลาย.....	48
4.3 สมบัติเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัด	52
4.4 ค่าสีของเพกตินทั้ง 4 ชนิด (L*, Hue angle และ Chroma)	56
4.5 ปริมาณการใช้และต้นทุนของเอธิลแอลกอฮอล์ 95% ในการสกัดทั้ง 3 กระบวนการ	58
4.6 อิทธิพลของผงเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต้าและน้ำตาลทราย ร่วมกับการใช้ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตต่อค่าความแข็งแรงของเจล	60
4.7 อิทธิพลของเพกตินเมทอกซิลต้าร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตต่อความหนืด	65
4.8 การประเมินความชอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผลิตภัณฑ์แยม เคลอรีต้าจากผงเพกตินชนิดต่างๆ	68
4.9 การวิเคราะห์ทางด้านเคมีและกายภาพบางประการของแยมเคลอรีต้าจาก ผงเพกตินชนิดต่างๆ	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของผลตาลโตนด.....	4
2.2 การเกิดเอสเทอร์ของหมู่เมทิลบนโซ่ของกรดกาแลคทูโรนิก.....	5
2.3 สูตรโครงสร้างโมโนเมอร์ของเพกติน.....	6
2.4 สูตรเคมีทั่วไปของเพกติน.....	7
2.5 ชนิดและสมบัติของเพกติน.....	8
2.6 โครงสร้างของ Low methoxyl pectin.....	9
2.7 โครงสร้างของ Amidated low methoxyl pectin.....	9
2.8 โครงสร้างของ Conventional low methoxyl pectin.....	10
2.9 โครงสร้างของ High methoxyl pectin.....	10
2.10 การกลั่นแบบธรรมดา.....	14
2.11 การกลั่นแบบลำดับส่วน.....	15
3.1 แผนภาพสำหรับการเตรียมผงเปลือกตาล.....	32
3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการสกัดเพกติน.....	34
3.3 แผนภาพไหลแสดงขั้นตอนการเตรียมแอมแคลอรีต่ำ.....	44
4.1 อัตราส่วนของสารละลายเพกตินต่อเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอน.....	48
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความเข้มข้นของเพกติน.....	53
4.3 อิทธิพลของเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ (LM) ร้อยละ 0.3 และน้ำตาลทราย ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตต่อค่าความแข็งแรงของเจล.....	60
4.4 อิทธิพลของเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ (LM) ร้อยละ 0.6 และน้ำตาลทราย ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตต่อค่าความแข็งแรงของเจล.....	61
4.5 อิทธิพลของเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ (LM) ร้อยละ 0.9 และน้ำตาลทราย ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตต่อค่าความแข็งแรงของเจล.....	61
4.6 อิทธิพลของเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ (LM) ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟต ที่มีผลต่อค่าความหนืด.....	63
4.7 อิทธิพลของเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (C) ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียม- ฟอสเฟตที่มีผลต่อค่าความหนืด.....	64
4.8 อิทธิพลของเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทน ในขั้นตอนการตกตะกอน (P) ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟต ที่มีผลต่อค่าความหนืด.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

สารประกอบเพกตินเป็นสารที่พบมากในผักและผลไม้ที่กำลังเจริญเติบโตโดยเกาะกับผนังเซลล์เรียกว่า middle lamella และสะสมเพิ่มขึ้นเมื่ออายุมากขึ้น เพกตินบางส่วนจะเกาะอยู่กับเซลลูโลส โดยทำหน้าที่เชื่อมเข้าด้วยกัน และควบคุมการซึมผ่านของน้ำ (ณรงค์, 2548) เพกตินเป็นสารอาหารคาร์โบไฮเดรตประเภทเส้นใย หรือไฟเบอร์ ที่ไม่สามารถย่อยได้โดยเอนไซม์ในระบบการย่อยในร่างกายของมนุษย์ ทำหน้าที่ขัดขวางการดูดซึมของไขมันไม่ให้เข้าสู่กระแสเลือด และมีส่วนช่วยในระบบขับถ่ายให้ดีขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้เพกตินยังมีคุณสมบัติต่างๆ ที่ทำให้อาหารเกิดเนื้อสัมผัสหรือมีลักษณะความต้องการ เช่น เป็นสารทำให้เกิดเจล, สารให้ความข้นหนืด, สารให้ความคงตัว, อิมัลซิไฟเออร์ เป็นต้น ปัจจุบันพบว่าอุตสาหกรรมการสกัดเพกตินมักอยู่ในแถบยุโรปและอเมริกา โดยใช้กากที่เหลือจากอุตสาหกรรมการทำน้ำผลไม้ เช่น อุตสาหกรรมน้ำแอปเปิล และน้ำส้ม เป็นต้น ในขณะที่ประเทศแถบเอเชียที่อุดมไปด้วยผลไม้ที่มีปริมาณเพกตินสูงใกล้เคียงกับแอปเปิลกลับไม่พบว่ามีอุตสาหกรรมการผลิตเพกติน โดยจากข้อมูลปี 2550 มีการประมาณการว่าประเทศไทยนำเข้าเพกตินจากต่างประเทศเข้ามาเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร, ยา และเครื่องสำอางมูลค่ากว่า 328,771,654 บาท โดยต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด (กรมศุลกากร, 2550)

ตาลหรือตาลโตนด มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* L. เป็นพันธุ์ไม้ที่สามารถพบโดยทั่วไปในประเทศไทย โดยเปลือกของลูกตาลนั้นมักเป็นส่วนเหลือทิ้งหลักจากมีการเจาะส่วนที่เป็นเนื้อ (Endocarp) ไปใช้ แต่ต่อมาพบว่าเปลือกของลูกตาลสามารถนำมาใช้สกัดเพกตินได้เช่นกัน โดยมีเพกตินอยู่ 13.3%w/w และเป็นชนิด Low-methoxyl pectin (Rungronmitchai, 2011) ที่สามารถเกิดเจลได้กับอนุโมล โลหะที่มีวาเลนซีสอง เช่น อนุโมลแคลเซียม และใช้น้ำตาลปริมาณน้อยหรือไม่จำเป็นต้องใช้เลยก็ได้ ทำให้สามารถนำมาเป็นองค์ประกอบในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารชนิดน้ำตาลต่ำได้ สอดคล้องกับกระแสการบริโภคอาหารในปัจจุบันที่ผู้บริโภคคำนึงถึงผลิตภัณฑ์อาหารที่ให้พลังงานต่ำ และเป็นผลดีต่อเพื่อสุขภาพเพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังมีคำแนะนำให้ลดการใช้น้ำตาลซูโครสในอาหารอีกด้วย (ญานินสิริ, 2547) ดังนั้นเพกตินที่สกัดได้จากลูกตาลนี้จึงสามารถนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารทางเลือกสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมปริมาณน้ำตาลอย่างเช่น แยมพลังงานต่ำ ซึ่งจะมีปริมาณน้ำตาลน้อยกว่าแยมที่ขายตามท้องตลาดทั่วไปได้อีกด้วย

อย่างไรก็ตามในกระบวนการสกัดเพกตินจากเปลือกลูกตาลจำเป็นต้องใช้เอซิลแอลกอฮอล์ในกระบวนการตกตะกอนและการล้าง (Rungronmitchai, 2011) ซึ่งเป็นความสูญเสียและสิ้นเปลืองเป็นอย่างมาก แต่หากสามารถนำเอซิลแอลกอฮอล์ที่ใช้แล้วนี้มากลับมาใช้ได้อีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนเวียนใช้ซ้ำในกระบวนการได้อีกอย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านของปริมาณผลผลิตและระยะเวลาในการสกัด รวมไปถึงสามารถคงคุณภาพของเพกตินที่ผลิตได้ให้มีความใกล้เคียงกับที่ผลิตเป็นการค้าได้ก็จะเป็นการลดปริมาณและต้นทุนการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ในกระบวนการสกัดเพกตินจากเปลือกลูกตาลดิบได้เป็นอย่างดี

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนากระบวนการสกัดเพกตินชนิดเมทอซอซิลต่ำ จากเปลือกตาลอ่อน โดยการหมุนเวียนเอทานอลที่ใช้แล้วในกระบวนการสกัดนำกลับมาใช้ซ้ำ
- 2) เพื่อศึกษาผลของการนำเอทานอลกลับมาใช้ซ้ำต่อคุณสมบัติของเพกตินเมทอซอซิลต่ำที่สกัดได้ทั้งทางด้านเคมี และทางด้านเคมีกายภาพ เปรียบเทียบกับคุณสมบัติของเพกตินเมทอซอซิลต่ำที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ
- 3) เพื่อศึกษาผลของเพกตินเมทอซอซิลต่ำที่สกัดได้ในงานวิจัยนี้ ต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์อาหารน้ำตาลต่ำเพื่อสุขภาพ เปรียบเทียบกับการใช้เพกตินเมทอซอซิลต่ำที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ
- 4) เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตของกระบวนการสกัดเพกตินเมทอซอซิลต่ำจากเปลือกตาลอ่อน โดยการหมุนเวียนแอลกอฮอล์กลับมาใช้ซ้ำ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

การวิจัยนี้มีขอบเขตของการวิจัย คือ การพัฒนาวิธีการสกัดเพกตินเมทอซอซิลต่ำจากเปลือกตาลอ่อนโดยกระบวนการสกัดแบบหมุนเวียนแอลกอฮอล์กลับมาใช้ซ้ำ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเพกตินเมทอซอซิลต่ำทางการค้าที่นำเข้ามาจากประเทศสหรัฐอเมริกา โดยวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี (ปริมาณของเพกตินที่สกัดได้, ปริมาณความชื้น, ความบริสุทธิ์ของเพกติน, ตรวจสอบหาค่าปริมาณเมทอซอซิล และเถ้า เป็นต้น) และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพและกายภาพ (สีของเพกติน, สีของเจล, สมบัติความหนืด, การเกิดเจล และลักษณะเนื้อสัมผัส เป็นต้น) นอกจากนี้ยังมีการทดลองนำเพกตินเมทอซอซิลต่ำที่ผลิตได้ไปทำผลิตภัณฑ์อาหารพลังงานต่ำเพื่อสุขภาพและโภชนาการผู้ป่วยอย่างแอมพลิงงานต่ำอีกด้วย โดยเปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้กับการใช้เพกตินเมทอซอซิลต่ำทางการค้าที่นำเข้ามา ซึ่งในตอนท้ายของการวิจัยนั้นจะมีการเปรียบเทียบให้เห็นถึงต้นทุนการผลิตของกระบวนการสกัดเพกตินเมทอซอซิลต่ำจากเปลือกตาลอ่อนที่ได้จากพัฒนากระบวนการเพื่อให้สามารถหมุนเวียนแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ซ้ำได้ใหม่อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาและหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดเพกตินจากเปลือกตาลดิบด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก โดยใช้แอลกอฮอล์ใน 3 กระบวนการ ดังต่อไปนี้ คือ กระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C), กระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW)

เมื่อดำเนินการสกัดเพกตินตามกระบวนการทั้งสามในข้างต้น เพกตินที่ได้ภายหลังจากการสกัดจะถูกวิเคราะห์ผลการทดลองโดยเปรียบเทียบ ปริมาณผลผลิต และคุณสมบัติทางเคมีกายภาพต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละกระบวนการสกัด รวมไปถึงคุณภาพของเพกตินที่สกัดได้จากเปลือกตาลดิบเมื่อเทียบกับเพกตินชนิด low methoxyl ทางการค้าที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

นำเพกตินที่สกัดได้จากเปลือกตาลดิบข้างต้นมาใช้ในการผลิตแยมผลไม้ที่มีประมาณน้ำตาลและพลังงานต่ำ แล้วนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบคุณภาพทั้งทางด้านเคมีและกายภาพเมื่อเปรียบเทียบกับแยมตัวอย่างที่ผลิตจากเพกตินทางการค้านำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำเพกตินที่ได้จากการสกัดเปลือกตาลดิบด้วยวิธีการสกัดแบบมีการหมุนเวียนแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่มาผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถสกัดเพกตินจากของเหลือทิ้งอย่างเปลือกตาลดิบ เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมูลค่า, ลดการนำเข้าเพกตินจากต่างประเทศ และลดปริมาณขยะทางการเกษตร
- 2) ลดต้นทุนในกระบวนการสกัดเพกตินได้ โดยใช้วิธีการสกัดแบบมีการหมุนเวียนแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่
- 3) สามารถนำเพกตินที่สกัดได้จากเปลือกตาลดิบด้วยวิธีการสกัดแบบมีการหมุนเวียนแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่มาผลิตผลิตภัณฑ์อาหารได้

บทที่ 2

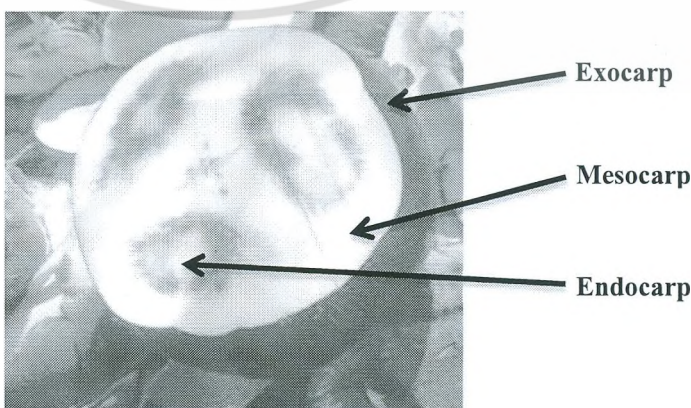
ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ตาลโตนด

ตาลโตนด มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* Linn. มีชื่อสามัญภาษาอังกฤษว่า Palmyra Palm หรือ Lontar หรือ Fan Palm ในประเทศไทยมีชื่อหลายชื่อคือในภาคกลางเรียกว่า ต้นตาลโตนด หรือเรียกสั้นๆ ว่า ต้นตาล ภาคใต้เรียกว่า ตาลโตนด หรือ ต้นโหนด ลำต้นเป็นพืชรำ ต้นเดี่ยวไม่มีหน่อ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ $2\frac{1}{2}$ ฟุต มีลักษณะสูงชะลูด มีความสูง 18-25 เมตร ตาลโตนดเป็นพืชตระกูลปาล์มใบพัดชนิดหนึ่ง

ตาลโตนดเป็นพืชที่มีดอกแบบไม่สมบูรณ์เพศ มีดอกตัวผู้และดอกตัวเมีย ต้นเพศผู้และต้นเพศเมียแยกคนละต้น ดอกอยู่บนช่อดอกที่มีกิ่งก้านแขนงช่อดอกใหญ่ยาวแทงออกจากต้นระหว่าง กาบใบโค้งงอปลายค่อนข้างแหลมคล้ายวงช้าง เรียกว่า งวงตาล หรือ ปลีตาล ผลมีขนาดใหญ่เป็น ทะลายหนึ่งมีประมาณ 10-15 ผล ผลกลมมีขนาด 6-8 นิ้ว ผลอ่อนมีสีเขียวอ่อน ผลแก่มีสีม่วงแก่ผลสุกเต็มที่มีสีม่วงแก่เกือบดำหรือดำ ผิวเป็นมันภายในผลมีเมล็ดขนาดใหญ่แข็งประมาณ 1-4 เมล็ด (ปรัชญาและมงคล, 2543)

ผลตาลโตนดจะให้ดอกให้ผลหลายครั้งจนกว่าต้นจะแก่ตายไป ส่วนประกอบของผลแบ่ง ออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. Exocarp เป็นเปลือกชั้นนอก 2. Mesocarp เป็นส่วนประกอบของเส้นใยสด 3. Endocarp เป็นเปลือกหรือกะลาแข็งหุ้มเมล็ดไว้ (ภาพที่ 2.1) ซึ่งมีงานวิจัยที่สกัดเพกตินจากส่วนต่างๆของผลตาลโตนด คือ Rungronimitchai (2011) ได้สกัดเพกตินจากเนื้อตาลดิบมีปริมาณ เพกติน 13.3%w/w และเนื้อตาลสุกมีปริมาณเพกติน 20.1%w/w และ สุธิดาและพูนศิริ (2555) สกัด เพกตินจากจาวตาลมีปริมาณเพกติน 5.24-14.68%w/w แสดงว่าสามารถพบเพกตินได้ในส่วนต่างๆ ของผลตาลโตนดและมีศักยภาพสามารถนำมาสกัดเพื่อใช้ประโยชน์ได้ โดยพบว่าเป็นเพกตินชนิด หมู่เมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin, LMP)



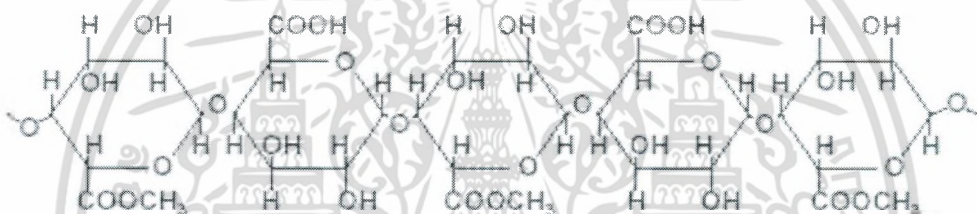
ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของผลตาลโตนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สารเพคติน

Katesz (1951) กล่าวว่า เพคตินเป็นกรดเพคตินิก (Pectinic acid) ชนิดละลายน้ำได้ ซึ่งมีปริมาณหมู่เมทิลเอสเทอร์หลากหลาย สามารถเกิดเป็นเจลในสภาวะที่มีน้ำตาลและความเป็นกรดที่เหมาะสม หรือสภาวะที่มีเกลือแคลเซียมร่วมอยู่ด้วย เพคตินจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเจลของผลิตภัณฑ์ภายหลังการลดอุณหภูมิลง มีศัพท์ที่ใช้เรียกสารในกลุ่มนี้หลายคำ แต่ละคำมีความหมายต่างกันดังต่อไปนี้

สารเพคติน (Pectin substance) เป็นคำที่ใช้เรียกรวม หมายถึงสารเหล่านี้ทั้งหมด ซึ่งมีลักษณะเป็นสารประกอบอนุพันธ์เชิงซ้อนของคาร์โบไฮเดรตที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ สารเหล่านี้จะเกิดอยู่ในเนื้อเยื่อพืชหรือเตรียมได้จากเนื้อเยื่อพืช ส่วนมากจะประกอบด้วยหน่วยย่อยของกรดแอนไฮโดรกาลแลคทูโรนิก (Anhydrogalacturonic) ต่อกันเป็นสายยาว กลุ่มคาร์บอกซิลของกรดกาลแลคทูโรนิกบางส่วนอาจเกิดเอสเทอร์กับหมู่เมทิล (Methyl group) หรืออาจถูกสะเทิน โดยเบสตั้งแต่



หนึ่งชนิดขึ้นไป ตัวอย่าง โครงสร้างของโซ่ของกรดกาลแลคทูโรนิก แสดงได้ดังภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 การเกิดเอสเทอร์ของหมู่เมทิลบน โซ่ของกรดกาลแลคทูโรนิก

ที่มา: Rolin และ De Vries (1990)

โปรโตเพคติน (Protopectin) หมายถึง สารประกอบไม่ละลายน้ำซึ่งมีอยู่ในเนื้อเยื่อพืช สารเหล่านี้เมื่อเกิดไฮโดรไลซิสจะได้เพคตินหรือกรดเพคตินิก โปรโตเพคตินจะมีอยู่ในผลไม้ดิบซึ่งแก่จัดเต็มที่ ระหว่างที่ผลไม้สุกเอนไซม์ในผลไม้จะสลายโปรโตเพคตินและเกิดเป็นเพคติน เมื่อผลไม้สุกงอมหรือเน่าเสียจะเกิดการย่อยสลายเพคตินต่อจนได้กรดเพคติกและเมทิลแอลกอฮอล์ เนื่องจากโปรโตเพคตินเป็นตัวเชื่อมผสานของเซลล์ในเนื้อเยื่อผลไม้ การสลายโปรโตเพคตินเป็นเพคตินซึ่งละลายน้ำจึงทำให้พันธะระหว่างเซลล์อ่อนตัวลง ผลไม้จึงมีลักษณะนุ่มเมื่อสุก โปรโตเพคตินอาจเกิดปฏิกิริยาซาโปนิฟิเคชัน (Saponification) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดกรดเพคติกและเมทิลแอลกอฮอล์ได้

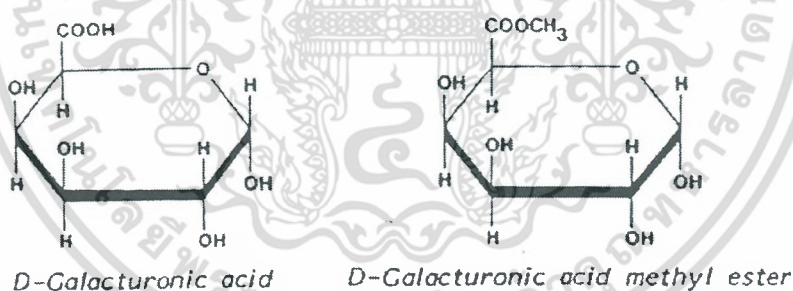
กรดเพคตินิก (Pactinic acid) หมายถึงสารเพคตินซึ่งประกอบด้วยกรดโพลีกาลแลคทูโรนิกที่มีเอสเทอร์ในโมเลกุลน้อยมาก เกลือของกรดเพคตินิกอาจมีฤทธิ์เป็นกลางหรือเป็นกรดได้เช่นเดียวกัน

2.3. เพกติน

เพกติน (Pectin) หมายถึง กรดเพกตินที่ละลายน้ำมีขนาดความยาวและน้ำหนักโมเลกุลต่างๆ กันตั้งแต่ 30,000-300,000 ดาลตัน ขึ้นกับแหล่งที่เกิดวิธีการสกัดและการเตรียม ในโมเลกุลจะมีปริมาณเอสเทอร์ต่างๆ กัน ขึ้นกับแหล่งที่เกิดและวิธีการสกัดอีกเช่นเดียวกัน เพกตินเป็นคอลลอยด์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงกลับไปมาได้คือสามารถตกตะกอนและละลายกลับใหม่ได้โดยไม่สูญเสียความสามารถในการเกิดเจล

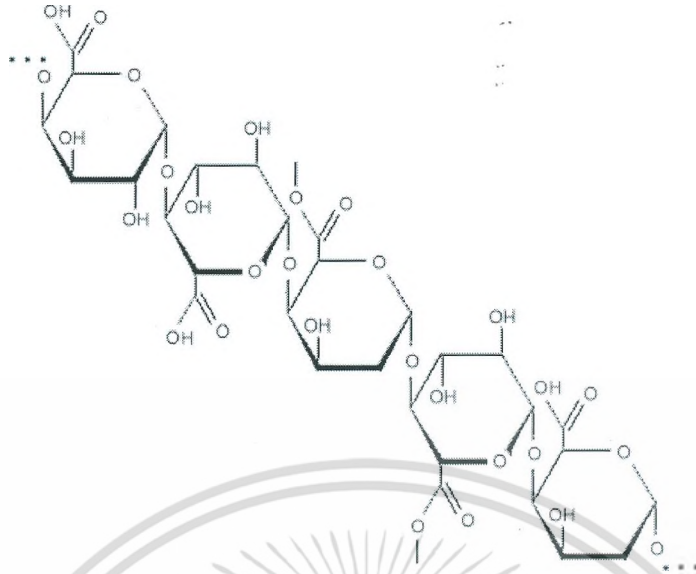
2.3.1. โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของเพกติน

วรรณมา (2549) และ วุฒิชัย (2555) กล่าวว่า โมเลกุลเพกตินประกอบขึ้นจากกรดกาแลคทูโรนิก (Galacturonic acid) เชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ตรงและยาวด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบแอลฟา - (1,4) โดยมีหมู่คาร์บอกซิลบางหมู่ทำพันธะเอสเทอร์กับหมู่เมทิล (Methyl group) อยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์ (Methyl ester) ดังภาพที่ 2.3 และการเชื่อมต่อกันระหว่างสายโซ่ตรงของกาแลคทูโรนิก (Linear galacturonic) แต่ละสายจะเชื่อมต่อกันด้วยแรมโนส (Rhamnose residues) ที่ติดอยู่กับอะราบินอกาแลคแทน (Arabinogalactan) ซึ่งเป็นกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตอะราบินาน (Arabinan) และกาแลคแทน (Galactan) ซึ่งจะพบส่วนที่เชื่อมต่อกันนี้ซึ่งเรียกว่าแรมโนสกาแลคทูโรแนน (Rhamnose-galacturonan) ในระหว่างกระบวนการสกัดเพกตินเสมอ โดยเพกตินนั้นมีสูตรโครงสร้างเคมีทั่วไปดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.3 สูตรโครงสร้างโมโนเมอร์ของเพกติน

ที่มา: วุฒิชัย (2555)



ภาพที่ 2.4 สูตรเคมีทั่วไปของเพกติน

ที่มา: Simon (2003)

2.3.2. การแบ่งประเภทของเพกติน

Rolin และ De Vries (1990) กล่าวถึงการแบ่งประเภทของเพกตินไว้ว่า สามารถแบ่งเพกตินตามปริมาณของการเกิดเมทอกซิลเอสเทอร์ (Methoxyl ester) หรือ Degree of esterification (DE) ซึ่งมีผลต่อการเกิดเจลของเพกติน การแสดงปริมาณของเอสเทอร์นี้ถูกกำหนดในรูปของปริมาณเมทอกซิลหรือระดับการเกิดเมทอกซิลเอสเทอร์ (Methoxyl ester) หรือเรียกว่า Degree of methoxylation; DM) โดยสามารถแบ่งเพกตินได้ 2 ประเภท คือ

- เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl, LM)
- เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลสูง (High methoxyl, HM)

หรืออาจแบ่งชนิดของเพกตินตามการใช้งานออกเป็นผลิตภัณฑ์ที่เซ็ทตัวเร็ว (Rapid set) ซึ่งจะมีค่า DM มากกว่า 60% เพกตินที่มีค่า DM ต่ำกว่านี้จะจับตัวเป็นเจลช้า เพกตินชนิดเซ็ทตัวช้าจะมีค่า DM 50-60% และถ้ามีค่า DM ต่ำมากๆ เพกตินนั้นสามารถเกิดเจลกับไอออนของโลหะบางชนิด เช่น Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} ได้ที่อุณหภูมิห้อง เพกตินเหล่านี้สามารถทำให้เกิดเจลขึ้นได้โดยใช้น้ำตาลน้อยมากหรือไม่จำเป็นต้องใช้น้ำตาลก็ได้ และสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างที่กว้างตั้งแต่ 2.5-6.5 แต่จะเกิดได้ดีในช่วง 3.2-4.0 เพกตินที่มีค่า DM ต่ำลงจะใช้ปริมาณน้ำตาลน้อยลงในการทำให้เกิดเจล

เพกตินมีค่า DM ต่ำ อาจนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์สำหรับผู้เป็นโรคเบาหวานหรือต้องการลดน้ำหนัก ในการผลิตจะต้องควบคุมปริมาณของไอออนโลหะที่ใช้ เพราะถ้ามีความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเกินไปจะทำให้เพกตินตกตะกอนและไม่เกิดเป็นเจลสำหรับเพกตินที่มีค่า DM ต่ำ น้ำหนักโมเลกุลของเพกตินจะไม่เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดเจลเหมือนกับในเพกตินที่ใช้กันโดยทั่วไป เพกตินชนิดเซ็ทตัวเร็วจะใช้ในการผลิตแยมและมาร์มาเลดเพื่อให้เกิดเจลก่อนที่ผลไม้จะแยกชั้น ส่วนชนิดเซ็ทตัวช้าจะใช้ในการทำเยลลี่ เพื่อให้เทลงพิมพ์ได้ทันก่อนที่จะเกิดการแข็งตัว (กิตติพงษ์, 2555) คุณสมบัติการเกิดเจลของเพกตินทั้งสองชนิด (Germeiner, 2012) ดังแสดงในภาพที่ 2.5



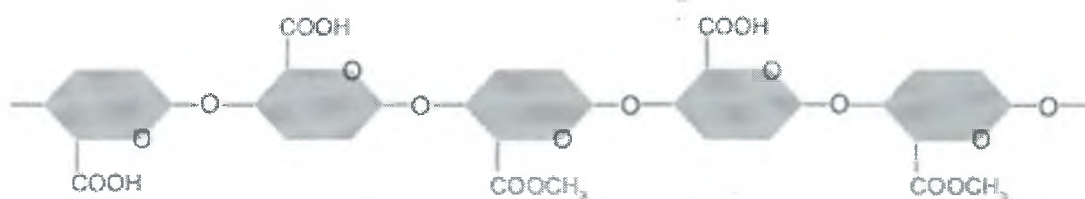
ภาพที่ 2.5 ชนิดและสมบัติของเพกติน

ที่มา: Germeiner (2012)

2.3.2.1. เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin, LMP)

เพกตินที่มีค่าหมู่คาร์บอกซิลเป็นเมทิลเอสเทอร์ (Methyl esters) ต่ำกว่า 50% ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 20-50% (Silvachimica and Indunor, 2005) มีโครงสร้างดังภาพที่ 2.6 โดยเพกตินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้เมื่อมีไอออนของโลหะอยู่ด้วย เช่น Ca^{2+} และมีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดตั้งแต่ 10-80% ที่ช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างตั้งแต่ 2.9-5.5 (คุษฎี, 2553) โดยในงานวิจัยของ Rungrodnimitchai (2011) ที่ได้สกัดเพกตินจากผลตาลดิบด้วยวิธีแบบธรรมดาและไม่โครเวฟ ทำให้ได้เพกตินเมทอกซิลต่ำออกมา และมีระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชันที่ต่ำ (DE) เท่ากับ 29.3-45.0% ในขณะที่สุริคาและพูนศิริ (2555) ที่สกัดเพกตินจากจาวตาลก็ได้เพกตินเมทอกซิลต่ำออกมาเช่นกัน โดยมีระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชันที่ต่ำ (DE) เท่ากับ 10.67% ส่วนชวนิภูฐ์ และคณะ (2548) ที่ศึกษาการผลิตเพกตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลืองทั้งก็ทำให้ได้เพกตินเมทอกซิลต่ำออกมาเช่นเดียวกัน และมีระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชัน (DE) เท่ากับ 25.28%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



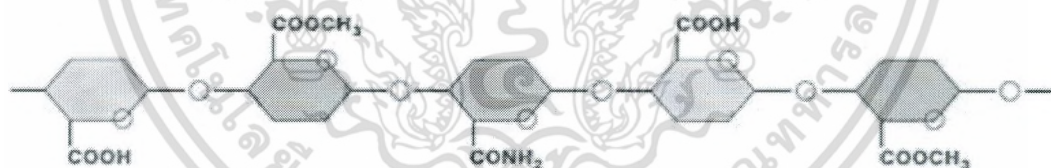
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของ Low methoxyl pectin

ที่มา: International Pectin Producers Association (2001)

เพกตินเมทอกซิลต่ำ (LMP) ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกเป็น 2 ชนิด (Holmer, 1991) คือ

1) Amidated low methoxyl pectin

คือ เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำและมีหมู่เอไมด์เป็นองค์ประกอบ มีโครงสร้างดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.7 โดยเพกตินบางส่วนของกรดกาแลกทูโรนิกจะเกิดเอสเทอร์กับหมู่เอไมด์ โดยใช้สารแอมโมเนียร่วมกับด่างในการดีเอสเทอร์ไฟด์ ทำให้หมู่เมทอกซิลในกรดกาแลกทูโรนิกบางส่วนถูกแทนที่ด้วยหมู่เอไมด์ ดังนั้น Degree of amidation (DA) ก็คือ ปริมาณของกรดกาแลกทูโรนิกที่มีหมู่เอไมด์มาเกาะแทนที่หมู่เมทอกซิลในกรดกาแลกทูโรนิกนั่นเอง



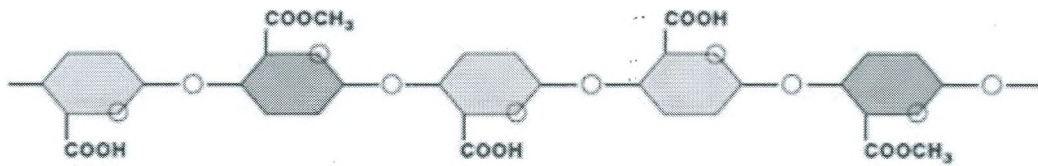
ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของ Amidated low methoxyl pectin

ที่มา: Silvateam (2011)

2) Conventional low methoxyl pectin

เป็นเพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำที่พบได้ทั่วไป มีโครงสร้างดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.8 เป็นการที่หมู่คาร์บอกซิลเข้าทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันกับบางส่วนของกรดกาแลกทูโรนิก โดยใช้เอซิลแอลกอฮอล์ หรือ เมซิลแอลกอฮอล์ ทำให้หมู่คาร์บอกซิลมาแทนที่หมู่เมทอกซิลได้ เพกตินชนิดนี้จะมีค่า DE ต่ำกว่า 50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของ Conventional low methoxyl pectin

ที่มา: Silvateam (2011)

2.3.2.2. เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลสูง (High methoxyl pectin, HMP)

เพกตินที่มีหมู่คาร์บอกซิลเป็นเมทิลเอสเทอร์ (Methyl esters) สูงกว่า 50% โดยในทางการค้าจะมีค่า DE อยู่ในช่วง 50-75% (Silvachimica และ Indunor, 2005) และมีโครงสร้างแสดงดังภาพที่ 2.9 เพกตินชนิดนี้มักใช้กับอาหารที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างช่วง 2.0-3.5 และต้องมีของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมากกว่า 55% จึงจะสามารถเกิดเจลได้ (คุชฎี, 2553) นอกจากนี้ Silvachimica และ Indunor (2005) ยังกล่าวไว้ว่าเพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลสูง (HMP) สามารถแบ่งได้เป็นชนิดเกิดเจลเร็ว (Rapid set), เกิดเจลปานกลาง (Medium rapid set) และเกิดเจลช้า (Slow set pectin) ได้อีกด้วย ส่วนในงานวิจัยของ Kulkarni และ Vijayanand (2010) ที่ได้ศึกษาสภาวะการสกัดเพกตินจากเปลือกเสาวรสต่อคุณลักษณะของเพกติน ก็พบว่าสามารถสกัดเพกตินเมทอกซิลสูงออกมาได้ โดยมีระดับการเกิดเอสเทอร์รีไฟเคชั่นสูง (DE) คือ มีค่าเท่ากับ 60.30% ในขณะที่ฉัตรชัย และคณะ (2550) ได้ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของเพกตินผงที่สกัดจากผลส้มโอ ก็พบว่าสามารถสกัดได้เพกตินเมทอกซิลสูงออกมาได้เช่นกัน โดยเพกตินที่สกัดได้นี้มีระดับการเกิดเอสเทอร์รีไฟเคชั่นสูง (DE) เท่ากับ 52.55%



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของ High methoxyl pectin

ที่มา: International Pectin Producers Association (2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4. การสกัดเพกติน

2.4.1. การใช้กรด-ด่าง

การสกัดเพกตินสามารถทำได้โดยวิธีไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายกรดหรือด่าง Kartesz (1951) รายงานว่าการสกัดด้วยสารละลายด่างทำให้เกิดปฏิกิริยา De esterification สูงกว่าการใช้สารละลายกรด นอกจากนี้การสกัดที่สภาวะเป็นด่างจะทำให้เกิดปฏิกิริยา β -elimination ทำให้โมเลกุลเพกตินถูกทำลายเป็นสายโมเลกุลที่สั้นลง (Levigne *et al.*, 2002) ดังนั้นในการสกัดเพกตินจึงมักใช้สารละลายกรดเป็นตัวสกัด และกรดที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการสกัดเพกตินคือ กรดไฮโดรคลอริก แต่บางครั้งในเนื้อเยื่อพืชอาจมีเพกตินที่อยู่ในรูปของ Calcium pectinate ซึ่งไม่สามารถถูกไฮโดรไลซ์ด้วยสารละลายกรด จึงมีการใช้สารพวก Chelating agent ในการสกัดร่วมด้วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัด โดยจะมีผลทำให้ Calcium pectinate สามารถอยู่ในรูปของเพกตินที่ละลายได้มากขึ้น สารที่นิยมใช้เพิ่มประสิทธิภาพ ได้แก่ สารพวก Polyphosphate และ Oxalae

ในการสกัดเพกตินต้องคำนึงถึงสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด ระยะเวลาในการสกัด และค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญ

2.4.2. การใช้เอซิลแอลกอฮอล์ในกระบวนการสกัดเพกติน

เอซิลแอลกอฮอล์เป็นสารที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการตกตะกอนเพกติน แต่ข้อเสียของการตกตะกอนด้วยเอซิลแอลกอฮอล์ คือถ้าใช้เอซิลแอลกอฮอล์เพียงอย่างเดียวในการตกตะกอน จะมีสารที่ไม่ใช่สารเพกตินตกตะกอนปนออกมาด้วย เช่น เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) รวมทั้งมีเถ้าปนมามาก อย่างไรก็ตามเพกตินที่ผ่านการตกตะกอนด้วยเอซิลแอลกอฮอล์ซ้ำหลายๆ ครั้ง ก็จะมี ความบริสุทธิ์มากขึ้น กล่าวคือมีร้อยละของสารยูโรไนด์ (Uronide) มากขึ้น และในการตกตะกอน สารละลายเพกตินด้วยเอซิลแอลกอฮอล์ที่มีกรดไฮโดรคลอริกอยู่ด้วยนั้นก็จะสามารถลดปริมาณเถ้าที่ปนออกมาในตะกอนของเพกตินได้ ดังนั้นในการตกตะกอนสารละลายด้วยเอซิลแอลกอฮอล์จึง ต้องมีการเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นพร้อมกับการคนอย่างรุนแรง จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้เกิดตะกอน แล้วจึงกรองแยกตะกอน และทำการตกตะกอนด้วยเอซิลแอลกอฮอล์ซ้ำอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้เพกตินมีความบริสุทธิ์มากยิ่งขึ้น ตะกอนเพกตินที่ผ่านการกรองแล้วต้องนำไปล้างด้วยเอซิลแอลกอฮอล์อีกครั้งเพื่อกำจัดอนุโมลคลอไรด์ที่หลงเหลืออยู่ในตะกอนของเพกติน แล้วจึงนำตะกอนที่ได้มาทำแห้ง แล้วบด ก็จะได้เพกตินผงในที่สุด (Kartesz, 1951)

ในกระบวนการสกัดเพกตินมีการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ทั้งหมด 3 ขั้นตอน ได้แก่ ตัวอย่างเช่น ในกระบวนการสกัดของ Rungronimitchai (2011) ใช้วัตถุดิบเริ่มต้น 100 กรัม จะได้เพกตินทั้งหมด 13.3 กรัม ขั้นตอนการตกตะกอนของสารละลายเพกตินจะใช้เอซิลแอลกอฮอล์ ปริมาณ 150 มิลลิลิตร โดยขั้นตอนการล้างครั้งที่ 1 จะใช้เอซิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 70% มาล้าง

2 ครั้ง ครั้งละ 300 มิลลิลิตร ส่วนขั้นตอนการล้างครั้งที่ 2 นั้นจะใช้เอซิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 30% มาล้าง 2 ครั้ง ครั้งละ 300 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนวิชาหกรบการเขางานเพอการศกษาแทนน ไมออนุญาตหนานาเปเชประยชนดานการคา
ไมวากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อิกทั้งห้ามมิใหัดดแปลงเนือหา และดองอองอิงถึงเจาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช

95% ปริมาณ 300 มิลลิลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้องใช้ปริมาณเอซิลแอลกอฮอล์ในการสกัดมาก ดังนั้น เพื่อเป็นการลดต้นทุนเอซิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตจึงควรพิจารณาความเป็นไปได้ที่จะสามารถนำเอซิลแอลกอฮอล์หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

2.4.3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสกัดเพกติน

2.4.3.1. อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด

จากการศึกษารายงานงานวิจัยที่รายงานเกี่ยวกับอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการสกัดเพกติน ดังต่อไปนี้ Pagan และ Ibarz (1999) ศึกษาผลของอุณหภูมิ, เวลา และค่าความเป็นกรด-ด่างที่ใช้ในการสกัดเพกตินต่อปริมาณเพกตินที่สกัดได้จากกากแอปเปิ้ล โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือที่ 80 องศาเซลเซียส ส่วนพิเชษฐ (2546) ศึกษาการเปรียบเทียบปริมาณเพกติน, ปริมาณเมทอกซิล และกรดกาแลคทูโรนิกจากใบหมาน้อย ก็ได้กำหนดให้ดำเนินการสกัดเพกตินที่อุณหภูมิอยู่ที่ 80 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันกับ น้ำทิพย์ และยุวภา (2550) ก็สกัดเพกตินจากพืชที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสด้วยเช่นกัน ในขณะที่ Rungrodnimitchai (2011) พบว่าสภาวะในการสกัดเพกตินจากตาลอ่อนนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้ในการสกัดเพกติน จากการทดลองได้กำหนดให้ใช้อุณหภูมิในการสกัดที่ 80 องศาเซลเซียส จึงอาจสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมต่อการสกัดเพกตินนั้นมักจะมีค่าเท่ากับ 80 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมินี้จะทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพทำให้ได้ปริมาณเพกตินมากที่สุดเมื่อเทียบกับอุณหภูมิอื่นๆ ที่นำมาใช้ทดลอง

2.4.3.2. ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดเพกตินพบว่าหากกำหนดให้ใช้เวลาในการสกัดที่แตกต่างกัน จะพบว่าหากใช้เวลาในการสกัดนานก็จะทำให้ได้ปริมาณเพกตินมากกว่าการสกัดที่ใช้เวลาน้อยกว่า งานวิจัยที่สนับสนุนผลการทดลองนี้ ได้แก่ Pagan และ Ibarz (1999), Pagan และคณะ (2001) และ Levigne และคณะ (2002) ในขณะที่งานวิจัยที่สนับสนุนว่าใช้เวลาการสกัดเพกตินน้อย ก็อาจทำให้ได้ปริมาณเพกตินน้อยตามไปด้วย ดังเช่น งานวิจัยของฉัตรชัย และคณะ (2550) ที่ใช้เวลาสกัดเพียง 30 นาที และ Chang และคณะ (2006) ได้ใช้เวลาในการสกัดเพียงแค่ 20 นาทีเท่านั้น อย่างไรก็ตามเพื่อที่จะหาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการสกัดเพกติน จึงได้มีการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และพบว่ามียางงานวิจัยหลายฉบับที่ระบุว่าจะกำหนดให้ใช้เวลาในการสกัดที่ 120 นาที ซึ่งคณะได้ในเบื้องต้นว่าน่าจะเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัดเพกติน (ณรงค์ และเมธินี, 2548; สมฤทัย และอมราวดี, 2552; พิเชษฐ, 2546; Molles, 2007; Rungrodnimitchai, 2011)

2.4.3.3. ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

ค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดเพกตินส่วนใหญ่มักอยู่ในช่วงของความเป็นกรด (pH 1.5-2.0) ซึ่งสอดคล้องกับรายงานงานวิจัยของณรงค์ และเมธินี เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนเวสสำหรับกรใช้งานเพอกรศึกษาเทานน ไมออนุญาตเหเนาไปเซประยชนดานการค้าไมว่ากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2546), ฉัตรชัย และคณะ, (2548), สมฤทัย และอมราวดี, (2552), น้ำทิพย์ และยุภา, (2550), พิเศษฐ, (2546), Pagan, (1999), Pagan และคณะ (2001). และ Levigne และคณะ (2002) ที่แสดงผลการทดลองให้เห็นว่าช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 1.5-2.0 นั้นจะสามารถสกัดได้ปริมาณผลผลิตเพกตินมากที่สุด จึงอาจสามารถกล่าวได้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 1.5-2.0 นั้นสามารถเกิดการไฮโดรไลซ์เพื่อสกัดเพกตินได้ปริมาณมากที่สุดและจากรายงานงานวิจัยของสมฤทัย และคณะ (2552) ที่ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการสกัดเพกตินจากเปลือกด้านในของมะนาวที่มักเป็นวัสดุเหลือทิ้ง โดยใช้เครื่องมือการสกัดที่ออกแบบขึ้นเอง โดยได้กำหนดให้กรดที่ใช้ในการปรับค่าความเป็นกรดต่าง ได้แก่ กรดเกลือ, กรดซัลฟูริก หรือกรดฟอสฟอริก ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 หรือ 3 เป็นตัวแปรในการศึกษา โดยพบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดเพกติน จากเปลือกมะนาว คือ การใช้กรดเกลือที่มีความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายที่ใช้ในการสกัดเท่ากับ 2 ซึ่งจะทำได้ปริมาณเพกตินจากเปลือกด้านในของมะนาวคิดเป็นน้ำหนักแห้งเท่ากับ 2.34%w/w ในขณะที่ Rungrodnimitchai (2011) ได้ทำการศึกษาการสกัดเพกตินจากเนื้อตาลโดยวิธีการให้ความร้อนเปรียบเทียบกับวิธีการใช้ไมโครเวฟ โดยจากการผลการทดลองพบว่าเพกตินที่สกัดด้วยวิธีการให้ความร้อนโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 จะทำได้ปริมาณผลผลิตเพกตินเท่ากับ 13.3%w/w และเมื่อใช้ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 3 ก็จะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตเพกตินเป็น 10.0%w/w ส่วนวิธีการสกัดด้วยไมโครเวฟนั้น พบว่าที่พีเอช 2 จะได้ปริมาณเพกตินเท่ากับ 23.5%w/w

กล่าวโดยสรุปว่าสภาวะที่ควรนำมาใช้ในการสกัดเพกตินจากเปลือกตาลในการศึกษาครั้งนี้ คือที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 120 นาที และมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 ซึ่งเป็นสภาวะที่สอดคล้องและเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับรายงานงานวิจัยต่างๆ

2.5. การกลั่นแอลกอฮอล์

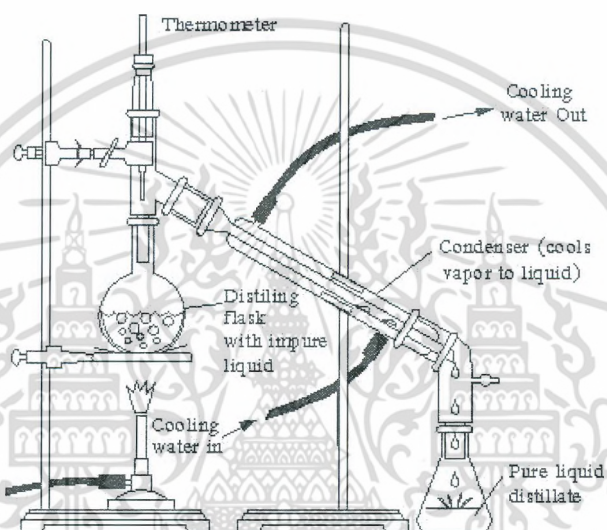
จากที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 2.4.2 ว่ามีการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ในการสกัดเพกตินในปริมาณมาก ดังนั้นหากสามารถนำเอธิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการใช้แล้วหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้ ย่อมเป็นการลดต้นทุนไปในอีกทางหนึ่ง การกลั่นก็นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าพิจารณาให้นำมาใช้เป็นวิธีทำให้เอธิลแอลกอฮอล์ที่ถูกใช้ไปแล้วกลับมาบริสุทธิ์เพียงพอที่จะนำไปหมุนเวียนเข้าสู่กระบวนการสกัดเพกตินอีกครั้ง

กระบวนการกลั่นเป็นวิธีที่ใช้แยกสารออกจากสารละลายที่เป็นของเหลว โดยอาศัยความแตกต่างของจุดเดือด การกลั่นจึงเป็นกระบวนการที่ทำให้ของเหลวได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอแล้วทำให้ควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวอีก ในขณะที่กลั่นนั้นของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำจะกลายเป็นไอแยกออกมาก่อน ส่วนของเหลวที่มีจุดเดือดสูงจะกลั่นแยกออกมาทีหลัง โดยการกลั่นสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1. การกลั่นธรรมดา

เป็นการแยกตัวถูกละลายออกจากตัวทำละลาย โดยตัวถูกละลายและตัวทำละลายมีจุดเดือดต่างกันมาก (80 องศาเซลเซียสขึ้นไป) สารที่มีจุดเดือดต่ำจะระเหยได้เร็วกว่าสารที่มีจุดเดือดสูง เช่น น้ำเกลือ ที่ประกอบด้วยน้ำที่มีจุดเดือด 100 องศาเซลเซียส และเกลือแกงที่มีจุดเดือด 1,413 องศาเซลเซียส จะสังเกตได้ว่าสารประกอบทั้งสองนั้นมีจุดเดือดต่างกันมาก ทำให้สามารถใช้การกลั่นธรรมดาแยกออกจากกันได้ โดยน้ำซึ่งมีจุดเดือดต่ำกว่าจะออกมาก่อน (สารและการเปลี่ยนแปลง, 2555) ดังภาพที่ 2.10

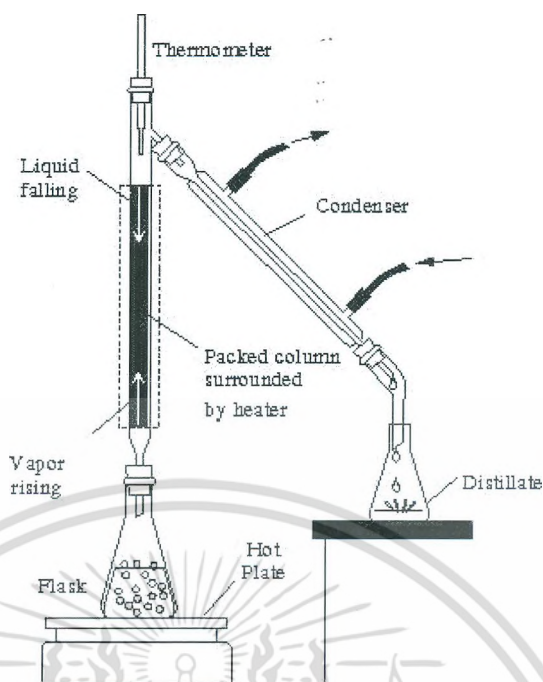


ภาพที่ 2.10 การกลั่นแบบธรรมดา

ที่มา: สารและการเปลี่ยนแปลง (2555)

2.5.2. การกลั่นลำดับส่วน

เป็นการแยกตัวถูกละลายและตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่างกันเล็กน้อย (น้อยกว่า 80 องศาเซลเซียส) โดยจะมีคอลัมน์บรรจุแก้ว หรือหอกลิ้นเพิ่มขึ้นมา ซึ่งหอกลิ้นนี้จะทำหน้าที่ให้สารระเหยออกมาได้ช้าลง หอกลิ้นยิ่งสูงเท่าไรสารที่ออกมา ก็จะมีควมบริสุทธิ์เพิ่มตามเท่านั้น แต่ก็จะทำให้เราต้องเสียเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน (สารและการเปลี่ยนแปลง, 2555) ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 การกลั่นแบบลำดับส่วน

ที่มา: สารและการเปลี่ยนแปลง (2555)

อย่างไรก็ตามในกรณีที่ไม่มีเครื่องมือในการลำดับส่วนแต่ต้องการแยกสารที่มีจุดเดือดใกล้เคียงกัน สามารถทำได้โดยใช้การกลั่นธรรมดาหลายๆ ครั้งแทนได้ และสำหรับการเลือกวิธีกลั่นว่าจะกลั่นธรรมดาหรือกลั่นลำดับส่วนปกตินั้นให้พิจารณาที่จุดเดือดเป็นหลัก ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ใช้ได้โดยนำของเหลวนั้นไปเผาแล้วถ้าพบว่ามีสารเหลืออยู่ให้ใช้วิธีกลั่นแบบธรรมดา เนื่องจากของแข็งกับของเหลวย่อมมีจุดเดือดต่างกันมากอยู่แล้ว แต่ถ้าเผาแล้วพบว่าไม่มีเหลือสารใดๆ อยู่เลยให้ใช้การกลั่นลำดับส่วนแทน

ปกรณ (2526) ได้ทำการศึกษาเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ทั้งหมด 6 เครื่อง และทำการเปรียบเทียบอัตราการกลั่นแอลกอฮอล์ต่อวันของผลที่คำนวณได้ทางทฤษฎีกับผลที่ได้จากการทดลอง โดยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่กลั่นได้กับผลที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีพบว่าผลที่ได้จากการคำนวณจะมีความเข้มข้นสูงกว่าผลที่ได้จากการทดลองประมาณ 5-30% ซึ่งสำหรับการเปรียบเทียบผลของอัตราการกลั่นแล้วจะพบว่าเมื่อความเข้มข้นแอลกอฮอล์เพิ่มมากขึ้นจะมีผลทำให้อัตราการกลั่นมากขึ้นตามไปด้วย แต่ถ้าความเข้มข้นของสารละลายมากขึ้นและอุณหภูมิของสารละลายเพิ่มขึ้นเช่นกัน ก็จะทำให้อัตราการกลั่นเพิ่มมากขึ้น โดยความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ไม่เปลี่ยนมาก โดยสำหรับการกลั่นแบบธรรมดาที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาจะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ และความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ให้สูงมากขึ้นก็ตามแต่อัตราการกลั่นนั้นกลับเพิ่มขึ้นไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วรุฒิ (2550) ได้กล่าวว่า แอลกอฮอล์ 9-10% จะถูกป้อนเข้าที่ประมาณช่วงกลางหอกถัน และไหลลงมาตามชั้นต่างๆ จนถึงส่วนล่างสุดของคอลัมน์ที่เป็นส่วนให้ความร้อน (ส่วนใหญ่ใช้ไอน้ำลักษณะ Direct steam) ซึ่งภายในหอกถันจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของเหลวที่ควบแน่นตกลงมาด้านล่างซึ่งเย็นกว่าไอน้ำ ของเหลวที่ร้อนกว่าซึ่งลอยขึ้นข้างบน เมื่อของเหลวในคอลัมน์ได้รับความร้อนจากไอน้ำของเหลวบางส่วนที่มีจุดเดือดต่ำจะกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำของเหลวที่ลอยขึ้นไปเมื่อให้ความร้อนแก่ไอน้ำส่วนอื่นแล้วก็เย็นลง บางส่วนซึ่งมีจุดเดือดสูงจะควบแน่นเป็นของเหลวตกลงมาวนเวียนเป็นแบบนี้ไปเรื่อยๆ การกลั่นแอลกอฮอล์แบบลำดับส่วน จึงเห็นได้ว่าส่วนที่เป็นไอน้ำจะประกอบด้วยสารที่มีจุดเดือดต่ำ (ในที่นี้คือเอทิลแอลกอฮอล์) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งจะแยกลอยขึ้นไปถึงยอดคอลัมน์ ไอน้ำเมื่อผ่านคอนเดนเซอร์จะควบแน่นเป็นของเหลวออกมาเรียกว่า Distillate ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการ คือ เอทิลแอลกอฮอล์ และถ้าใน Distillate ยังไม่ได้เอทิลแอลกอฮอล์ 95% ก็จะนำกลับเข้าไป Reflux ในหอกถันใหม่จนกว่าจะได้ 95% ส่วนของเหลวซึ่งควบแน่นอยู่ในคอลัมน์จะประกอบด้วยสารที่มีจุดเดือดสูง (ในที่นี้คือน้ำ) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งจะตกลงมาเป็น Residue หรือ Bottom product อยู่ที่ก้นหอกถัน แสดงว่าการกลั่นแบบลำดับส่วนของแอลกอฮอล์ถ้าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ไม่ถึง 95% ยังสามารถนำมากถันใหม่เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ 95% ต่อไปได้

ประเสริฐ (2538) พบว่าการกลั่นแอลกอฮอล์ใช้หลักการปล่อยให้ไอน้ำของสารที่ระเหยออกมาไปแล้วควบแน่นเป็นของเหลวทำให้การกลั่นดำเนินต่อไปได้ตลอดเวลา เครื่องมือที่ใช้สำหรับการกลั่นอย่างง่ายประกอบด้วย ฟลาคัสกลั่น (ควรมีปริมาตรเป็น 2 เท่าของของเหลวที่จะกลั่น), เทอร์โมมิเตอร์, เครื่องควบแน่น และภาชนะรองรับสารที่กลั่นได้ การกลั่นแบบนี้เนื่องจากไม่มีเครื่องมือในการกลั่น จึงจำเป็นต้องมีการประกอบเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เพื่อทดแทนหรือทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ในการกลั่น

2.6. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกติน

เพกตินที่สกัดได้จากผลไม้แต่ละชนิด จะมีปริมาณและคุณภาพต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.6.1. ชนิดของผลไม้

ปริมาณและคุณภาพของเพกตินจะแตกต่างกันตามชนิดของผลไม้ ผลไม้ที่มีปริมาณเพกตินสูงและคุณภาพดี ได้แก่ ผลไม้ตระกูลส้ม แอปเปิล เป็นต้น เนื่องจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของผลไม้แตกต่างกัน

ในงานวิจัยของสมฤทัยและอมราวดี (2552) ได้สกัดเพกตินจากเปลือกมะนาว ได้ปริมาณผลผลิตเพกติน 2.04%w/w และมีระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชัน 24.42% ซึ่งเป็นเพกตินประเภทเมทอกซิลต่ำ Kulkarni และ Vijayanand (2010) ได้ศึกษาผลกระทบต่อสภาวะการสกัดเพกติน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นจากเปลือกเสาวรสมิผลต่อคุณลักษณะของเพกตินได้ปริมาณผลผลิตเพกตินเท่ากับ 14.8%w/w มีระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชันสูง (DE) มีค่าเท่ากับ 60.30% และมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก 88.2%w/w และ Rungrodnimitchai (2011) ได้สกัดเพกตินจากผลตาลดิบ (เนื้อตาลดิบ) ได้ปริมาณผลผลิตเพกตินเท่ากับ 13.3%w/w มีระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชันสูง (DE) มีค่าเท่ากับ 29.3-45.0% และมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก 43.3-70%w/w แสดงว่าชนิดของผลไม้มีผลต่อปริมาณเพกตินและคุณภาพของเพกตินที่สกัดได้ ซึ่งเพกตินส่วนใหญ่จะสะสมอยู่ในชั้นของผนังเซลล์ (Middle) ผลไม้แต่ละชนิดมีปริมาณสะสมที่แตกต่างกัน

2.6.2. ความแก่อ่อนของผลไม้

มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกติน โดยเพกตินในผลไม้ดิบจะอยู่ในรูปของสารโปรโตเพกติน เมื่อสุกเอนไซม์โปรเพกตินเนสจะไฮโดรไลซ์โปรโตเพกตินที่ไม่ละลายน้ำเป็นเพกตินที่ละลายน้ำได้แต่ถ้าผลไม้สุกมากเกินไป เพกตินจะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์เพกตินเอสเทอร์เรสได้กรดเพกติกซึ่งเป็น Colliodal polygalacturonic acid ที่ไม่มีเมทิลเอสเทอร์ในโมเลกุลและกรดเพกติกนี้ไม่สามารถเกิดเจลได้ทุกสภาวะ

ในงานวิจัยของณรงค์ (2546) ได้สกัดและหาลักษณะเฉพาะของเพกตินที่ได้จากกาฝากฝรั่งในแต่ละช่วงอายุการเจริญเติบโต 60, 90, 120, 150 และ 165 วัน พบว่ามีปริมาณเพกตินที่แตกต่างกันคือ 19, 35, 55, 87 และ 60% ตามลำดับ เนื่องจากเพกตินเกิดการเปลี่ยนแปลงของโปรโตเพกตินจากผลไม้ดิบไปเป็นกรดเพกติกในผลไม้ที่เจริญเติบโตเต็มที่

2.6.3. พันธุ์ของผลไม้

ผลไม้ชนิดเดียวกันแต่แตกต่างกันสายพันธุ์ก็จะมีปริมาณของเพกตินแตกต่างกัน เช่น องอาจ (2553) สกัดเพกตินจากฝรั่ง 3 สายพันธุ์ คือ สายพันธุ์กลมสาตี สายพันธุ์แป้นสีทอง และสายพันธุ์กิมจู พบว่ามีปริมาณผลผลิตเพกตินที่แตกต่างกันคือ 11.45, 9.92 และ 18.43%w/w ตามลำดับ แสดงว่าแต่ละสายพันธุ์มีการเก็บสะสมปริมาณของเพกตินที่แตกต่างกัน

2.6.4. เพกตินในส่วนต่างๆ ของผลไม้

เพกตินในส่วนต่างๆ ของผลไม้จะมีปริมาณไม่เท่ากัน เช่นเปลือกจำปาจะมีเพกติน 11.59%w/w ส่วนซังของจำปาจะมีเพกติน 12.54%w/w และส่วนแกนจำปาจะมีเพกติน 8.57%w/w โดยน้ำหนักแห้ง (นัยทัศน์, 2530) แสดงว่าในส่วนต่างๆของเพกตินมีปริมาณเพกตินที่แตกต่างกัน

2.6.5. กรรมวิธีการสกัด, การตกตะกอน และการทำให้บริสุทธิ์

กรรมวิธีการสกัดการตกตะกอนและการทำให้บริสุทธิ์ มีผลต่อปริมาณและคุณภาพของเพกตินโดยการตกตะกอนด้วยอลูมิเนียมคลอไรด์จะได้เพกตินที่ดีกว่าการตกตะกอนด้วยอลูมิเนียมซัลเฟตหรือการใช้สารส้ม นอกจากนี้ปริมาณเพกตินที่ได้จากการตกตะกอนด้วยแอลกอฮอล์จะสูงกว่าปริมาณการตกตะกอนด้วยอลูมิเนียมคลอไรด์ มักจะมีกลุ่มเมทิลไม่เกิน 78% ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7. สมบัติของเพกติน

2.7.1. การละลายของเพกติน

ปรัชญา และมงคล (2543) กล่าวว่าเพกตินสามารถละลายในน้ำเย็นและทำให้เกิดความข้นหนืดได้เช่นเดียวกับกัมชนิดอื่นๆ แต่ผงเพกตินจับกันเป็นก้อนได้ง่าย ทำให้ละลายได้ช้าและยาก จึงควรเก็บรักษาให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้ความชื้นเข้าไป เพกตินจะสามารถละลายได้ดีในน้ำอุ่นหรือน้ำที่มีอุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส แล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วจากต่ำไปหาสูงสุด ต้องระวังไม่ให้เพกตินจับกันเป็นก้อนเพราะจะทำให้ละลายได้ยาก

อีกวิธีที่ละลายเพกตินได้ดีนั้นจะต้องผสมเพกตินกับน้ำตาล โดยอัตราส่วนของเพกติน 1 ส่วนกับน้ำตาล 5 ส่วน หรือกับสารละลายอื่นๆ เช่น สารละลายน้ำตาลความเข้มข้น 65% หรือแอลกอฮอล์เพื่อทำให้เพกตินเปียก ถ้าไม่ได้ผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูง ให้ต้มประมาณ 1 นาที เพื่อให้มั่นใจว่าเกิดการละลายได้หมด (Rolin and De Vries, 1990) การตรวจดูว่ามีการละลายเกิดขึ้นสมบูรณ์หรือไม่ สามารถทำได้โดยการดูฟิล์มของสารละลายบนไม้พายหรือใบมีดที่สะอาดจะต้องใสไม่มีส่วนคล้ายเม็ดทราย

2.7.2. ความหนืดของเพกติน

ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

2.7.2.1. ความเข้มข้นของเพกติน

ที่ความเข้มข้นสูงของเพกตินจะเกิดเจลได้ง่ายกว่า แต่ทั้งนี้ต้องสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาด้วย

2.7.2.2. ปริมาณแคลเซียม

เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงไม่ต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล เนื่องจากเพกตินหมู่เมทอกซิลต่ำมีความไวต่อแคลเซียมสูง

2.7.2.3. ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง

มีอิทธิพลต่อการแข็งตัว แต่ถ้ามีกรดมากเกินไปก็จะไปทำลายความอยู่ตัวของเจลได้ โดยค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเกิดเจล คือ 3.2 เนื่องจากปริมาณกรดในผลไม้แต่ละชนิดแตกต่างกัน ผลไม้ที่มีกรดต่ำอาจจะต้องเติมกรดลงไป กรดที่นิยมใช้เติมผลิตภัณฑ์ คือ กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดแลคติก กรณีผลไม้ที่มีปริมาณกรดตามธรรมชาติมากเกินไปจะลดความเป็นกรดลง โดยการเติมเกลือที่มีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต โซเดียมซิเตรท

2.7.2.4. ชนิดของเพกติน Low methoxyl pectin และ High methoxyl pectin

การนำเพกตินไปใช้จะต่างกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเพกตินที่ต้องการ

นำเพกตินไปใช้ประโยชน์ในด้านใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2.5. ขนาดของมวลโมเลกุล

โดยค่าของความหนืดจะขึ้นอยู่กับขนาดหรือความยาวของโมเลกุล

2.7.3. สมบัติการไหล (รีโอโลยี)

สารละลายเพกตินเจือจางจะให้การไหลของของเหลวแบบนิวโตเนียน (Newtonian) และความเข้มข้นของสารละลายเพกตินมากกว่า 1% จะมีคุณสมบัติการไหลเป็นแบบ Pseudoplastic solution (Sriamomsal, 2003) และ (Kawakatsu *et al.*, 2001)

2.7.4. ความเป็นกรด – ด่าง

ความหนืดของสารละลายเพกตินจะเพิ่มขึ้นถ้าความเป็นกรดต่างลดลงเป็น 2.5-5.5 สารละลายเพกตินจะอยู่ในรูปของ Thixotropic solution สารละลายที่มีประจุ +1 จะลดความหนืดของสารละลายเพกตินเพราะลดแรงดึงดูดระหว่างประจุ

2.7.5. มวลโมเลกุลของเพกติน

มวลโมเลกุลของเพกตินที่มีมวลโมเลกุลสูงจะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงขึ้นด้วยการหาค่า Intrinsic viscosity ในทางตรงกันข้ามเมื่อเจือจางสารละลายและไม่มีแคลเซียม สารละลายจะมีความหนืดลดลง การเตรียมสารละลายเพกตินให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันนั้น สามารถทำได้โดยผสมเพกตินชนิดต่างๆ หรือผสมเพกตินให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (Michel *et al.*, 1982; Christensen, 1954; Berth *et al.*, 1982)

2.7.6. ปริมาณของแคลเซียมไอออน (Ca^{2+})

เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงไม่ต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล ทำให้สามารถแบ่งเพกตินออกตามความไวต่อแคลเซียมไอออน ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เกิดเจลได้ช้า เนื่องจากความไวต่อแคลเซียมต่ำและกลุ่มที่เกิดเจลได้เร็ว มีความไวต่อแคลเซียมสูง กลุ่มหลังนี้หากเพิ่มปริมาณแคลเซียมความหนืดของสารละลายเพกตินก็จะสูงขึ้นด้วย

2.7.7. การเกิดเจล

การเกิดเจลของพันธะเพกติน จัดเป็นสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ การเกิดเจลของเพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง และการเกิดเจลของเพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ (อธิบายในหัวข้อ 2.10.2.2)

2.8. การนำเพกตินมาใช้ประโยชน์

2.8.1. การใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์แยม, เยลลี่ และมาร์มาเลด

เนื่องจากเพกตินมีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถแข็งตัวเป็นเจลได้เมื่อผสมกับน้ำตาลและกรดในปริมาณที่เหมาะสม (Kartesz, 1951) ดังนั้นจึงใช้เพกตินในอุตสาหกรรมการทำเยลลี่และ

แยมผลไม้ โดยใช้เติมลงในแยมผลไม้ในกรณีที่ผลไม้ไม่มีปริมาณเพกตินไม่เพียงพอที่จะเกิดเจลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลิตภัณฑ์แยม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการต้มเนื้อผลไม้กับน้ำตาลเพื่อให้เกิดความหนืดเหนียว ในระยะแรกการผลิตแยมจะใช้เพกตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูง ต่อมาได้มีการใช้เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำเพราะเจลที่ได้มีการกระจายตัวที่ดี มีความยืดหยุ่นสูงกว่า

- ผลิตภัณฑ์เยลลี่ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการต้มน้ำผลไม้กับน้ำตาล จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นเจลโปร่งแสง มีกลิ่นของผลไม้

- มาร์มาเลด เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผลไม้ตระกูลส้ม อาจมีเนื้อผลไม้หรือไม่มีก็ได้ ผสมกับเปลือกส้มชิ้นบางๆและสารที่ให้ความหวานจนเกิดลักษณะเจล (Rolin and De vries, 1990)

จุดมุ่งหมายโดยทั่วไปของการใช้เพกตินนั้นเพื่อใช้ในการเตรียมแยม เยลลี่และเจลอื่นๆ โดยในระยะแรกการผลิตแยมจะใช้เพกตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูงต่อมาได้มีการใช้เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำ เพราะเจลที่ได้มีการกระจายตัวที่ดี มีความยืดหยุ่นสูงกว่า หากผลิตภัณฑ์แยมมีเนื้อผลไม้อยู่ด้วยจะต้องใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงในการทำให้เกิดเจลและจะแข็งตัวทันทีหลังจากเทลงในภาชนะบรรจุ จึงทำให้ชิ้นผลไม้ไม่ลอยอยู่ที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ หากภาชนะที่ใช้ในการบรรจุใหญ่เกินไปจะพบว่าหากบรรจุผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิต่ำเกินไป ปริมาณกลิ่นและสีจะถูกทำลายโดยเฉพาะบริเวณกึ่งกลางของภาชนะบรรจุ เนื่องจากเป็นจุดที่มีการถ่ายเทความร้อนออกมาได้ช้าที่สุด (Rolin and De vries, 1990)

2.8.2. การใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์นม

ในผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวที่มีค่าความเป็น พีเอช 3.5-4.2 สามารถใช้เพกตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูง โดยมีค่าเอสเทอร์รีฟิเคชันประมาณ 70% การทำให้นมเปรี้ยวสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการหมักหรือการเติมน้ำผลไม้ หากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณเคซีนไม่คงตัวทำให้เกิดเป็นลิ่มๆ จึงต้องมีการเติมเพกตินก่อนทำการโฮโมจีไนซ์ (Homogenization) แล้วเพกตินจะจับกับเคซีนที่มีประจุเป็นบวกในผลิตภัณฑ์นม ในช่วงแรกที่ทำกรเติมเพกตินลงไปปริมาณที่น้อยๆ ทำให้ประจุรวมของผลิตภัณฑ์นมเป็นกลาง จึงทำให้ระบบเกิดการยุบตัวลง ทำให้ลดแรงของประจุบวกเมื่อเติมเพกตินลงไปเรื่อยๆ จะทำให้เกิดแรงผลักดันของประจุขึ้นมาใหม่อีกครั้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์นมเปรี้ยวมีความคงตัว

นอกจากนี้เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำถูกนำมาใช้ในการเตรียมผลไม้ที่จะใช้ในการทำโยเกิร์ตเพื่อป้องกันการลอยตัวและกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของเนื้อผลไม้ใน Stir yoghurt ทำให้เนื้อผลไม้และชั้นของโยเกิร์ตผสมรวมตัวกันได้ดีขึ้น (Perayra *et al.*, 1995)

2.8.3. การใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม

เพกตินมีบทบาทในการทำให้สารแขวนลอยในน้ำผลไม้คงตัวอยู่ได้ น้ำผลไม้บางอย่างต้องการทำให้มีลักษณะขุ่น (Cloudy) แต่ในบางกรณี การเกิดความขุ่นและความหนืดมากเกินไปจะเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการของผลิตภัณฑ์ต้องกำจัดเพกตินออกจากน้ำผลไม้

โดยทั่วไปเครื่องต้มจะมีปริมาณน้ำตาลประมาณ 10-15% ซึ่งน้ำตาลเหล่านั้น นอกจากจะเป็นสารให้ความหวานแล้วยังให้ความรู้สึบบางอย่างในปาก ซึ่งก็คือความหนืด ในการผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้ต้องมีการลดปริมาณน้ำตาลลงและเติมเพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง ประมาณ 0.05-0.1% ลงไปแทนน้ำผลไม้ที่ไม่ต้องการลักษณะขุ่นและมีความหนืด เช่น น้ำมะเขือเทศ (Tomato juice) และน้ำผลไม้ตระกูลส้ม (Citrus juice) น้ำผลไม้ทั้งสองชนิดนี้ต้องการให้มีสารแขวนลอยอยู่ในน้ำผลไม้ แต่เนื่องจากน้ำผลไม้ตระกูลส้มทำให้เกิดความขุ่นได้ยากเนื่องจากสารแขวนลอยจะตกตะกอน เมื่อเติมสารเคมีที่ป้องกันการเสีย (Chemical preservative) ลงไปหรือการตกตะกอนอาจเกิดเนื่องจากการให้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้อ โรคแบบพาสเจอร์ไรซ์ (Pasteurization)

การที่น้ำผลไม้ใสเป็นผลมาจากการทำงานของเอนไซม์โดยเฉพาะเพกตินเมทิลเอสเทอร์เรส (Pectin methyl esterase) ที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ (Elshamei and Elzoghbi, 1994) เอนไซม์นี้จะทำให้เกิดการตกตะกอนมากขึ้นในน้ำผลไม้เพราะจะไป Deesterified กรดเพกตินิกจึงได้มีการศึกษาถึงปัญหานี้ พบว่าการให้ความร้อนโดยเร็ว (Flash pasteurization) นั้นไม่เพียงพอที่จะช่วยทำให้มีความคงตัวเท่านั้น แต่ช่วยเพิ่มความขุ่นให้แก่ผลไม้ด้วย Braverman, (1949) เชื่อว่าการเพิ่มความขุ่นนี้เป็นผลมาจากการเกิดการละลายเพกตินมากขึ้น ซึ่งเพกตินที่ได้นี้มาจากสารเพกตินที่มีอยู่ในน้ำผลไม้ตัวเอง ถ้าผลไม้ที่มีเพกตินมาก ถูกทำให้เข้มข้น น้ำผลไม้จะเหนียว ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ไม่ต้องการ ดังนั้นเพกตินจะถูกแยกออกจากน้ำผลไม้เข้มข้น โดยใช้เอนไซม์เพกตินเนส (Klavans *et al.*, 1994)

2.8.4. การใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์ลูกกวาด

เพกตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูงและเกิดเจลช้าถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตลูกกวาดเพื่อใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดลักษณะเนื้อสัมผัสที่แข็งช่วยในการเก็บรักษากลิ่นสามารถใช้ได้กับกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องมีการใช้เพกตินที่มีหมู่เอสเทอร์สูงในการป้องกันไม่ให้ไขมันในผลิตภัณฑ์ลูกกวาดแยกออกมา (Brake and Fenema, 1993)

2.8.5. การใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์อื่นๆ

การใช้เพกตินที่มีหมู่เอสเทอร์ต่ำเป็นสารที่ทำให้เกิดเจลและเป็นสารเพิ่มลักษณะทางเนื้อสัมผัสในผลิตภัณฑ์อาหารหลายชนิดเช่น ไข่ปลาเค็ม ไข่เค็ม ผลิตภัณฑ์เนื้อเทียม และของหวานต่างๆ การใช้เพกตินร่วมกับอัลจินเตมีผลต่อคุณสมบัติการเกิดเจล มีการใช้เพกตินร่วมกับแซนแทนกัมเพื่อเพิ่มความคงตัวของผลิตภัณฑ์น้ำสลัด เพื่อป้องกันการรวมตัวของก้อนน้ำแข็งในผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกล็ดน้ำแข็งหรือเซอร์เบต นอกจากนี้ยังมีการใช้เพกตินร่วมกับกาแลคทูโรแมนเพื่อเป็นสารให้ความคงตัวในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมทำให้เกิดความคงตัวของอิมัลชันของโปรตีนนม Einhornstoll และคณะ (1996) พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงตัวได้มีการใช้ประโยชน์เพกตินในด้านอื่นๆอีก เช่น ผลิตภัณฑ์ผลไม้แช่แข็ง การใช้เพกตินจับกับกลีนาเพื่อทำผลิตภัณฑ์ชาผสมละลายได้ทันทีและผลิตภัณฑ์อื่นๆ อีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9. อาหารพลังงานต่ำ

กระแสความนิยมในการบริโภคอาหารในปัจจุบัน ผู้บริโภคได้หันมาสนใจสุขภาพและคำนึงถึงเรื่องของการเลือกรับประทานผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพ และผลิตภัณฑ์อาหารที่ให้พลังงานต่ำเพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการแนะนำให้ลดการใช้น้ำตาลซูโครสในอาหารให้น้อยลง เนื่องจากน้ำตาลจะเข้าสู่กระแสเลือดอย่างรวดเร็ว ทำให้เลือดมีสถานะเป็นกรดมากเกินไป ร่างกายเกิดภาวะไม่สมดุล การรับประทานน้ำตาลมากเกินไปจนระดับน้ำตาลในเส้นเลือดมีปริมาณสูงจะทำให้ อารมณ์หงุดหงิด และโมโหง่ายและยังเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรค เช่น ฟันผุ ลำไส้ใหญ่อุดตัน เบาหวาน โรคหัวใจ โรคอ้วน และมีผลเสียต่อการมองเห็น (ศิริลักษณ์, 2533) มากกว่าผู้ที่รับประทานน้ำตาลในปริมาณน้อยถึงร้อยละ 45 องค์การอนามัยโลกยังมีการแนะนำให้ลดการบริโภคน้ำตาล โดยควบคุมให้อยู่ในช่วงร้อยละ 0-10 ของพลังงานที่ได้รับจากอาหารทั้งหมด (Black, 1993) ปัจจุบันนี้พบว่าเกิดการเกิดโรคเบาหวานในคนไทยมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จนกลายเป็นภัยคุกคามต่อการดำรงชีวิตและคุณภาพชีวิต ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่าในขณะนี้ยังไม่มีการรักษาใดที่จะทำให้ผู้ที่ป่วยเป็นโรคเบาหวานหายขาดได้

นิยามของอาหารลดพลังงานคือ การลดพลังงานลงร้อยละ 25 ของอาหารสูตรปกติโดยมีคุณภาพ และคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนตามลักษณะอาหารนั้น (Schmidl and Labuza, 2000)

การลดพลังงานในอาหารสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบภายในอาหารนั้น โดยการใช้สองวิธี คือ

- 1) การแทนที่ส่วนประกอบในอาหารด้วยสารให้พลังงานต่ำ เช่น น้ำ สารทดแทนไขมัน สารเพิ่มปริมาณ และการใช้สารทดแทนน้ำตาลโดยใช้สารให้ความหวาน
- 2) การเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบหลักที่ให้พลังงานสูงในอาหาร เช่น การลดปริมาณไขมันโดยการลดส่วนลงหรือใช้สารทดแทนไขมัน การลดพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตด้วยสารพวกกัม คอลลอยด์ โยอาหาร และสารให้ความหวานทดแทนน้ำตาลหรือสารพวกโพลีออล (Sunyer, 1993)

มีการศึกษาทางการแพทย์พบว่า วัยรุ่นที่รับประทานน้ำตาลมากเกินไปและรับประทานอาหารที่ไม่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายเป็นเวลาดำเนินไปเป็นระยะเวลาอันยาวนาน จะปรากฏระดับของวิตามินบี 1 น้อยลง ทำให้เป็นโรคเหน็บชา ภูมิแพ้ อารมณ์แปรปรวน เหนื่อยอ่อน ซึมเศร้า นอนไม่หลับ เจ็บปวดบริเวณอกและท้อง ผลจากการบริโภคน้ำตาลวันละ 3 ซ้อนเต็มจะเท่ากับปริมาณ 1,095 ซ้อนต่อปีในประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งเป็นสาเหตุที่คนจำนวนมากมีน้ำหนักเกินมาตรฐาน (นิรนาม, 2547)

ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวเป็นการสนับสนุนให้ผู้บริโภคหันมาเลือกรับประทานอาหารที่ให้พลังงานต่ำมากขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ ผู้บริโภคต้องการดูแลสุขภาพ และควบคุมน้ำหนักให้ดีขึ้น (Nabors and Lemineux, 1993) ดังนั้นการลดน้ำตาลในอาหารที่มีพลังงานสูง เช่น ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์แยม ซึ่งให้พลังงานสูงถึง 260 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม โดยการใช้สารให้ความหวานที่ให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลและมีการใช้ในปริมาณน้อย ผู้บริโภคจึงได้รับพลังงานน้อยลง โดยสารให้ความหวานที่นิยมใช้ในแยมได้แก่ แอสพาร์แทม อะซีซัลเฟมเค ซูคราโลส และซอร์บิทอล (Nobors and Gelardi, 1991)

การลดปริมาณน้ำตาลเพื่อผลิตแยมพลังงานต่ำสามารถทำได้โดยการเลือกใช้สารขึ้นเหนียวที่เหมาะสมในการเกิดเจลทดแทนเพกติน หรือใช้สารให้ความหวานที่ให้พลังงานต่ำทดแทนความหวานที่ได้จากน้ำตาล (Furia, 1983) นอกจากนี้ยังอาจมีการเลือกใช้ เพกตินเมทอกซิลต่ำเพื่อลดการเติมน้ำตาลซูโครสลงในผลิตภัณฑ์แยมได้อีกด้วย

Acosta (2006) ศึกษาผลของสารให้ความหวาน เพกตินเมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin) และปริมาณแคลเซียมต่อการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์เยลลี่เบลคเบอร์รี่แคลอรีต่ำ พบว่าปริมาณสารให้ความหวานมีผลต่อการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์ แต่ปริมาณเพกตินเมทอกซิลต่ำและปริมาณแคลเซียมไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการยอมรับรวมของ ผลิตภัณฑ์แต่อย่างใด ผลิตภัณฑ์เยลลี่มีปริมาณแคลอรีลดลงถึง 8 แคลอรีต่อหนึ่งหน่วยบริโภค

Rolin และ De Vries (1990) ศึกษาผลของการผลิตเยลลี่ผลไม้หรือแยมพลังงานต่ำ ที่มีการใช้การจี้แน่นร่วมกับเพกติน หรือแทนที่เพกตินเลยก็ได้ นอกจากนี้อดีคักดี (2538) ยังสามารถนำคาราจีแนนมาใช้ร่วมกับแป้งบุกในอัตราส่วน 70:30 ถึง 50:50 ในผลิตภัณฑ์แยมพลังงานต่ำได้อีกด้วย

Gajar และ Badrie (2002) ศึกษาผลของเพกตินเมทอกซิลสูง (High methoxyl pectin) เพกตินเมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin) และคาร์ราจีแนน (Carrageenan) ต่อการเซ็ตตัวของเจล (Gel set) พบว่าเพกตินไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ต่อกิจกรรมเนื้อของแยม แต่มีผลต่อการเกิดเจล ($P < 0.05$) แยมที่พัฒนาได้ประกอบด้วย เพกตินเมทอกซิลสูงร้อยละ 2 คาร์ราจีแนนร้อยละ 0.03 และใช้ซูคราโลส (Sucralose) เป็นสารให้ความหวานในปริมาณร้อยละ 1.9 ผลิตภัณฑ์มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 12 องศาบริกซ์ มีพีเอช 3.62 ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเนื้อดีขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 35 วัน ผลิตภัณฑ์จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ลดลงและสีของแยมจะเปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

Nawawi และ Heikal (1995) ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมจากการใช้เพกตินเมทอกซิลต่ำ โดยศึกษาเพกตินเมทอกซิลต่ำในช่วงร้อยละ 1.5-2.0 น้ำตาลซูโครสในช่วงร้อยละ 10-50 และแคลเซียม 15-100 มิลลิกรัมต่อกรัมเพกติน พบว่าการใช้เพกตินเมทอกซิลต่ำร้อยละ 1 น้ำตาลซูโครส ร้อยละ 20 และ 30 และปริมาณแคลเซียม 45 มิลลิกรัมต่อกรัมเพกติน จะได้เจลที่มีความแข็งแรงไม่เกิดการแยกตัวของของเหลวออกจากเจล

Abdullah และ Cheng (2000) ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการผลิตแยมผลไม้ผสมแคลอรีต่ำ ผลไม้ที่ทำการศึกษาประกอบด้วย มะละกอร้อยละ 3.5-37.7 มะเฟือง (Carambola) ร้อยละ 0-15 และสับปะรดร้อยละ 61.5-96.5 โดยวางแผนการทดลองแบบ Mixture design และทำการเลือกสูตร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เหมาะสมด้วย Response surface methodology ซึ่งสูตรที่ได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด ประกอบด้วย สับปะรดร้อยละ 71 มะละกอร้อยละ 25 และมะเฟืองร้อยละ 4 แยมที่ได้ให้พลังงาน 106 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม ซึ่งให้พลังงานเพียง 1 ใน 3 ของแยมสูตรปกติ

Hyvonen และ Torma (1998) ศึกษาคุณภาพในการเก็บรักษาแยมสตอเบอรี่น้ำตาลต่ำเป็นเวลา 10 เดือนที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิตู้เย็น (5 องศาเซลเซียส) ผลการทดลองพบว่าแยมที่ใช้ซอร์บิทอลและไซลิทอล หรือแยมที่มีส่วนผสมของไซลิทอลจะมีคุณภาพทางด้านสี ลักษณะเนื้อสัมผัส และลักษณะทางประสาทสัมผัสดีกว่าหรือเทียบเท่ากับแยมที่ใช้น้ำตาลซูโครส แต่แยมที่ใช้น้ำเชื่อม ฟรักโตส (High fructose syrup, HFS) หรือฟรักโตสจะมีการเปลี่ยนแปลงของสี รสชาติ และความชอบเร็วกว่าแยมชนิดอื่นๆ แต่หากมีการใช้ไซลิทอลร่วมกับน้ำเชื่อมฟรักโตส หรือฟรักโตส จะสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาได้

ธาริณี (2546) ศึกษาการผลิตแยมฝรั่งพลังงานต่ำโดยใช้สารให้ความหวานสามชนิด คือน้ำตาลซอร์บิทอลและไซลิทอล สูตรที่เหมาะสมของแยมฝรั่งพลังงานต่ำประกอบด้วย น้ำฝรั่ง 191.93 กรัม เนื้อฝรั่ง 21.22 กรัม กรดซิตริก 1.95 กรัม เพกติน 5 กรัม น้ำตาล 0 กรัม ซอร์บิทอล 56.08 กรัม ไซลิทอล 224.32 กรัม และแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 กรัม ซึ่งจะให้พลังงานเท่ากับ 3.75 กิโลแคลอรีต่อกรัม ซึ่งน้อยกว่าค่าพลังงานของแยมมาตรฐาน (4.15 กิโลแคลอรีต่อกรัม)

Bakr (1997) ได้พัฒนาแยมสตอเบอรี่และแยมฝรั่ง เพื่อใช้เป็นอาหารพลังงานต่ำและอาหารสำหรับผู้ป่วยโรคเบาหวาน พบว่าต้องเพิ่มแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.2 และเก็บรักษาแยมไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จึงจะได้แยมที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสและคุณภาพดี

2.10. แยม

แยม หมายถึง ผลิตภัณฑ์จากเนื้อผลไม้กับสารให้ความหวาน อาจมีการผสมน้ำผลไม้หรือผลไม้เข้มข้นด้วยแล้วทำให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะสำหรับใช้ทา แยมต้องมีสีกลิ่นรสตามชนิดผลไม้ที่ใช้ โดยอาจใช้ส่วนผสมอาหารที่ได้รับอนุญาตให้ใช้แต่งสีได้ และได้แบ่งแยมเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือประเภทที่มีเนื้อผลไม้ทั้งหมดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 45 ของน้ำหนัก และประเภทที่มีเนื้อผลไม้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 33 ของน้ำหนัก ผลไม้ที่ใช้อาจเป็นผลไม้ชนิดเดียวหรือผลไม้ผสมหลายชนิด กรณีที่ใช้ผลไม้ชนิดเดียว ถ้าใช้ฝรั่งต้องมีเนื้อผลไม้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ถ้าใช้น้ำมะม่วงหิมพานต์ต้องมีเนื้อผลไม้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ถ้าใช้กระเจี๊ยบ จิง มะม่วง จะต้องมีส่วนผสมผลไม้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 กรณีที่ใช้ผลไม้ 2 ชนิด จะต้องมีส่วนผลไม้ชนิดหลักร้อยละ 50-75 ของปริมาณผลไม้ทั้งหมด ยกเว้น แดง มะละกอ อาจมีได้ถึงร้อยละ 95 ถ้าใช้มะนาว จิง จะต้องมีส่วนผสมผลไม้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 กรณีที่ใช้ผลไม้ 3 ชนิด จะต้องมีส่วนผลไม้ชนิดหลักร้อยละ 33.3-75.0 ของปริมาณผลไม้ทั้งหมด และกรณีที่ใช้ผลไม้ 4 ชนิด จะต้องมีส่วนผลไม้ชนิดหลักร้อยละ 25-75 ของปริมาณผลไม้ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 213 (2543) ได้กล่าวถึงแยมว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำจาก ส่วนประกอบผลไม้ซึ่งอาจเป็นผลไม้ทั้งผล ผลไม้เป็นชิ้น เนื้อผลไม้ หรือผลไม้ปั่น ผสมกับน้ำตาล หรือจะผสมน้ำผลไม้หรือน้ำผลไม้เข้มข้นด้วยก็ได้ และทำให้มีความข้นเหนียวพอเหมาะ ต้องมี คุณภาพหรือมาตรฐานดังต่อไปนี้คือ มีกลิ่นรสตามลักษณะเฉพาะของแยม เยลลี่ หรือมาร์มาเลด แล้วแต่กรณี มีสารที่ละลายได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 65 ของน้ำหนัก มีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 2.8 ถึง 3.5 ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์หรือสารเป็นพิษอื่นใน ปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ตรวจพบแบคทีเรียชนิด โคลิฟอร์มน้อยกว่า 3 ต่อแยม เยลลี่ หรือมาร์มาเลด 1 กรัม แล้วแต่กรณี โดยวิธี เอ็ม พี เอ็น (Most Probable Number) ไม่มีวัตถุให้ความ หวานชนิดอื่นนอกจากน้ำตาล ตรวจพบสารปนเปื้อนตะกั่วได้ไม่เกิน 1 มิลลิกรัม ต่อแยม เยลลี่ หรือ มาร์มาเลด 1 กิโลกรัม ตรวจพบสารปนเปื้อนดีบุกได้ไม่เกิน 250 มิลลิกรัม ต่อแยม เยลลี่ หรือมาร์ มาเลด 1 กิโลกรัม

ตามคำนิยามของ Food and Drug Administration (FDA) ในปี 1936 แยม คือ ผลิตภัณฑ์ที่ ได้จากการต้มส่วนที่บริโภคได้ของผลไม้กับน้ำตาลซูโครสหรือเดกซ์โทรส อาจมีการเติมเครื่องเทศ น้ำ น้ำส้มสายชู และกรดอินทรีย์ที่ไม่เป็นอันตราย แต่ไม่นับรวมกรดอินทรีย์หรือเกลือของกรด อินทรีย์ที่ใช้เป็นสารช่วยเก็บรักษา (Preservative) เกี่ยวจนมีความข้นเหนียวที่เหมาะสม ได้ผลิตภัณฑ์ ที่สะอาด มีคุณภาพดี โดยกำหนดว่าจะต้องใช้ผลไม้ไม่น้อยกว่า 45-47 ส่วน ขึ้นกับชนิดของผลไม้ ต่อน้ำตาล 55 ส่วน กรณีที่ผลไม้ที่ใช้มีเพกตินต่ำ อาจเติมเพกตินลงไปได้ ผลิตภัณฑ์ที่มีการเติม เพกตินจะต้องมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำไม่ต่ำกว่า 68 องศาบริกซ์ (กิดดิพงษ์, 2536)

แยมที่ดีควรมีลักษณะข้นเหนียวหรือกึ่งแข็งกึ่งเหลวพอเหมาะสำหรับใช้ทา มีสี กลิ่น รส ตามชนิดของผลไม้ที่ใช้ทำ และการตรวจว่าแยมจะได้ที่อาจดูได้โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดที่อุณหภูมิ ของผลิตภัณฑ์ถึง 103-105 องศาเซลเซียส หรืออาจวัดโดยใช้รีแฟรคโตมิเตอร์วัดหาร้อยละของสาร ที่ละลายได้ให้ถึง 68.5 องศาบริกซ์ ก็ถือว่าใช้ได้ ก่อนการบรรจุควรลดอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เป็น 90 องศาเซลเซียส แล้วรีบบรรจุในขวดที่ล้างสะอาดและอบฆ่าเชื้อแล้ว ถ้ามีฟองควรตักฟองที่อยู่บน ผิวหน้าทิ้ง เพราะถ้ามีฟองจะทำให้ผลิตภัณฑ์ชุ่นดูไม่น่ารับประทาน (มณฑนา, 2543)

การทำแยมเคลอริ์ดำนั้นเมื่อทำการลดระดับน้ำตาลซูโครสลงจากสูตรปกติจะมีผลต่อการ เกิด เจลของแยมคือจะทำให้สมดุลองค์ประกอบในแยมเสียไป ซึ่งจะทำให้โครงสร้างร่างแหของเจล ไม่แข็งแรง จะทำให้ของเหลวแยกตัวออกมาจากส่วนที่เป็นของแข็งหรือส่วนที่เป็นเจลซึ่งผู้บริโภค ไม่ยอมรับ ดังนั้นการเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างร่างแหเจลของเพกติน อาจทำได้โดยการ เลือกใช้เพกตินอีกชนิดหนึ่ง คือ เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ ซึ่งสามารถเกิดเจลได้ดีกับอนุโมลโลหะ

ที่มีวาเลนซ์สอง เช่น อนุมูลแคลเซียม และจะใช้น้ำตาลน้อยมากหรือไม่จำเป็นต้องใช้เลย โดยพบว่า อนุมูลแคลเซียมจะเชื่อมโมเลกุลของเพกตินเข้าด้วยกัน โดยแคลเซียมจะทำปฏิกิริยากับหมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลกทูโรนิก ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของโมเลกุลของเพกติน จะได้เจลที่มีลักษณะแข็งแรง และอุ้มของเหลวไว้ภายในเจลได้ทั้งหมดและไม่เกิดปัญหาของเหลวแยกตัวอีกต่อไป (นราพร, 2543)

2.10.1. องค์ประกอบของผลิตภัณฑ์แยม

องค์ประกอบของแยม คือ มีการเกิดเจลในโครงสร้าง ซึ่งองค์ประกอบที่สำคัญในการเกิดเจลจะมี 3 ประการ คือ เพกติน น้ำตาลและกรด ผลไม้ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทำแยมควรเป็นผลไม้พันธุ์ที่มีปริมาณน้ำตาลและกรดเพียงพอรวมทั้งจะต้องมีสีสวย มีกลิ่นรสที่ดี และควรเป็นผลไม้ที่สดด้วย แต่ในธรรมชาติการจะหาผลไม้ที่มีลักษณะดังกล่าวครบถ้วนเป็นไปได้ยาก การผลิตแยมจึงต้องเติมเพกตินหรือกรดลงไปเพื่อให้มีปริมาณสารเหล่านั้นเพียงพอและเหมาะสมในการเกิดเจลของผลิตภัณฑ์ (กิตติพงษ์, 2536; Baker *et al.*, 1996)

การผลิตแยมทั่วไปมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เนื้อผลไม้ น้ำตาล เพกติน และกรด เพกตินที่ใช้เป็นชนิดหมู่เมทอกซิลสูง (High methoxyl pectin, HMP) ที่สามารถเกิดระบบเจลได้เมื่อรวมตัวกับกรดและน้ำตาลที่ความเข้มข้นสูง แต่การผลิตแยมเคลอริต์จำเป็นต้องใช้เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl pectin, LMP) เพราะเพกตินชนิดนี้สามารถเกิดเจลเมื่อรวมตัวกับกรดและน้ำตาลในปริมาณน้อยหรือไม่มีน้ำตาลก็ได้ แต่ในระบบการเกิดเจลจำเป็นต้องมีไดวาเลนซ์ของแคทไอออนที่เหมาะสม เช่น แคลเซียมไอออน รวมอยู่ด้วยจึงจะเกิดเป็นเจลได้ โดยที่ไดวาเลนซ์ ทำหน้าที่ยึดระหว่างหมู่คาร์บอกซิลของเพกตินสองโมเลกุล เกิดเป็นพันธะข้ามที่มีลักษณะเป็นแบบจำลองกล่องไข่ (Egg box model) (Apirattanusorn, 2011)

2.10.2. ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์แยม

2.10.2.1. ผลไม้

ผลไม้ที่ใช้ในการผลิตแยมจะมีส่วนประกอบของเพกติน ของแข็งที่ละลายได้ กรดและเกลือบัฟเฟอร์ ซึ่งผลไม้ที่มีเกลือบัฟเฟอร์สูง อาจจะทำให้ความเป็นกรดลดลง ซึ่งมีผลต่อการเกิดเจลในแยมได้ ดังนั้นการหาความเป็นกรดในผลไม้ก่อนทำแยมจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อจะได้ทราบปริมาณกรดที่จะเติมลงไป ในแยม แยมจากผลไม้สดควรเป็นผลไม้สุกและควรที่จะแก่และสุกเต็มที่เพราะจะให้รสและสีดี แต่ไม่ควรสุกงอมเกินไป เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีกลิ่นรสและเนื้อสัมผัสที่ดี เพราะผลไม้ที่สุกงอมเกินไปนั้นเอนไซม์ตามธรรมชาติที่มีในผลไม้จะทำลายโครงสร้างของสารประกอบเพกติน สำหรับผลไม้ที่ยังไม่สุกเต็มที่นั้น สารประกอบเพกตินที่มีในผลไม้ไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตแยม (วิศนี, 2552)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลไม้ตามธรรมชาติที่มีคุณภาพเหมาะที่จะใช้ในการผลิตแยมนั้นอาจหาได้ยาก การผลิตแยมจึงต้องอาศัยเพกติน น้ำตาล หรือกรด เพื่อให้เหมาะต่อการเกิดเจลในผลิตภัณฑ์แยม ในทางอุตสาหกรรมจะทำแยมจาก ผลไม้สด ผลไม้แช่เย็น ผลไม้กระป๋อง ผลไม้ที่ถนอมรักษาด้วยสารประกอบพวกกำมะถัน และผลไม้แห้ง (ธนุศักดิ์, 2543)

2.10.2.2. เพกติน

เพกตินจะทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเจลในผลิตภัณฑ์แยม (Oalkenfull, 1991) การใช้เพกตินในอาหารมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดเจล (Gelling agent) เพกตินมีสมบัติพิเศษคือ เมื่อรวมตัวกับน้ำตาล และกรดในปริมาณที่เหมาะสม เกิดเป็นเจลที่อ่อนนุ่ม ทำให้นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์แยม เยลลี่ เป็นสารที่ทำให้ข้นหนืด (Thickening agent) เป็น stabilizer ป้องกันการตกตะกอน (Sedimentation) ของนมเปรี้ยว (Acidified milk) โดยป้องกันการตกตะกอนโปรตีนเคซีน (Casein) เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ทำให้อิมัลชัน (Emulsion) คงตัว โดยลด แรงดึงผิวระหว่างเฟสของน้ำมันและน้ำ และเป็น Prebiotic เป็นอาหารของแบคทีเรียกลุ่ม Probiotic ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ร่างกาย เป็นส่วนผสมของ Functional food

เจล หมายถึง โครงสร้างของระบบคอลลอยด์ที่ไม่แสดงการไหล เป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยของเหลวและของแข็ง โดยมีของเหลวทำหน้าที่เป็นตัวกลางและของแข็งที่มีอยู่ในโครงสร้างทำหน้าที่ประสานกันเป็นร่างแห การเกิดโครงสร้างของเจลขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่างแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ด้วยกันเอง และระหว่างอนุภาคคอลลอยด์และสารที่เป็นของเหลว (Schmidt, 1981)

กลไกการเกิดเจลของเพกตินแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ (วาสนา, 2534)

1) เจลของเพกติน (Pectin Gel)

เป็นเจลที่เกิดจากเพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูง เพกตินมีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophillic) เมื่อละลายน้ำจะเกิดพันธะระหว่างเพกตินกับน้ำได้สารข้นหนืด เพกตินที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลส่วนใหญ่เกิดเป็นเอสเทอร์ ($-COOCH_3$) และส่วนน้อยจะเกิดเป็นคาร์บอกซิลอิสระ ($-COOH$) จะมีคุณสมบัติเป็นกรดอ่อน และจะแตกตัวมากขึ้นอยู่กับพีเอช ที่พีเอชสูงจะแตกตัวได้มากขึ้นให้ประจุที่ผลักรันเอง ทำให้โมเลกุลเรียงกันเป็นเส้นตรง ของเหลวจะหนืดแต่ไม่เกิดเจลขึ้น เจลจะเกิดได้เมื่อเพกตินมาเชื่อมเข้าด้วยกันตรงบริเวณที่เรียกว่า Junction Zone เกิดเป็น โครงสร้างร่างแหสามมิติเกิดขึ้น กรณีที่เกิดได้เมื่อมีการเติมน้ำตาลลงไปเพื่อดึงน้ำออก และเติมกรดเพื่อลดพีเอชให้อยู่ในช่วง 2.9-3.4 ทำให้กลุ่มคาร์บอกซิลลดการแตกตัวโมเลกุลของเพกตินจะเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็งที่มีความยืดหยุ่น กลุ่มโพลาร์ (Polar Groups) ของโมเลกุลของเพกตินที่อยู่ใกล้กัน จะเชื่อมต่อเข้ากันด้วยพันธะไฮโดรเจน (H-bonds) เกิดเป็นร่างแหสามมิติที่กักของเหลวไว้ภายใน ความแข็งแรงของเจลขึ้นกับความแข็งแรงและความต่อเนื่องของร่างแหของเพกติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เจลของแคลเซียมเพคเตต (Calcium Pectate Gel)

เจลชนิดนี้เกิดกับเพคตินที่มีกลุ่ม เมทอกซิลต่ำจะเกิดที่พีเอชสูงกว่าพวกแรกคือในช่วง 3.4-6.0 โดยร่างแหสามมิติเกิดขึ้นจากการที่ไอออน ของแคลเซียม (Ca^{2+}) หรือแมกนีเซียม (Mg^{2+}) เป็นตัวเชื่อมกลุ่มคาร์บอกซิลที่แตกตัวของโมเลกุลเพค ตินที่อยู่ใกล้กัน เกิดการพอร์มตัวของ Junction Zone ด้วยไอออนของแคลเซียมเพื่อเชื่อมสายโมเลกุลและมีการจัดรูปร่างใหม่ที่เรียกว่า Egg-Box Model เจลชนิดนี้สามารถเกิดได้แม้ว่าไม่มีน้ำตาลเลยก็ตาม โดยทั่วไปเจลชนิดนี้จะมีความแข็งน้อยกว่าเจลของเพคติน

คุณสมบัติในการเกิดเจลของสารผสมอาหารเป็นสิ่งสำคัญซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีลักษณะเนื้อสัมผัสแบบต่างๆรวมถึงคุณสมบัติในการเกิดเจลของสารผสมอาหารที่เติมลงไป เช่น กัมหรือไฮโดรคอลลอยด์ เป็นต้น ถึงแม้ว่าคุณภาพทางประสาทสัมผัสของอาหารจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีกายภาพขององค์ประกอบโดยรวม การศึกษาคุณสมบัติในการเกิดเจลและค่าความแข็งแรงของเจลที่ได้รับความนิยมทำกับสารที่ทำให้เกิดเจลมากกว่าการศึกษาคุณสมบัติของอาหารโดยตรง จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการคาดการณ์ว่าคุณภาพในด้านเนื้อสัมผัสของอาหารจะเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อเติมสารที่ทำให้เกิดเจลงั้นๆ ซึ่งนับเป็นข้อจำกัดในการนำผลการศึกษาที่ได้มาคิดสูตรอาหารหรือปรับสูตรอาหารที่มีองค์ประกอบหลายชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่ จะเป็นเจลของโพลีแซคคาไรด์หรือส่วนผสมที่เป็นผลไม้ไว้ (ปารีชาติ, 2545; ญาณินศิริ, 2547)

การเกิดเจลในผลิตภัณฑ์และลักษณะที่ดีของเจลที่เกิดขึ้น จะเกิดจากสมดุลขององค์ประกอบที่สำคัญทั้งสามอย่าง คือ

- 1) มีปริมาณเพคตินมากเพียงพอ
- 2) มีปริมาณน้ำตาล
- 3) มีปริมาณกรดเหมาะสม

ความเหมาะสมของปัจจัยทั้งสามจะทำให้ได้เจลที่แข็งแรงโดยเพคตินจะเป็นตัวโครงสร้างและเกี่ยวข้องกับความต่อเนื่องของโครงสร้างเจล ส่วนน้ำตาลและกรดจะมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง (กิตติพงษ์, 2536)

ในการเกิดเจลของเพคตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำนั้นขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณ Ca^{2+} ความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของน้ำตาล ปริมาณของเพคติน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการเกิดเจล และค่า gel strength ที่ต้องการ และเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง เพคตินที่มีค่าเมทอกซิลสูง (HMP) และเพคตินที่มีค่าเมทอกซิลต่ำ (LMP) ลักษณะการใช้งานจะแตกต่างกัน กล่าวคือเพคตินเมทอกซิล สูงจะทำให้เกิดเจลได้เฉพาะในระบบที่มีน้ำตาลและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรดเป็นองค์ประกอบอยู่ยิ่งในระบบมีปริมาณน้ำตาลและค่าความเป็นกรดมากขึ้นก็จะทำให้ความแข็งแรงของเจลเพกตินเพิ่มขึ้นเท่านั้น และการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำอย่างช้าๆ จะทำให้เจลมีความแข็งแรง ส่วนเพกตินเมทอกซิลต่ำเกิดเจลได้ในระบบที่มี Ca^{2+}

ในแง่ของผลิตภัณฑ์ กล่าวคือเพกตินเมทอกซิลสูง (HMP) เป็นเพกตินที่ใช้ในการผลิตแยม เยลลี่ ของวุ้นจำพวกเบเกอรี่ หรือ ขนมหวาน โดยทั่วไป ส่วนเพกตินเมทอกซิลต่ำ (LMP) นั้นจะใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีปริมาณน้ำตาลต่ำ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้นว่า เพกตินชนิดนี้สามารถเกิดเจลได้ดีโดยมีปริมาณน้ำตาลเพียงเล็กน้อย หรือไม่ใช้เลย ดังนั้น จึงมีความสำคัญกับผลิตภัณฑ์อาหารเช่น ผลิตภัณฑ์ลดน้ำหนักไม่เติมน้ำตาล (องอาจ, 2553)

2.10.2.3. น้ำตาล

น้ำตาลทรายหรือซูโครสเป็นน้ำตาลที่ประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์ 2 โมเลกุล คือ น้ำตาลกลูโคสต่อกับน้ำตาลฟรุกโตส น้ำตาลซูโครสไม่คงตัวในสารละลายที่เป็นกรดจะถูกไฮโดรไลซ์ได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตส และถ้าได้รับความร้อนถึงอุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวได้เป็นคาราเมล (นิธิยา, 2551) ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสน้ำตาลซูโครสมีความสำคัญมากเพราะเมื่อถูกไฮโดรไลซ์จะได้เป็นน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสที่มีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน แต่สารละลายผสมของน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสที่ได้จากการไฮโดรไลซิสน้ำตาลซูโครสมี Specific rotation เป็น -20.4 จึงทำให้ได้ชื่อว่าเป็นน้ำตาลอินเวิร์ต (invert sugar) (นิธิยา, 2544)

น้ำตาลเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตแยม น้ำตาลทำให้เกิดโครงสร้างเจล นอกจากนี้ยังให้รสหวานแก่ผลิตภัณฑ์แยมอีกด้วย น้ำตาลส่วนใหญ่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์คือ ซูโครส และน้ำตาลจะช่วยทำให้เกิดเจลโดยการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับ โมเลกุลของเพกติน หรืออาจจะเป็นเนื่องจากน้ำตาลเป็นสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมาก จึงอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเพกตินเป็นอิสระ สามารถเกิดพันธะไฮดรอกซิลบนโมเลกุลเพกตินอื่นหรือบนส่วนอื่นของโมเลกุลเพกตินได้ นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยทำให้เกิดพันธะขึ้นระหว่างกลุ่มเมธิลเอสเทอร์ในโมเลกุลเพกตินอีกด้วย (นัยทัศน์, 2543) บางครั้งอาจมีการเติมน้ำเชื่อมกลูโคสแทนซูโครสได้ในปริมาณ 5-15 เปอร์เซ็นต์ การเติมน้ำเชื่อมกลูโคสจะช่วยลดการตกผลึกของซูโครส เพิ่มความแวววาว ป้องกันการแยกตัวของน้ำออกจากเจล และยังช่วยลดความหวานของผลิตภัณฑ์ลงไม่ให้หวานจนเกินไปด้วย (กิตติพงษ์, 2536)

2.10.2.4. กรด

ความเป็นกรดต่างของอาหาร เป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของอาหารซึ่งรวมถึงลักษณะเนื้อสัมผัส สี กลิ่นรสและอายุของการเก็บรักษา ในการแปรรูปอาหารถ้าใช้กรดในปริมาณที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเกินไปจะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารเสียไป เนื่องจากกรดจะไปย่อยองค์ประกอบของอาหาร ทำให้ผลิตภัณฑ์อาหารนั้นมีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เป็นไปตามที่ต้องการ กรดที่ใช้ในอาหารมีส่วนช่วยเพิ่มกลิ่นรสของอาหารด้วย เนื่องจากจะไปมีผลต่อปฏิกิริยาสำหรับความรู้สึกทำให้ผู้บริโภครู้สึกได้ถึงกลิ่นและรสชาติที่เกิดขึ้น และยังช่วยป้องกันสีคล้ำหรือปฏิกิริยาสีน้ำตาล สำหรับผลิตภัณฑ์แยมและเยลลี่นั้น กรดจะมีความสำคัญในการเกิดเจลจึงควรมีในปริมาณที่เหมาะสม (ศิวาพร, 2535)

กรดที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ประเภทแยมและเยลลี่นี้มักเป็นกรดอินทรีย์ที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติในผลไม้ ผลไม้ที่มีกรดต่ำอาจจะต้องเติมกรดลงไป กรดที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์คือ กรดซิตริก กรดทาร์ทาริกและกรดแลคติก กรณีที่ผลไม้มีกรดตามธรรมชาติมากเกินไปควรจะลดความเป็นกรดลงโดยการเติมเกลือที่มีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ (buffer) เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต โซเดียมซัลเฟต หรือโซเดียมซิเตรท เป็นต้น การใช้บัฟเฟอร์เหล่านี้จะต้องไม่ใช้ในปริมาณมากเกินไป เพราะจะมีผลต่อการเกิดเจลของเพกตินและอาจทำลายกรดแอสคอร์บิกที่มีอยู่

กรดจะช่วยในการเกิดเจลของเพกตินโดยในสถานะที่มีความเป็นกรดต่างสูง หมู่คาร์บอกซิลบนโมเลกุลของเพกตินจะแตกตัว ทำให้โมเลกุลมีประจุและเกิดการผลักกันระหว่างโมเลกุลที่มีประจุด้วยกัน จึงเกิดพันธะไฮโดรเจนยาก และไม่สามารถเกิดเจลได้ การมีกรดในระบบจะช่วยลดการแตกตัว จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนและเกิดเจลได้ง่ายขึ้น เพกตินชนิดเซ็ทตัวเร็วซึ่งมีค่า DM สูง จะมีการแตกตัวเกิดประจุบนโมเลกุลน้อยกว่า เพราะมีกลุ่มคาร์บอกซิลอิสระมากกว่า และต้องการปริมาณกรดในการเกิดเจln้อยกว่า (กิตติพงษ์, 2536)

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1. การศึกษาคุณลักษณะและผลผลิตของเพกตินที่ได้จากการสกัดจากเปลือกตาลดิบโดยใช้เอซิลแอลกอฮอล์ที่หมุนเวียนนำกลับมาใช้ซ้ำ

3.1.1. วัตถุดิบ

เปลือกตาลดิบ (Young sugar palm peel) จากจังหวัดเพชรบุรีที่เป็นส่วนเหลือทิ้งจากการปอกเอาลูกตาลอ่อนออกมาจำหน่ายที่ประกอบด้วยส่วนของเปลือกชั้นนอกมีลักษณะผิวเรียบเป็นมัน (Exocarp) และส่วนของเปลือกชั้นในมีลักษณะเป็นเนื้อและเส้นใยสีขาว (Mesocarp) ได้ถูกนำมาศึกษาหาปริมาณเพกตินที่มีอยู่ในเปลือกตาลดิบเพื่อเพิ่มมูลค่าของเปลือกตาลดิบและช่วยลดการนำเข้าเพกตินทางการค้าที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำจากต่างประเทศ

3.1.2. สารเคมี

- กรดไฮโดรคลอริก (HCl)
- คาร์บาซอล ($C_{12}H_9N$)
- กรดคาแลกทูโรนิก ($C_6H_{10}O_7 \cdot H_2O$)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (C_2H_5OH)
- น้ำกลั่น (Distilled water, H_2O)
- น้ำกลั่นปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ (Distilled water, carbon dioxide (CO_2) free)
- ฟีนอล์ฟทาลีน ($C_{20}H_{14}O_4$)
- เมธิลเรด ($(CH_3)_2NC_6H_4N$)
- กรดซัลฟูริก (H_2SO_4)

3.1.3. เครื่องมือ

- 1) เครื่องบดหยาบ (Hammer mill; Philip-Cucina, Indonesia)
- 2) ตู้อบแบบถาด (Tray dryer; Progress, Thailand)
- 3) ตู้อบลมร้อน (Hot air oven; Memmert, UM 400, Germany)
- 4) เครื่องชั่งละเอียด 2 และ 4 ตำแหน่ง (OHAUS, USA)
- 5) อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath; Memmert, WNB 7-45, Germany)
- 6) เครื่องระเหยสูญญากาศ (Buchi, R210, Switzerland)
- 7) เครื่องวัดสี (Hunter lab, Qouan XE, USA)

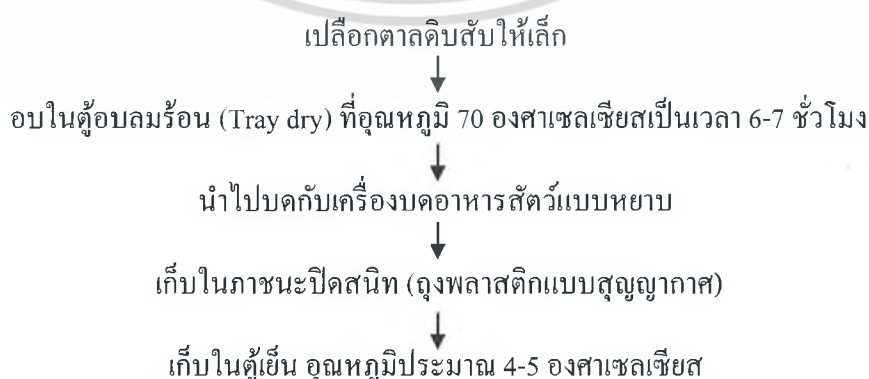
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8) เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer (UV-1601, Shimadzu, Japan)
- 9) เตาเผา (Nabertherm , LT40, Germany)
- 10) เครื่อง Vortex mixer (G560E, Scientific Industries, USA)
- 11) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (Mettler Toledo, Switzerland)
- 12) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 13) ชุดกรองสูญญากาศ
- 14) ผ้าขาวบาง
- 15) แท่งแก้ว
- 16) อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 17) อุปกรณ์เครื่องครัวพื้นฐาน
- 18) ไมโครปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร
- 19) บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร

3.1.4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1.4.1. การเตรียมวัตถุดิบ

เนื่องจากเปลือกตาลดดิบที่ปอกจากผลสดมีอายุการเก็บรักษาในตู้เย็นธรรมดาได้ไม่นาน ก็สามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 3-5 วัน เพราะมีความชื้นสูงกว่า 90% และมีจุลินทรีย์หลายชนิดที่เป็นสาเหตุของการทำให้เปลือกตาลดดิบเสียโดยจะเริ่มเสื่อมคุณภาพตั้งแต่การปอกเปลือก (ภัทธีรา, 2550) ดังนั้น เมื่อได้วัตถุดิบมาแล้วจึงต้องหาวิธีในการเก็บวัตถุดิบไว้ใช้ตลอดการทดลองในงานวิจัย เลือ่วิธีการทำแห้งและบดเป็นผง โดยนำเปลือกตาลดดิบมาทำความสะอาดด้วยการล้างทั้งหมด แล้วนำเปลือกตาลดดิบมาทำอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dry) จากนั้นนำมาบดหยาบ แล้วจึงนำไปเข้าเครื่องบดละเอียด (Hammer mills) และบรรจุด้วยระบบสูญญากาศในถุงพลาสติกชนิด โพลีเอทิลีน นำไปเก็บรักษาในภาชนะที่ปิดสนิท ในพื้นที่แห้ง และควบคุมอุณหภูมิ 4-5 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำมาใช้ในการทดลอง (ภาพที่ 3.1)



ภาพที่ 3.1 แผนภาพสำหรับการเตรียมผงเปลือกตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.2. เปรียบเทียบกระบวนการสกัดเพกตินทั้ง 3 กระบวนการสกัดคือ C, P และ PW โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติดังนี้

- 1) ปริมาณผลผลิตของเพกตินที่สกัดได้
- 2) คุณสมบัติทางเคมี ได้แก่ ระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชัน ปริมาณความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก และน้ำหนักสมมูล
- 3) คุณสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ สีและความหนืด

- *หมายเหตุ:
- กระบวนการสกัดแบบ C คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C)
 - กระบวนการสกัดแบบ P คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P)
 - กระบวนการสกัดแบบ PW คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation และ Washing, PW)

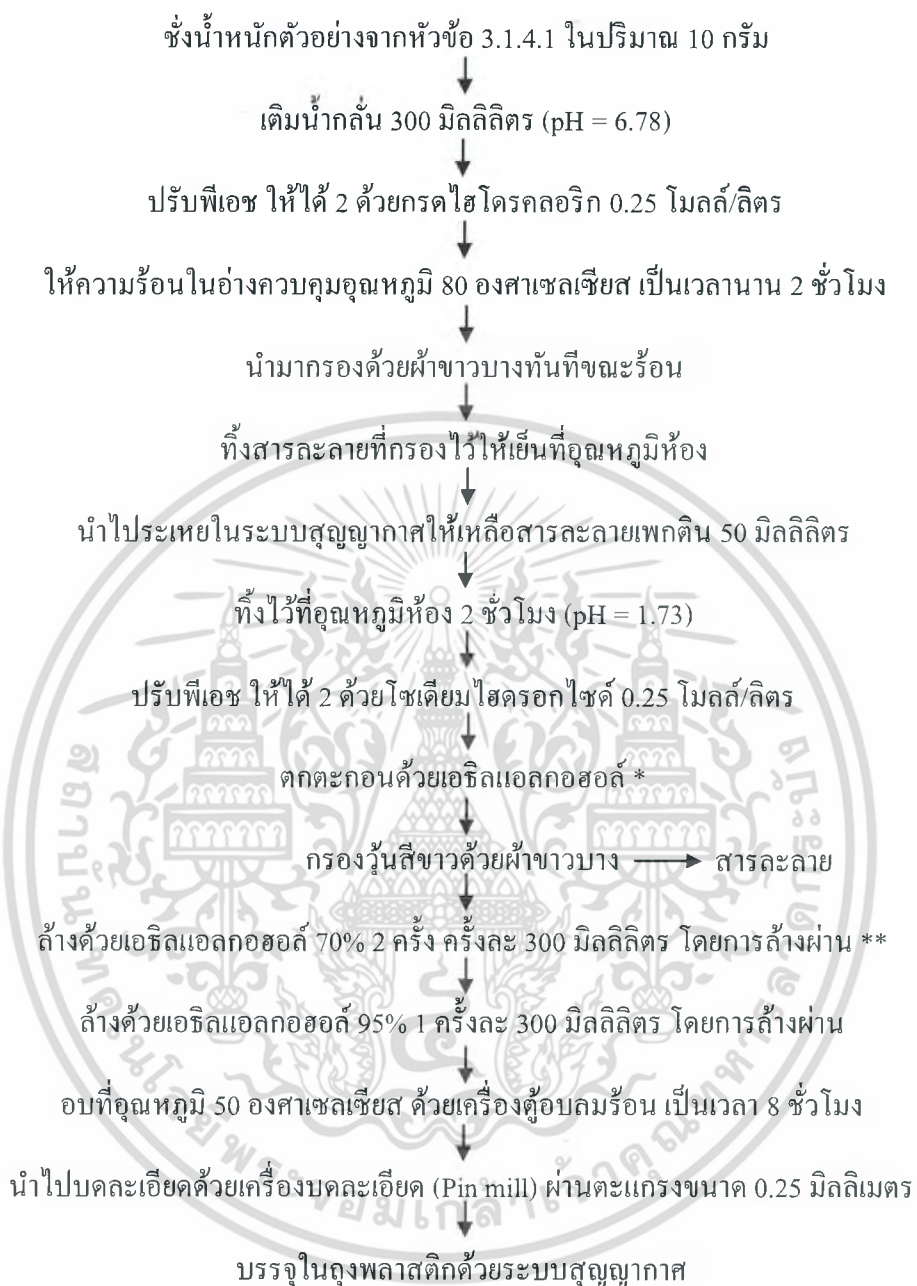
3.1.4.3. วิธีการสกัดเพกติน

สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกตินจากเปลือกตาลดิบนั้น พบว่าสภาวะที่ทำให้ได้ผลผลิตที่ดีที่สุดในการสกัดเพกติน คือ การใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก 0.25 โมลต่อลิตร ใช้เปลือกตาลดิบน้ำกลั่นในอัตราส่วน 10:300 w/v ปรับพีเอชให้ได้ 2 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.25 โมลต่อลิตร ต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาสกัด 120 นาที มีการเขย่าระหว่างให้ความร้อน โดยการสกัดเพกตินจากเปลือกตาลดิบนี้นี้ได้ตัดแปลงจากกรรมวิธีการสกัดเพกตินจากเนื้อตาลดิบและสุกของ (Rungrodnimitchai, 2011) ดังภาพที่ 3.2

โดยหลังจากนั้นให้นำปริมาณของเพกตินที่ได้จากการสกัดของเปลือกตาลดิบทั้ง 3 กระบวนการสกัด คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) มาคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้ (% Yield) ในหัวข้อ 3.1.4.4 โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ปริมาณผลผลิตเพกตินที่ได้ (\% Yield)} = \frac{\text{น้ำหนักเพกตินจากเปลือกตาลดิบที่ผลิตได้}}{\text{น้ำหนักเปลือกตาลดิบบดละเอียด}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการสกัดเพกติน

- *หมายเหตุ:
- สำหรับกระบวนการแบบทั่วไป C ใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% ส่วนกระบวนการทั้ง P และ PW ใช้เอซิลแอลกอฮอล์กลั่นนำกลับมาใช้ใหม่
 - สำหรับกระบวนการแบบ C และ P ใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% นำมาเจือจาง (70%) ส่วนกระบวนการแบบ PW ใช้เอซิลแอลกอฮอล์กลั่นนำกลับมาใช้ใหม่ (87%) นำมาเจือจาง (70%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กระบวนการสกัดแบบ C คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C)
- กระบวนการสกัดแบบ P คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P)
- กระบวนการสกัดแบบ PW คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation และ Washing, PW)

3.1.4.4. ใช้อัตราส่วนสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอน

ศึกษาอัตราส่วนของเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอนของเพกตินโดยใช้สารละลายเพกตินที่สกัดได้จากกระบวนการจากแผนภาพที่ 3.2 แล้วนำมาตกตะกอนด้วยสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 95% และเอธิลแอลกอฮอล์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ที่ผ่านมาผ่านกระบวนการกลั่นจากหัวข้อ 3.1.4.7 โดยใช้ปริมาณสารละลายเพกตินต่อปริมาณเอธิลแอลกอฮอล์ทั้ง 95% และเอธิลแอลกอฮอล์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design มี 2 ปัจจัยคือ กระบวนการสกัดเพกตินและอัตราส่วนเอธิลแอลกอฮอล์ต่อสารละลายเพกตินที่ใช้ในการตกตะกอน กระบวนการสกัดเพกตินจากเปลือกตาลดิมมีทั้งหมด 3 กระบวนการสกัด คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW)

อัตราส่วนสารละลายเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในขั้นตอนการตกตะกอน มีการทดลองที่ระดับ 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ 1:3 ตามลำดับ โดยคิดจากปริมาตรของสารละลายเพกตินที่มีการระเหยน้ำในระบบสูญญากาศออกไปบางส่วนจนเหลือปริมาตร 50 มิลลิลิตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ แล้วคำนวณหาปริมาณผลผลิตของเพกตินโดยใช้สูตรจากหัวข้อ 3.1.4.3

3.1.4.5. เปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีของเพกตินทั้ง 4 ชนิดคือ C, P, PW และเพกตินทางการค้าหมุ่มเมทอกซิลต่ำ

1) ระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชัน โดยวิธีของ Rangana (1977)

เลือกเพกตินที่มีอัตราส่วนระหว่างสารละลายเพกตินต่อเอธิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.1.4.4 คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) อัตราส่วน 1:1.5 เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) อัตราส่วน 1:2.5 และเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) อัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1:2.5 แล้วนำมาวิเคราะห์หาระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชัน โดยชั่งผงเพกตินใส่ในขวดชมพู เติม เอซิลแอลกอฮอล์ ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากคาร์บอน คนให้เข้ากันแล้วหยดฟีนอล์ฟทาลิน ไทเทรต ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ครั้งที่ 1 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ เขย่าทิ้งไว้ 15 นาที เติมกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.5 โมลาร์ เขย่าจนสีชมพูหาย เติมฟีนอล์ฟทาลิน แล้วนำไปไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนสีชมพูเริ่มปรากฏ บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ครั้งที่ 2 ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์อย่างละเอียดเป็นไปตามที่ระบุไว้ในภาคผนวก ก แล้วจึงคำนวณได้จาก สูตรการหาค่าเปอร์เซ็นต์ DE (Degree of esterification, %DE)

$$\% \text{ DE} = \frac{\text{NaOH valume 2}}{\text{NaOH valume 1} + \text{NaOH valume 2}} \times 100$$

ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ และกำหนดให้มี 1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลกับ ตัวอย่าง คือ ระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชัน โดยให้วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) และเปรียบเทียบระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชันของ เพกตินที่สกัดได้จากทั้ง 3 กระบวนการกับเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต่ำจากโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 16 โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) หาปริมาณความชื้นของเพกตินด้วยวิธีของ AOAC (1990)

เลือกเพกตินที่มีอัตราส่วนระหว่างสารละลายเพกตินต่อเอซิลแอลกอฮอล์ ที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.1.4.4 คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) อัตราส่วน 1:1.5 เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการ ตกตะกอน (Precipitation, P) อัตราส่วน 1:2.5 และเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและล้าง (Precipitation and Washing, PW) อัตราส่วน 1:2.5 แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นโดยนำ Aluminium can ออบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ใส่ใน Aluminium can นำไปอบใน ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่ ปิดฝาและทิ้งไว้ในเย็นใน โถดูดความชื้น (Desiccator) จากนั้นชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสูตรการ คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นในตัวอย่าง} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยมี 1 ปัจจัยคือ ปริมาณความชื้น วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยเปรียบเทียบปริมาณความชื้นของเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัดกับเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต่ำ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 16 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3) หาปริมาณความถ้ำของเพกตินด้วยวิธีของ AOAC (1990)

เลือกเพกตินที่มีอัตราส่วนระหว่างสารละลายเพกตินต่อเอทิลแอลกอฮอล์จากหัวข้อที่ 3.1.4.4 คือ เพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) อัตราส่วน 1:1.5 เพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) อัตราส่วน 1:2.5 และเพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) อัตราส่วน 1:2.5 แล้วนำมาวิเคราะห์หาโดยเผาด้วยกระเบื้องที่แห้งและสะอาดในเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนชั่งตัวอย่างที่บดแล้วประมาณ 3.0000 กรัมใส่ในถ้วยกระเบื้อง เผาตัวอย่างบน Hot plate นำไปเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 - 4 ชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาวหรือสีเทา จากนั้นทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วยกระเบื้องหลังเผา โดยวิธีการวิเคราะห์ดังกล่าวแล้วจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้าในตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้าในตัวอย่าง} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังเผา} - \text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์}} \times 100$$

โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ กำหนดให้มี 1 ปัจจัย คือ ปริมาณเถ้า โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) และเปรียบเทียบปริมาณเถ้าของเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัดกับเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต่ำ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 16 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4) หาปริมาณกรดกาแลกทูโรนิกของเพกตินด้วยวิธีของ Rangana (1977)

เลือกเพกตินที่มีอัตราส่วนระหว่างสารละลายเพกตินต่อเอทิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.1.4.4 คือ เพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) อัตราส่วน 1:1.5 เพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) อัตราส่วน 1:2.5 และเพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) อัตราส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1:2.5 แล้วนำมาวิเคราะห์หากรดกาแลกทูโรนิกโดยชั่งน้ำหนักเพกติน 0.01 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปีเปตสารละลายปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ปีเปตสารละลายมา 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรให้เป็น 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ปีเปตสารละลายจากขวดปรับปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาดกลางหลอดละ 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 12 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 25 นาที นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร คำนวณโดยใช้สมการเส้นตรงที่ได้จากกราฟมาตรฐาน $y = ax + b$

โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) โดยเปรียบเทียบปริมาณกรดกาแลกทูโรนิกของเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัดกับเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 16 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

5) หาน้ำหนักสมมูลของเพกตินด้วยวิธีของ Rangana (1977)

เลือกเพกตินที่มีอัตราส่วนระหว่างสารละลายเพกตินต่อเอธิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.1.4.4 คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) อัตราส่วน 1:1.5 เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) อัตราส่วน 1:2.5 และเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) อัตราส่วน 1:2.5 แล้วนำมาวิเคราะห์หาน้ำหนักสมมูลของเพกตินโดยชั่งผงเพกตินน้ำหนัก 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่นที่ไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เพกตินละลาย เติมโซเดียมคลอไรด์ลงไป 1 กรัม แล้วหยดฟีนอลเรดิเคชันอินดิเคเตอร์ 6 หยด นำไปไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N จนกระทั่งอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้ คำนวณน้ำหนักสมมูลโดยใช้สูตรดังนี้

$$\text{น้ำหนักสมมูลของเพกติน} = \frac{1.000 \times S}{NV}$$

NV

- *หมายเหตุ:
- S คือ น้ำหนักแห้งเพกตินที่ใช้ (กรัม)
 - N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรท (นอร์มัล)
 - V คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไตเตรท (มิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทำการทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ กำหนดให้มี 1 ปัจจัย คือ น้ำหนักสมมูล โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเปรียบเทียบน้ำหนักสมมูลของเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัดและเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 16 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.1.4.6. เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของเพกตินทั้ง 4 ชนิดคือ C, P, PW และเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ

1) วัดค่าสีของเพกตินโดยใช้เครื่อง Hunter lab colour Quest XE

เลือกเพกตินที่มีอัตราส่วนระหว่างสารละลายเพกตินต่อเอทิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.1.4.4 คือ เพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) อัตราส่วน 1:1.5 เพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) อัตราส่วน 1:2.5 และเพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) อัตราส่วน 1:2.5 แล้วนำมาวัดค่าสีโดยทำการ Standardize โดย Tile วางแผ่นสีค่าลง บน Port แล้วกด ok หน้าจอจะขึ้นข้อความ Rready to read white tile วางแผ่นสีขาวลงบน Port แล้วกด ok หน้าจอจะขึ้นข้อความ Sensor successfully Std. ให้กด ok วางตลับวัดสีที่มีตัวอย่างในช่องสำหรับวางตัวอย่าง กด Read sample เมื่อเครื่องวัดค่าสีเรียบร้อย ให้หมุนตัวอย่างแล้วกด Read sample ทำซ้ำ 10 ครั้ง ค่าวัดสีที่ได้จะแสดงอยู่ในรูป ค่า L^* , a^* และ b^* นำค่า L^* , a^* และ b^* ที่ได้จากการวัดสีด้วยเครื่อง Hunter Lab colour Flex มาคำนวณให้อยู่ในรูป Hue angle และ Chroma สำหรับค่า Chroma เป็นค่าแสดงความบริสุทธิ์ของสี โดยเมื่อ Plot กราฟระหว่างค่า a^* (แกน x) และ b^* (แกน y) ค่า Chroma คือความยาวของเส้นกราฟ โดยกราฟที่มีความยาวมาก แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีความบริสุทธิ์ของสีมาก นำค่า Hue และ ค่า Chroma

โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทำการวัดตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดยเปรียบเทียบค่าสีของเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัดและเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 16 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2) วัดความหนืดของเพกตินตามวิธีของ Brookfield viscosity

เลือกเพกตินที่มีอัตราส่วนระหว่างสารละลายเพกตินต่อเอทิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมจากหัวข้อที่ 3.3.4 คือ เพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) อัตราส่วน 1:1.5 เพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) อัตราส่วน 1:2.5 และเพกตินจากการใช้เอทิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) อัตราส่วน 1:2.5 แล้วนำมาวัดความหนืดโดยเตรียมสารละลายเพกตินที่มีความเข้มข้น 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 และ 1.8% โดยละลายผงเพกตินในน้ำอุ่นปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร นำตัวอย่างสารละลายเพกติน ความเข้มข้น 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 และ 1.8% ปรับอุณหภูมิให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer บันทึกค่าความหนืดมีหน่วยเป็น เซนติพอยส์ (Centipoise, cPs)

โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการวัด 3 ครั้งจากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยวางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.1.4.7. วิธีการกลั่นเอธิลแอลกอฮอล์

นำเอธิลแอลกอฮอล์ที่ได้มาจากการรวบรวมเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการสกัดเพกตินจากเปลือกตาลดดิบ ไปกลั่นในห้องปฏิบัติการด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 175 มิลลิบาร์

3.1.4.8. ความเข้มข้นของเอธิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านกระบวนการสกัดและแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่

ศึกษาการนำแอลกอฮอล์ที่ผ่านกระบวนการสกัดจากหัวข้อที่ 3.1.4.3 โดยเก็บรวบรวมเอธิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านกระบวนการสกัดในถังเก็บแอลกอฮอล์ นำเอธิลแอลกอฮอล์ไปกลั่นตามหัวข้อที่ 3.1.4.7 โดยกลั่นทั้งหมด 3 ครั้ง จากนั้นนำไปวัดความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ด้วยเครื่องอีบูลิโอมิเตอร์ (EBulliometer)

3.1.4.9. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลสถิติตามแผนการทดลองในแต่ละหัวข้อ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สถิติสำเร็จรูปโดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติที่ 95% ($P \leq 0.05$)

3.2. การใช้เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำสกัดจากเปลือกตาลดดิบในแยมเคลอรีต้า

3.2.1. วัตถุประสงค์

ใช้สารสกัดเพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ (Conventional process; C) และเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation; P) จากเปลือกตาลดดิบเหลือทิ้งจากจังหวัดเพชรบุรี ในหัวข้อ 3.1.4.3 มาใช้ในการทดลอง

3.2.2. สารเคมี

Low methoxyl pectin (Pomona's Universal Pectin, USA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sucrose (Food grade)
- Mono-Calcium phosphate (Food grade)
- Citric acid (Food grade)

3.2.3. เครื่องมือ

- 1) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath; DAIHAN Scientific, Korea)
- 2) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Mettler ML204, Switzerland)
- 3) เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Pioneer, USA)
- 4) Magnetic stirrers และ Stirring bars (IKA-Werke GmbH, Germany)
- 5) เตาไฟฟ้า (Hot plate)
- 6) Thermometer
- 7) กระจายกรองเบอร์ 4
- 8) อุปกรณ์เครื่องแก้ว
- 9) อุปกรณ์เครื่องครัวพื้นฐาน
- 10) เครื่องวัดความหนืด (Brookfield DV-III, USA)
- 11) เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer TA-XT2i, England)
- 12) เครื่องวัดค่าสี (Minolta CR400, Japan)
- 13) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter Suntex, Switzerland)
- 14) เครื่องวัดของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Hand Refractometer ATAGO, Japan)

3.2.4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.4.1. การศึกษาอิทธิพลของเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต่ำและโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจล ร่วมกับการใช้น้ำตาล

ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของเพกติน ปริมาณแคลเซียมและปริมาณน้ำตาลที่ระดับแตกต่างกันเพื่อศึกษาการเกิดเจลที่มีความแตกต่างกันในด้านความแข็งแรงเจล โดยนำเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต่ำ มาวิเคราะห์ความแข็งแรงเจล 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.3, 0.6 และ 0.9 มาละลายในน้ำที่ปราศจากไอออน (DI-water) ให้ความร้อนจนเพกตินละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนจะนำมาผสมกับน้ำตาลซูโครสที่ความเข้มข้น 2 ระดับ คือ ร้อยละ 0 และ 33 ร่วมกับการใช้สารละลายโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 คนให้ละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเป็น 3.0-3.3 ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องนาน 18 ชั่วโมง ก่อนทำทดสอบความแข็งแรงเจลด้วยเครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Analyzer) ใช้หัววัดแบบทรงกระบอก (Cylinders) P0.5R โดยกดลงบนตัวอย่างลงไป 4

มิลลิเมตร กำหนดจุดอ้างอิงที่กำหนด คือ ที่จุดสัมผัสระหว่างหัววัดกับตัวอย่างให้เป็นระยะที่ 0 วัดค่าความแข็งแรงของเจล 3 จุดของแต่ละซ้ำ อ่านค่าบันทึกเป็นนิวตัน (N)

วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial in Randomized Complete Block Design (Factorial in RCBD) โดยมีปัจจัย คือ เพกตินที่ความเข้มข้น 3 ระดับ ความเข้มข้นของน้ำตาล 2 ระดับ และความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต 3 ระดับ ทำการทดลองเป็น 3 ซ้ำ นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปัจจัยหลักด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.4.2. การศึกษาอิทธิพลของเพกตินร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่มีผลต่อค่าความหนืด

ศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของเพกติน C และเพกติน P เพื่อเปรียบเทียบกับเพกติน LM เมื่อปริมาณ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ระดับแตกต่างกัน นำไปเปรียบเทียบกับความชอบของผู้บริโภค โดยนำเพกติน LM เพกติน C และเพกติน P มาวิเคราะห์ความหนืดโดยใช้ปริมาณตัวอย่างเพกตินทั้ง 3 ชนิด ชนิดละ 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.5 นำมาละลายในน้ำที่ปราศจากไอออน (DI-water) ให้ความร้อนจนเพกตินละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนจะนำมาผสมกับสารละลายโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ก่อนทดสอบความหนืดด้วยเครื่องวัดความหนืด (Viscometer, Brookfield DV III) หัววัดเบอร์ 18 อ่านค่าบันทึกเป็นเซนติพอยต์ (cP)

วิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้แผนการทดลองแบบ Factorial in Randomized Complete Block Design (Factorial in RCBD) โดยมีปัจจัย คือเพกติน 3 ชนิด ความเข้มข้น 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.5 และความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ทำการทดลองเป็น 3 ซ้ำ จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของปัจจัยหลักด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2.4.3. การศึกษาเปรียบเทียบแยมแกลอรีค่าที่ทำมาจากเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลค่าเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ (Conventional process; C) และเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation; P)

ศึกษาแยมทั้งหมด 6 สูตร โดยนำเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลค่า (LM) เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ (Conventional process; C) และ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation; P) มาเตรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แยมเคลอรีต้า โดยใช้สูตรพื้นฐานการทำแยมเคลอรีต้าของบริษัท Pomona's Universal Pectin, USA มาศึกษาโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มแรกเป็นแยมที่ไม่มีกรดเสริมน้ำตาลทราย และกลุ่มที่สองเป็นแยมที่มีการเติมน้ำตาลทรายในปริมาณต่ำ รวม 6 สูตรดังนี้

1) กลุ่มที่ 1 แยมปราศจากน้ำตาลทราย

สูตรที่ 1 หมายถึง ผลิตภัณฑ์แยมเคลอรีต้าจากpektin LM โดยไม่เติมน้ำตาลทราย (LM_0)

สูตรที่ 2 หมายถึง ผลิตภัณฑ์แยมเคลอรีต้าจากpektin C โดยไม่เติมน้ำตาลทราย (C_0)

สูตรที่ 3 หมายถึง ผลิตภัณฑ์แยมเคลอรีต้าจากpektin P โดยไม่เติมน้ำตาลทราย (P_0)

2) กลุ่มที่ 2 แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำ

สูตรที่ 4 หมายถึง ผลิตภัณฑ์แยมเคลอรีต้าจากpektin LM มีน้ำตาลทรายร้อยละ 33 (LM_{33})

สูตรที่ 5 หมายถึง ผลิตภัณฑ์แยมเคลอรีต้าจากpektin C มีน้ำตาลทรายร้อยละ 33 (C_{33})

สูตรที่ 6 หมายถึง ผลิตภัณฑ์แยมเคลอรีต้าจากpektin P มีน้ำตาลทรายร้อยละ 33 (P_{33})

ส่วนประกอบของแยมเคลอรีต้าดังแสดงตารางที่ 3.1 และวิธีการทำแยมทั้ง 6 สูตร ได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาพที่ 3.3 ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพบางประการของแยมเคลอรีต้า

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบสำคัญในการเตรียมแยมเคลอรีต้า

ส่วนประกอบ (ร้อยละ)	กลุ่มที่ 1 แยมปราศจากน้ำตาลทราย			กลุ่มที่ 2 แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำ		
	สูตรที่ 1 (LM_0)	สูตรที่ 2 (C_0)	สูตรที่ 3 (P_0)	สูตรที่ 4 (LM_{33})	สูตรที่ 5 (C_{33})	สูตรที่ 6 (P_{33})
สับปะรด	97.90	97.90	97.90	64.90	64.90	64.90
ผงpektinห่มู เมทอกซิลต้า	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
น้ำตาลซูโครส	0	0	0	33	33	33
โมโนแคลเซียม ฟอสเฟต	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50

*หมายเหตุ: ใช้กรดซิตริกเพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.0-3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสปีปะรด (อัตราส่วนสปีปะรด : น้ำ เป็น 45:30) ผสมกับน้ำให้เป็นเนื้อเดียวกัน

เตรียมผงเพกตินเมทอกซิลต่ำผสมน้ำตาลซูโครส จากนั้นนำผงเพกตินที่ผสมกับน้ำตาลซูโครสแล้ว เทลงในสปีปะรดที่ผ่านการปั่นแล้วนำไปให้ความร้อน คนให้ละลายจนมีอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส

ลดอุณหภูมิลงมาที่ 60 องศาเซลเซียส

เติมสารละลายโมโนแคลเซียมฟอสเฟตคนให้ส่วนผสมละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วเติม

สารละลายกรดซิตริก (ร้อยละ 50) ปรับความเป็นกรดค่าที่ 3.0-3.3 คนให้ละลายเข้ากัน

ได้แยมแคลอรีต่ำ นำไปบรรจุในแก้ว

ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 18 ชั่วโมง

ทำการทดสอบ

ภาพที่ 3.3 แผนภาพไหลแสดงขั้นตอนการเตรียมแยมแคลอรีต่ำ

- *หมายเหตุ: - กลุ่มที่ 1 แยมปราศจากน้ำตาลทราย (สูตรที่ 1-3)
- กลุ่มที่ 2 แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำ (สูตรที่ 4-6)

3.2.4.4. การวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของแยมแคลอรีต่ำ

ศึกษาผลของการใช้แพกติน C และเพกติน P เพื่อเปรียบเทียบกับเพกติน LM เมื่อมีการใช้น้ำตาลในผลิตภัณฑ์แยมพลังงานต่ำที่ระดับแตกต่างกันต่อการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งทำการทดสอบด้านการยอมรับของผู้บริโภค โดยใช้แบบสอบถามกับผู้บริโภคทั่วไปที่ยังไม่ผ่านการฝึกฝน 50 คน ใช้วิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic scaling) ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ บอกความชอบและไม่ชอบ ออกมาเป็นสเกลความชอบ (Hedonic scale) โดยเสนอตัวอย่างให้ผู้ทดสอบทีละ 1 ตัวอย่าง (Monadically serve, one at a time) โดยมีสเกลความชอบที่ใช้ คือ สเกลความชอบ 9 จุด คือ ชอบมากที่สุด ชอบมาก ชอบปานกลาง ชอบเล็กน้อย เฉยๆ ไม่ชอบเล็กน้อย ไม่ชอบปานกลาง ไม่ชอบมาก และไม่ชอบมากที่สุด ทดสอบลักษณะของแยมแคลอรีต่ำได้แก่ สี กลิ่น สปีปะรด ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏ ลักษณะการทาสชาติ และความชอบโดยรวม จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาประเมินความยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์แยมแคลอรีต่ำ แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แยมแคลอรีต่ำดังแสดงในภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.5. การวิเคราะห์ทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพบางประการของแยมเคลอรีต้า

- 1) การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแยมเคลอรีต้า
- 2) การวิเคราะห์ค่าสีของแยมพลังงานต่ำ
- 3) การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด
- 4) การวิเคราะห์ความเป็นกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (AOAC, 2000)
- 5) การวิเคราะห์ความเป็นกรด-ด่าง

3.2.4.6. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

สำหรับการวิเคราะห์ประสาทสัมผัสของแยมการทดลองเพื่อเปรียบเทียบแยมทั้ง 6 สูตร ด้วยแผนการทดลองบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Completely Block Design, RCBD) โดยให้ผู้ชิมเป็นบล็อก ส่วนการวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพวางแผนการทดลองเปรียบเทียบเป็นแยมทั้ง 6 สูตรด้วยแผนการทดลองสุ่มตลอด (Completely randomized design, CRD) โดยทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแยมทั้ง 6 สูตร ด้วยวิธี New Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

1.1. คุณสมบัติของเอริลแอลกอฮอล์ที่ผ่านกระบวนการกลั่นซ้ำ

กระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอริลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เอริลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการสกัดครั้งนี้ การตกตะกอน การล้างครั้งที่ 1 และการล้างครั้งที่ 2 เมื่อผ่านกระบวนการสกัดจะเก็บรวบรวมไว้ในถังเก็บเอริลแอลกอฮอล์ เอริลแอลกอฮอล์ที่ผ่านกระบวนการสกัดมีความเข้มข้น 75% เมื่อนำไปกลั่นด้วยเครื่อง Evaporator rotary ที่ความดัน 72 มิลลิบาร์ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่าการกลั่นเอริลแอลกอฮอล์ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($P>0.05$) โดยมีความเข้มข้นของเอริลแอลกอฮอล์เท่ากับ 87.00 และ 87.66% ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.1 แต่เมื่อกลั่นครั้งที่ 3 กลับพบว่ามีปริมาณความเข้มข้นของเอริลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยมีปริมาณความเข้มข้นของเอริลแอลกอฮอล์เท่ากับ 88.66% (ตารางที่ 4.1) ดังนั้นในศึกษาวิจัยนี้จึงเลือกการกลั่นเอริลแอลกอฮอล์จำนวน 1 ครั้ง เนื่องจากการกลั่นแต่ละครั้งใช้เวลานานอีกทั้งการกลั่นครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 มีปริมาณความเข้มข้นของเอริลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความเข้มข้นของเอริลแอลกอฮอล์

เอริลแอลกอฮอล์	จำนวนครั้ง			
	เอริลแอลกอฮอล์ ใช้แล้ว	กลั่นครั้งที่ 1	กลั่นครั้งที่ 2	กลั่นครั้งที่ 3
ความเข้มข้นของเอริลแอลกอฮอล์ (%)	75.00±0.57 ^a	87.00±0.57 ^b	87.66±0.57 ^b	88.66±0.57 ^c

*หมายเหตุ: ^{abc} หมายถึง ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$)

1.2. ผลของอัตราส่วนของสารละลายเพกตินต่อเอริลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอน

เมื่อนำแอลกอฮอล์กลั่นจากหัวข้อ 4.1 มาทดลองใช้ในการตกตะกอน และการล้างเพกติน โดยเพกตินที่สกัดได้มีทั้งหมด 3 ชนิดด้วยกัน คือ เพกตินจากการใช้เอริลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C), เพกตินจากการใช้เอริลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และเพกตินจากการใช้เอริลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) โดยผลของการศึกษา

อัตราส่วนของเอริลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอนเพกตินด้วยสารละลายเพกตินที่สกัดได้จากเอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุญาตใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการสกัด (ภาพที่ 3.2) แล้วนำมาตกตะกอนด้วยเอซิลแอลกอฮอล์ 95% หรือเอซิลแอลกอฮอล์ที่นำกลับมาใช้ใหม่นั้นจะแล้วแต่กรณี ทั้งนี้ได้กำหนดให้มีการใช้สารละลายเพกตินต่อปริมาณเอซิลแอลกอฮอล์เป็น 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ 1:3

จากการทดลองพบว่าในกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) ที่อัตราส่วน 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ 1:3 นั้นได้ปริมาณผลผลิตเพกตินเท่ากับ 10.38, 13.65, 13.66, 13.65 และ 13.64%w/w ตามลำดับ อัตราส่วนระหว่างสารละลายเพกตินต่อเอซิลแอลกอฮอล์ของกระบวนการสกัด C ที่เหมาะสมคือ 1:1.5 เนื่องจากถึงแม้จะใช้ปริมาณเอซิลแอลกอฮอล์น้อยกว่าแต่กลับได้ผลผลิตเพกตินที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) กับที่อัตราส่วน 1:2, 1:2.5 และ 1:3 ดังตารางที่ 4.2

อัตราส่วนของกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) ที่อัตราส่วน 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ 1:3 ได้ปริมาณผลผลิตเพกตินเท่ากับ 3.53, 3.57, 4.80, 9.62 และ 9.97%w/w ตามลำดับ อัตราส่วนของกระบวนการสกัด P ที่เหมาะสมคือ 1:2.5 เนื่องจากใช้ปริมาณเอซิลแอลกอฮอล์ที่น้อยกว่าอัตราส่วน 1:3 แต่กลับได้ผลผลิตของเพกตินที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติก็พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกระบวนการสกัด C ที่ได้ผลผลิตของเพกตินน้อยกว่าและใช้เอซิลแอลกอฮอล์ที่นำกลับมาใช้ใหม่มากกว่าอาจจะมีปริมาณความเข้มข้นของเอซิลแอลกอฮอล์ในการตกตะกอนไม่เท่ากันจึงได้ผลผลิตของเพกตินที่น้อยกว่ากระบวนการสกัด C ดังตารางที่ 4.2

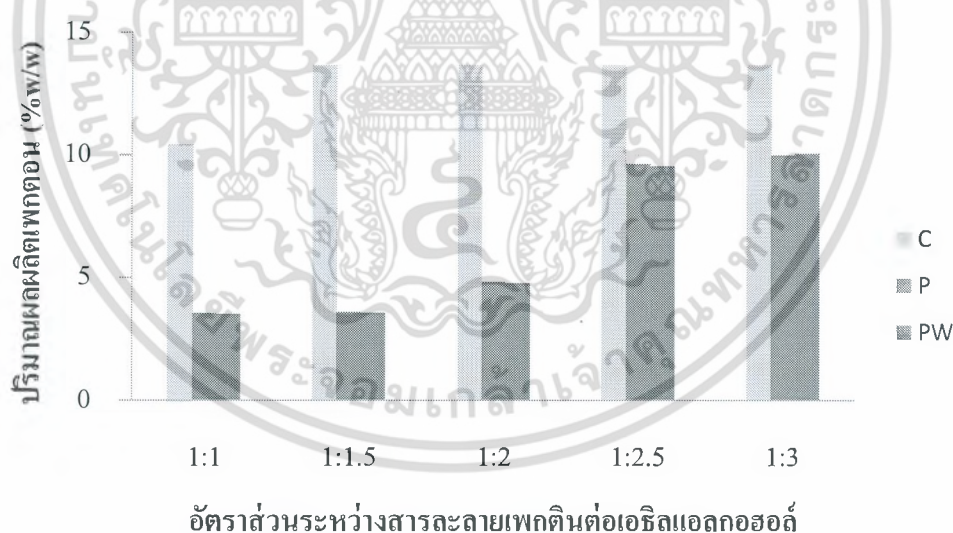
อัตราส่วนของกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) ที่อัตราส่วน 1:1, 1:1.5, 1:2, 1:2.5 และ 1:3 ได้ปริมาณผลผลิตเพกตินเท่ากับ 3.50, 3.54, 4.75, 9.52 และ 10.04%w/w ตามลำดับ อัตราส่วนระหว่างสารละลายเพกตินต่อเอซิลแอลกอฮอล์ของกระบวนการสกัด PW ที่เหมาะสมคือ 1:3 เนื่องจากได้ปริมาณผลผลิตเพกตินมากที่สุด แต่เมื่อนำมาใช้ในทางปฏิบัติจะคำนึงถึงปริมาณการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ที่น้อยและได้ผลผลิตมากจะใช้อัตราส่วนสารละลายเพกตินต่อเอซิลแอลกอฮอล์ที่ 1:2.5 เพราะว่ามีผลผลิตที่ใกล้เคียงกับอัตราส่วน 1:3 เมื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอนต่อสารละลายเพกติน

อัตราส่วนระหว่าง สารละลายเพกตินต่อ เอธิลแอลกอฮอล์	ผลผลิตจากวิธีการสกัดเพกตินทั้ง 3 กระบวนการ (%)		
	C	P	PW
1:1	^A 10.38±0.26 ^b	^B 3.53±0.27 ^c	^B 3.50±0.27 ^d
1:1.5	^A 13.65±0.32 ^a	^B 3.57±0.26 ^c	^B 3.54±0.26 ^d
1:2	^A 13.66±0.36 ^a	^B 4.80±0.16 ^b	^B 4.75±0.17 ^c
1:2.5	^A 13.65±0.12 ^a	^B 9.62±0.27 ^a	^B 9.52±0.29 ^b
1:3	^A 13.64±0.31 ^a	^B 9.97±0.05 ^a	^B 10.04±0.14 ^a

*หมายเหตุ: ^{A,B,C...} หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างวิธีการสกัดภายในอัตราส่วนเดียวกัน (แนวอน) ตัวอักษรที่กำกับต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

^{a,b,c...} หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างอัตราส่วนภายในวิธีการสกัดเดียวกัน (แนวตั้ง) ตัวอักษรที่กำกับต่างกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)



รูปที่ 4.1 อัตราส่วนของสารละลายเพกตินต่อเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการตกตะกอน

- *หมายเหตุ:
- C คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95%
 - P คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน
 - PW คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. คุณสมบัติทางเคมีของเพกติน

1.3.1. ระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชัน (Degree of esterification, DE)

เพกตินสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ 1). เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ (Low methoxyl, LM) 2). เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลสูง (High methoxyl, HM) เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ (LMP) เป็นสารเพกตินที่มีค่า %DE ต่ำกว่า 50% ส่วนใหญ่จะมีค่า DE อยู่ในช่วง 20-50% (May, 1997) เพกตินที่ได้จากเปลือกตาลดิบทั้ง 3 กระบวนการสกัดมีระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชันของเพกติน โดยนำปริมาณของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากการไทเทรตไปคำนวณหาค่าระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชันจะได้ระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชัน (ตารางที่ 4.3) โดยพบว่าเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัด คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) มีระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชัน 42.61, 41.76 และ 43.23% ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ดังตารางที่ 4.3 และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ (LMP) จะพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชันเท่ากับ 33.93% ดังนั้นเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 ชนิดจึงจัดเป็นเพกตินประเภท Low methoxyl pectin ได้ เนื่องจากค่าระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชันต่ำกว่า 50% (Sharma et.al., 2006) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Rungrodnimitchai (2011) ที่สกัดเพกตินจากเนื้อตาลดิบ โดยที่ใช้เพกตินชนิดที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์อยู่ในช่วง 29.3-41.1% หรือจากงานวิจัยของสุริศาและพูนศิริ (2555) ที่สกัดเพกตินจากจาวตาล โดยพบว่าได้เพกตินที่มีระดับการเกิดเอสเทอร์เท่ากับ 27.90% ซึ่งก็จัดเป็นเพกตินประเภทที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำเช่นเดียวกัน

1.3.2. ปริมาณความชื้นของเพกติน

ปริมาณความชื้นของเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัด คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) มีปริมาณความชื้นที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) มีค่าเท่ากับ 10.51, 10.57 และ 10.49%w/b แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ (LMP) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) มีค่าเท่ากับ 4.67%w/b ดังตารางที่ 4.3 เนื่องจากเพกตินควรมีความชื้นที่ต่ำที่สุดซึ่งอาจจะขึ้นอยู่กับการเก็บรักษา เพกตินที่มีความชื้นต่ำสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของเพกตินที่เกิดจากเอนไซม์เพกตินเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Muhamadzadeh *et al.*, 2010) ซึ่งปริมาณความชื้นของเพกตินที่ได้จากทั้ง 3 กระบวนการสกัดนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ ณรงค์ และเมธินี (2548) ที่ศึกษาการสกัดและสมบัติของเพกตินจากกากฝรั่งพันธุ์กลมสาสี่แล้วพบว่าปริมาณความชื้น 10.06%w/b หรือณรงค์ (2546) ก็ได้สกัดเพกตินจากกากฝรั่งได้ที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับ 10.06%w/b และในงานวิจัยของสุริดาและพูนศิริ (2555) ซึ่งสกัดเพกตินจากจาวตาลก็พบว่ามีปริมาณความชื้นที่ 12.13%w/b ซึ่งเพกตินที่สกัดได้โดยทั่วไปนั้นจะมีความชื้นตั้งแต่ประมาณ 10%w/b อย่างไรก็ตามปริมาณความชื้นที่วิเคราะห์ได้นี้ อาจจะไม่ทำให้เกิดเฉพาะจากกระบวนการการสกัดเพียงอย่างเดียวแต่ยังอาจขึ้นอยู่กับระดับการอบแห้งด้วย เช่น อุณหภูมิและระยะเวลาเป็นสำคัญ ดังนั้นในการควบคุมระดับความชื้นจึงอาจต้องคำนึงถึงการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ และระยะเวลาอบแห้งด้วย

1.3.3. ปริมาณเถ้าของเพกติน

ปริมาณเถ้าของเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัด คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) มีปริมาณความเถ้าที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) มีค่าเท่ากับ 4.70, 4.73 และ 4.71%w/w ตามลำดับ แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้าเมทอกซิลต่ำพบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 3.51%w/w ดังตารางที่ 4.3 อย่างไรก็ตามเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัดนี้ก็ยังมีปริมาณเถ้าไม่เกินมาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาที่กำหนดไว้ โดยมาตรฐานที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยากำหนดไว้ นั้นต้องไม่มากกว่า 10% และเพกตินส่วนใหญ่ที่สกัดด้วยวิธีทั่วไปก็มีปริมาณเถ้าไม่เกิน 10% ทั้งนี้การที่ปริมาณเถ้าของเพกตินมีค่าต่ำกว่า 10%w/w นั้นจะทำให้เกิดเจลและมีคุณภาพเจลที่ดี (MoHD *et al.*, 2012) และยังพบว่าผลการทดลองนี้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชวนิภูษ และคณะ (2548) ที่ได้ผลิตเพกตินจากเปลือกและกากส้มเหลืองซึ่งโดยมีปริมาณเถ้า 5.42%w/w ซึ่งก็ไม่เกินมาตรฐานที่สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยากำหนดไว้เช่นกัน โดยปริมาณเถ้านี้สามารถบ่งบอกว่าถึงปริมาณแร่ธาตุเจือปนอยู่ในเพกติน ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าเพกตินที่สกัดได้จากเอธิลแอลกอฮอล์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

1.3.4. ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกของเพกติน (Galacturonic acid, GA)

ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัด คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) ต้องคำนึงถึงความบริสุทธิ์ของเพกตินที่สกัดได้ สิ่งที่ยกถึงความบริสุทธิ์ของเพกติน คือ ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกในเพกติน โดยการหาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกต้องเปลี่ยนหมู่เมทอกซิลกาแลคทูโรนิกให้เป็นกาแลคทูโรนิกก่อนโดยการทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงจะได้ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกทั้งหมด

จากการทดลองพบว่าปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และมีค่าเท่ากับ 83.31, 75.54 และ 64.16%w/w ตามลำดับ ในงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าคุณภาพของเอซิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในขั้นตอนการตกตะกอนและขั้นตอนการล้างมีผลต่อความบริสุทธิ์ของเพกตินที่สกัดได้จากเปลือกตาลดขิบ โดยพบว่าในรายงานวิจัยผลการล้างตะกอนของเพกตินจากส้มด้วยแอลกอฮอล์ 10% นั้นจะมีค่ากรดกาแลคทูโรนิก 77.50% เท่านั้น ซึ่งต่ำการล้างด้วยแอลกอฮอล์ 53% ที่มีกรดกาแลคทูโรนิกถึง 92.50% (มาริษา, 2549) อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองครั้งนี้ที่ได้นำเอาเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัดมาเปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้า เมทอกซิลต่ำ จะพบว่าเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) นั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 63.94%w/w ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าเพกตินทางการค้านั้นมีการนำเอซิลแอลกอฮอล์ 95% ที่ผ่านกระบวนการสกัดแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ด้วย โดยการนำเอซิลแอลกอฮอล์ที่ผ่านการใช้แล้วกลับไปกลั่นเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของเอซิลแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะสามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการสกัดเพกตินใหม่ได้ (Wang *et al.*, 2002) เพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัดได้อยู่ในข้อกำหนดมาตรฐานของสำนักคณะกรรมการอาหารและยาที่กำหนดไว้ โดยมาตรฐานที่สำนักคณะกรรมการอาหารและยาที่กำหนดไว้นั้นต้องมีไม่น้อยกว่า 35% แสดงว่าความเข้มข้นของเอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งผ่านกระบวนการกลั่นแบบธรรมดาในหัวข้อที่ 3.1.4.7 นั้นมีความเข้มข้นของเอซิลแอลกอฮอล์ไม่เท่ากับเอซิลแอลกอฮอล์ใหม่ (ตารางที่ 4.1) ทำให้มีผลต่อขั้นตอนการล้างของเพกติน

1.3.5. น้ำหนักสมมูล (Equivalent weight)

น้ำหนักสมมูลของเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัด คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 1,282.20, 880.39 และ 849.28 ตามลำดับ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้าหุ่มเมทอกซิลต่ำพบว่ามือน้ำหนักสมมูลเท่ากับ 3,000.20 ดาลตัน ซึ่งปรากฏว่าเพกตินทางการค้าหุ่มเมทอกซิลต่ำมีน้ำหนักสมมูลมากกว่าเพกตินที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัด อันเนื่องมาจากการสกัดเพกตินด้วยกรดจะทำให้มีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) มากกว่าหมู่ (-COO⁻) ซึ่งหากมีการแตกตัวจะทำให้พีเอชต่ำหรือมีหมู่กรดมาก และส่งผลให้น้ำหนักสมมูลของสารต่ำ ส่วนเพกตินทางการค้าเมทอกซิลต่ำนั้นน้ำหนักสมมูลสูงกว่า แสดงว่ามีหมู่เมทอกซิลมากกว่าหมู่คาร์บอกซิล (ฉัตรชัย, 2550) อย่างไรก็ตามน้ำหนักสมมูลนั้นอาจจะขึ้นอยู่กับกระบวนการสกัดและปริมาณกรดที่ใช้ด้วย ดังนั้นน้ำหนักสมมูลที่ได้จึงมีค่าที่แตกต่างกันไปตามแต่ละวิธีการสกัดที่ใช้

ตารางที่ 4.3 สมบัติเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัด

สมบัติเพกติน (%)	สมบัติของเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัด (%)			เพกตินทางการค้า
	C	P	PW	
DE	42.61±2.27 ^a	41.76±2.00 ^a	43.23±0.26 ^a	33.93±0.07
ความชื้น	10.51±0.29 ^a	10.57±0.33 ^a	10.49±0.04 ^a	4.67±0.05
เถ้า	4.70±0.20 ^a	4.73±0.17 ^a	4.71±0.11 ^a	3.51±0.03
GA	83.31±2.25 ^a	75.54±0.96 ^b	64.16±0.96 ^c	63.94±1.18
น้ำหนักสมมูล	1,282.20±2.16 ^a	880.39±1.19 ^b	849.28±1.49 ^c	3,000.20±1.53

หมายเหตุ ^{a,b,c} หมายถึง ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

หมายเหตุ ; C คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95%

P คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน

PW คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง

เพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำใช้เป็นอ้างอิง

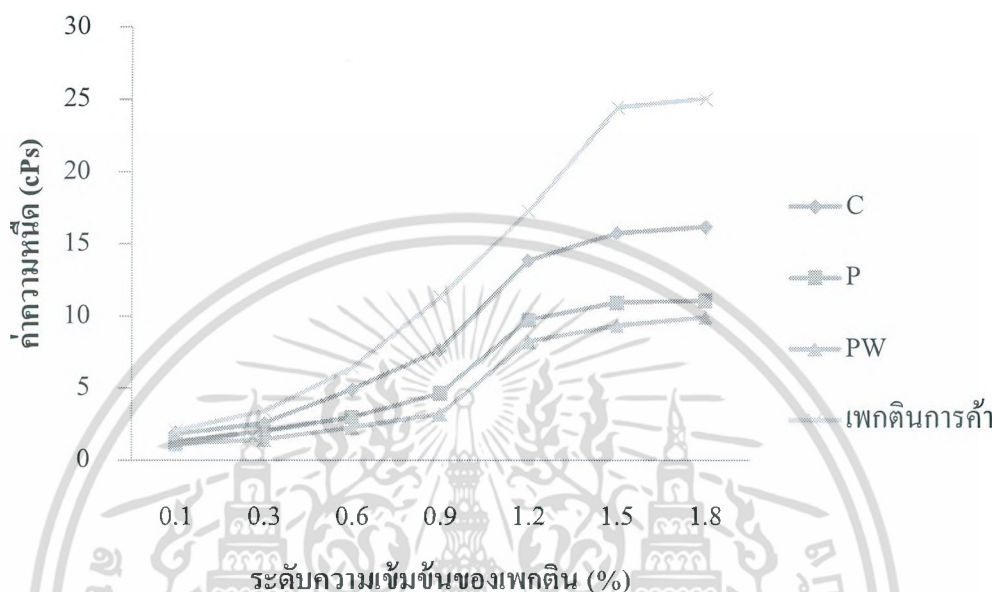
1.4. คุณสมบัติทางกายภาพของเพกติน

1.4.1. ความหนืดของเพกติน

ค่าความหนืดของเพกตินทั้ง 3 กระบวนการสกัด คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) ความหนืดของสารละลายเพกตินขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน แต่จากผลการทดลองพบว่าเมื่อถึงที่ระดับความเข้มข้น 1.5% ความเข้มข้นจะค่อยๆ คงที่ ดังภาพที่ 4.2 และเมื่อนำเพกตินทั้ง 3 ชนิดมาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่าเพกตินทั้ง 3 ชนิดที่ระดับความเข้มข้นเดียวกันนั้นจะมีความข้นหนืดที่แตกต่างกันไป



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและความเข้มข้นของเพกติน

- *หมายเหตุ: - C คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95%
 - P คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน
 - PW คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง

โดยจากการทดลองพบว่าเพกตินที่สกัดด้วยกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) ที่ระดับความเข้มข้น 1.5% มีความข้นหนืดเท่ากับ 15.76 cPs ในขณะที่เพกตินที่สกัดด้วยกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) มีค่าเท่ากับ 10.92 และ 9.34 cPs (ภาคผนวก ก-1) อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต่ำจะพบว่าเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต่ำที่ระดับความเข้มข้น 1.5% นั้นจะมีความข้นหนืดมากกว่าเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.42 cPs ทั้งนี้เนื่องจากเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต่ำมีค่าน้ำหนักสมมูลสูงกว่าเพกตินที่สกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัดจึงทำให้มีความขุ่นหนืดมากกว่า และจากงานวิจัยของ ณรงค์ (2546) ที่ได้มีการกล่าวไว้ว่าเพกตินที่มีค่าน้ำหนักสมมูลสูงจะมีผลทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าน้ำหนักสมมูลนั้นแปรผันตามความหนืด โดยค่าน้ำหนักสมมูลของเพกตินทั้ง 4 ชนิดมีค่าเท่ากับ 1,282.20, 880.39, 849.28 และ 3,000.20 ดาลตัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4.3) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าความหนืดที่วัดได้ โดยจากผลการทดลองและความสอดคล้องของงานวิจัยที่ได้กล่าวไปในข้างต้น จึงสามารถสรุปได้ว่าเพกตินที่ได้จากกระบวนการสกัดทั้ง 3 กระบวนการนี้จะต้องใช้เพกตินที่ระดับความเข้มข้นมากกว่าเพกตินทางการค้าหุ่เมทอกซิลต่ำจึงจะมีผลทำให้มีความขุ่นหนืดที่ใกล้เคียงกันได้

1.4.2. สีของเพกติน

การวัดค่าสีของเพกตินทั้ง 4 ชนิด คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) และเพกตินทางการค้าชนิดเมทอกซิลต่ำ แสดงในรูปของ L^* , a^* และ b^* ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า L^* ของเพกตินทั้ง 4 ชนิดมีค่าเท่ากับ 65.04, 64.81, 64.99 และ 82.99 ตามลำดับ (ภาคผนวก ข) โดยค่า a^* ที่แสดงถึงค่าสีแดง-สีเขียว มีค่าเท่ากับ 5.13, 6.26, 5.18 และ 3.19 ตามลำดับ ส่วนค่า b^* ที่แสดงถึงค่าสีเหลือง-สีน้ำเงิน มีค่าเท่ากับ 14.93, 17.12, 15.06 และ 14.78 ตามลำดับ (ภาคผนวก ข)

โดยเมื่อนำค่า a^* และ b^* ข้างต้น มาคำนวณ และแสดงเป็นค่า Hue angle ซึ่งเป็นค่ามุม (องศา) โดยค่า 0° เท่ากับ สีแดง, ค่า 90° เท่ากับสีเหลือง, ค่า 180° เท่ากับ สีเขียว และค่า 270° เท่ากับ สีน้ำเงิน จะพบว่าเพกตินทั้ง 4 ชนิด มีค่าเท่ากับ 71.05, 69.94, 70.80 และ 77.83 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเมื่อนำค่า a^* และ b^* ข้างต้น มาคำนวณและแสดงเป็นค่า Chroma ซึ่งเป็นค่าแสดงความบริสุทธิ์ของสี จะพบว่าค่า Chroma ของเพกตินทั้ง 4 ชนิด มีค่าเท่ากับ 15.78, 18.24, 15.92 และ 15.13 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4)

สำหรับค่าความสว่างของเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัด คือ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) พบว่ามีค่าความสว่างมีค่าเท่ากับ 65.04, 64.81 และ 64.99 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้าหุ่เมทอกซิลต่ำจะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยจะมีค่าเท่ากับ 82.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่าเพกตินที่สกัดด้วยกระบวนการสกัด P และ PW มีค่า Hue angle เท่ากับ 69.94 และ 70.80 องศา ตามลำดับ ซึ่งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และเพกตินที่สกัดด้วยกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) กับเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) ก็มีค่า Hue angle ที่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ส่วนเพกตินจากการสกัดโดยใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) และเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) พบว่ามีค่า Hue angle นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 71.05 และ 70.80 องศา ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างเพกตินทางการค้าหมูเมทอกซิลต่ำที่มีค่า Hue angle เท่ากับ 77.83 องศา ซึ่งมีค่ามากกว่าอย่างมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับเพกตินที่ได้จากกระบวนการสกัดทั้ง 3 กระบวนการสกัด

ค่า Chroma ของเพกตินจากกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) และ เพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) มีค่าเท่ากับ 15.78 และ 15.92 โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) เพกตินที่สกัดจากกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) มีค่า Chroma มากกว่ากระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) และเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) มีค่าเท่ากับ 18.24 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเพกตินทางการค้าหมูเมทอกซิลต่ำ จะพบว่ามีค่า Chroma น้อยกว่ากระบวนการสกัดเพกตินทั้ง 3 กระบวนการสกัดซึ่งมีค่าเท่ากับ 15.13

ทั้งนี้เมื่อนำค่า L^* , Hue angle และ Chroma มาจุดในวงล้อสี จะพบว่าเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการสกัดนั้นจะเป็นสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งอาจมีสาเหตุอันเนื่องจากสีของเปลือกตาลดิบที่ปนมาในระหว่างกระบวนการสกัด ดังนั้นเพื่อที่จะให้ผลที่ถูกต้องที่สุดจึงควรล้างตะกอนของเพกตินด้วยเอธิลแอลกอฮอล์ 95% หลายครั้งจนกว่าตะกอนของเพกตินไม่มีสี (ชานิภูงษ์ และคณะ, 2548)

ตารางที่ 4.4 ค่าสีของเพกตินทั้ง 4 ชนิด (L*, Hue angle และ Chroma)

ค่าสี	C	P	PW	เพกตินทางการค้า
L*	65.04±0.53 ^a	64.81±0.71 ^a	64.99±0.35 ^a	82.99±0.24
Hue	71.05±0.34 ^b	69.94±1.41 ^a	70.80±0.44 ^{ab}	77.83±0.04
Chroma	15.78±0.18 ^a	18.24±0.48 ^b	15.92±0.09 ^b	15.13±0.28

*หมายเหตุ: ^{a,b,c...} หมายถึง ตัวอักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P≤0.05)

**หมายเหตุ: - C คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95%
 - P คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน
 - PW คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้างเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลดำใช้เป็นอ้างอิง

1.5. ปริมาณการใช้และต้นทุนเอซิลแอลกอฮอล์ 95% ในกระบวนการสกัดเพกติน

ในกระบวนการสกัดเพกตินโดยวิธีทั่วไป (Conventional process, C) มีการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% ในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation) และการล้าง (ล้างครั้งที่ 1 และ 2) ดังตารางที่ 4.5 การสกัดวัตถุดิบ 10 กรัม ใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% รวม 892 มิลลิลิตร คิดเป็นเงิน 53.52 บาท (60 บาท/ลิตร) ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตเพกติน 13.65 กรัม ดังนั้นต้นทุนค่าเอซิลแอลกอฮอล์ 95% ต่อกรัมเพกตินจึงเท่ากับ 3.92 บาท

สำหรับกระบวนการสกัดเพกตินที่มีการทดแทนเอซิลแอลกอฮอล์ 95% ในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) ใช้ปริมาณเอซิลแอลกอฮอล์ 95% รวม 742 มิลลิลิตร คิดเป็นเงิน 44.52 บาท กระบวนการนี้จึงประหยัดค่าเอซิลแอลกอฮอล์ลงได้ 9.00 บาทต่อการสกัดวัตถุดิบ 10 กรัม ทำให้ได้ผลผลิต 0.96 กรัม เมื่อคิดต้นทุนค่าเอซิลแอลกอฮอล์ 95% ต่อกรัมเพกตินจึงอยู่ที่ 4.63 บาท ซึ่งสูงกว่ากระบวนการแรก (Conventional process, C) เล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อเอซิลแอลกอฮอล์กลั่นนำกลับมาใช้ ถูกนำไปใช้ทดแทนในกระบวนการสกัดทั้งสองขั้นตอน (ตกตะกอนและล้าง, PW) จะพบว่าสามารถลดต้นทุนการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% ต่อการสกัดวัตถุดิบ 10 กรัมเหลือเพียง 18.00 บาท หรือเมื่อเทียบกับกระบวนการโดยทั่วไป (Conventional process, C) จะประหยัดได้ถึง 35.52 บาท ซึ่งเมื่อคิดเป็นต้นทุนค่าเอซิลแอลกอฮอล์ 95% ต่อกรัมเพกตินแล้วจะพบว่าต่ำกว่ามาก โดยอยู่ที่เพียง 1.89 บาทต่อกรัมเท่านั้น

เอซิลแอลกอฮอล์ที่ใช้แล้ว 120 ลิตร สามารถนำมากลั่นได้เอซิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 87% ได้จำนวน 60 ลิตร โดยการกลั่นเอซิลแอลกอฮอล์ที่ใช้แล้วในแต่ละครั้งจะได้เอซิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 87% ครั้งละ 250 มิลลิลิตร ซึ่งใช้เวลาในการกลั่นเท่ากับ 45 นาทีต่อการกลั่น 1 ครั้ง ทั้งนี้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกลั่นที่ใช้ในการกลั่นเอธิลแอลกอฮอล์ประกอบด้วย หม้อต้ม ป้อน เครื่องหล่อเย็น และตัวควบคุมหม้อกลั่น และมีค่าพลังงานไฟฟ้าดังนี้ 1,700, 210, 746 และ 60 วัตต์ (W) ตามลำดับ เมื่อนำมาคำนวณพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย จะพบว่ามีค่าเท่ากับ 1.275, 0.1575, 0.5595 และ 0.045 หน่วย (Unit) ตามลำดับ ดังนั้นการกลั่นในแต่ละครั้งได้ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 2.037 หน่วย แต่มีจำนวนที่กลั่นทั้งหมดถึง 240 ครั้ง ซึ่งคำนวณได้ว่าในการกลั่นจำนวน 240 ครั้งนี้จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 488.88 หน่วย สำหรับการกลั่นเอธิลแอลกอฮอล์จำนวน 60 ลิตร โดยเมื่อคิดเป็นเงินจะมีมูลค่าเท่ากับ 858.253 บาท/60ลิตร (ภาคผนวกที่ ก-1)

ในกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) อัตราส่วนระหว่างสารละลายเพกตินต่อเอธิลแอลกอฮอล์ในการตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 1:2.5 ใช้เอธิลแอลกอฮอล์กลั่นในขั้นตอนการตกตะกอน 250 มิลลิลิตร (ตารางที่ 4.2) เมื่อคำนวณค่าไฟฟ้าต่อครั้งในการกลั่นมีราคาเท่ากับ 3.58 บาท และต้นทุนในการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95% ในกระบวนการสกัด P คิดเป็นเงินเท่ากับ 44.52 บาท ซึ่งเมื่อคิดเป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งหมดของเอธิลแอลกอฮอล์ 95% และเอธิลแอลกอฮอล์กลั่นต่อกรัมเพกตินจะสามารถคิดเป็นเงินได้เท่ากับ 5.00 บาท

แต่เมื่อนำเอธิลแอลกอฮอล์กลั่นนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) อัตราส่วนระหว่างสารละลายเพกตินต่อเอธิลแอลกอฮอล์ในการตกตะกอนที่เหมาะสมคือ 1:2.5 ต้องใช้เอธิลแอลกอฮอล์กลั่น 250 มิลลิลิตร (ตารางที่ 4.2) และในขั้นตอนล้างใช้เอธิลแอลกอฮอล์กลั่นมีความเข้มข้น 87.00% (ตารางที่ 4.1) นำกลับมาใช้ใหม่ในขั้นตอนการล้างครั้งที่ 1 ต้องใช้เอธิลแอลกอฮอล์กลั่น 482.76 มิลลิลิตร ซึ่งในกระบวนการสกัด PW นี้ใช้เอธิลแอลกอฮอล์กลั่นทั้งหมด 732.75 มิลลิลิตร เมื่อคำนวณค่าไฟฟ้าบ้านในการกลั่นเอธิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการสกัดเพกติน PW จะมีราคาเท่ากับ 10.48 บาท และต้นทุนทั้งหมดของเอธิลแอลกอฮอล์ในกระบวนการสกัด PW จะสามารถคิดเป็นเงินได้เท่ากับ 32.54 บาท ซึ่งเมื่อคิดต้นทุนค่าใช้จ่ายทั้งหมดของเอธิลแอลกอฮอล์ 95% และเอธิลแอลกอฮอล์กลั่นต่อกรัมเพกตินจะคิดเป็นเงินได้เป็น 2.99 บาท

ดังนั้นการนำเอธิลแอลกอฮอล์กลั่นมาใช้ในกระบวนการสกัด PW จึงสามารถลดต้นทุนการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ทั้งหมดต่อกรัมเพกตินจากกระบวนการสกัดทั่วไป (C) ได้ 23.92% และเมื่อนำเอธิลแอลกอฮอล์กลั่นมาใช้ในกระบวนการสกัด P พบว่ามีต้นทุนการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ทั้งหมดต่อกรัมเพกตินมากกว่ากระบวนการสกัดทั่วไป (C) มีค่าเท่ากับ 21.40% แสดงว่าการนำเอธิลแอลกอฮอล์กลั่นมาใช้ทดแทนในกระบวนการสกัด PW สามารถนำมาใช้ในกระบวนการสกัดเพกตินได้

ตารางที่ 4.5 ปริมาณการใช้และต้นทุนของเอซิลแอลกอฮอล์ 95% ในการสกัดทั้ง 3 กระบวนการ

ปริมาณการใช้/ต้นทุน	C	P	PW
ปริมาณการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95%			
- การตกตะกอน (มล.)	150	0	0
- ล้างครั้งที่ 1 (มล.)	442	442	0
- ล้างครั้งที่ 2 (มล.)	300	300	300
ปริมาณการใช้ทั้งหมด (มล.)	892	742	300
ต้นทุนการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (บาท)	53.52	44.52	18.00
ต้นทุนค่าการกลั่นเอซิลแอลกอฮอล์ (บาท)	0	3.58	10.48
รวมต้นทุนเอซิลแอลกอฮอล์ (บาท)	53.52	48.1	28.48
ต้นทุนเอซิลแอลกอฮอล์ 95% ต่อกรัมเพกติน (บาท)	3.92	4.63	1.89
ต้นทุนเอซิลแอลกอฮอล์ทั้งหมดต่อกรัมเพกติน (บาท)	3.92	5.00	2.99

**หมายเหตุ: - C คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95%
 - P คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน
 - PW คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้างเพกตินทางการค้าหมูเมทอกซิลต่ำใช้เป็นอย่างอื่น

1.6. การศึกษาอิทธิพลของเพกตินทางการค้าหมูเมทอกซิลต่ำและโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจลร่วมกับการใช้น้ำตาลทราย

การทดสอบลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลนั้นเมื่อพิจารณาคูสมบัติทางด้านรีโอโลยี (Rheological property) ของเจลแล้วการจะวัดหาลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลแสดงถึงความแข็งแรงของโครงสร้างเจล ปกตินิยมวัดในรูปหน่วยของแรงสูงสุดที่ใช้ไปมีหน่วยเป็นนิวตัน โดยใช้เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัสทางอาหาร (Giese, 1995; นราพร, 2543) จากการทดลองทำเจลจากเพกตินทางการค้าหมูเมทอกซิลต่ำ (LM) โดยควบคุมให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วง 3.0-3.1 แล้วจึงใช้ลักษณะเจลที่ได้รับนั้นเทียบกับการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยค่าความแข็งแรงเจลแสดงในตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณของเพกติน LM ความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.3, 0.6 และ 0.9 ใช้น้ำตาลทรายร้อยละ 0 และ 33 ร่วมกับโมโนแคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 มาวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัส ผลการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงเจล พบว่าเจลจากเพกติน LM มีค่าความแข็งแรงของเจลอยู่ระหว่าง 0.08-0.61 นิวตัน

เมื่อทำการวัดความค่าความแข็งแรงเจลของเพกติน LM ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ปราศจากน้ำตาลทราย (ตารางที่ 4.6) พบว่าค่าความแข็งแรงเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่ความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เงื่อนไขเบื้องต้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 1.5 ให้ค่าความแข็งแรงเจลสูงกว่าความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 1.0 เล็กน้อย ($P>0.05$) และมีความแข็งแรงเจลสูงกว่าความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 0.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 0.21, 0.19 และ 0.08 นิวตัน ตามลำดับ และจากภาพที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการใช้เพกติน LM ร้อยละ 0.3 ความหนืดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณโมโนแคลเซียมฟอสเฟต การใช้ น้ำตาลทรายมีผลให้ค่าความแข็งแรงเจลมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกระดับการทดลอง

เมื่อพิจารณาเพกติน LM ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.6 ปราศจากน้ำตาลทราย และน้ำตาลทรายร้อยละ 33 พบว่าค่าความแข็งแรงเจลมีแนวโน้มสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในทุกระดับความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต (ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ตามลำดับ) จากภาพที่ 4.4 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ใช้ น้ำตาลทรายที่ร้อยละ 0 และ 33 ค่าความแข็งแรงเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจาก น้ำตาลทรายเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของเพกติน โดยการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลทรายใน แยมสามารถลดการละลายของเพกตินได้ เนื่องจากน้ำตาลทรายเป็นสารช่วยคูดน้ำออกจากโมเลกุลของเพกตินทำให้การละลายของเพกตินน้อยลง เพกตินจึงเกิดเป็นร่างแหส่งผลให้เจลมีความแข็งแรงขึ้น (ไพบูลย์, 2532)

เมื่อพิจารณาเพกติน LM ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.9 ปราศจากน้ำตาลทราย และน้ำตาลทรายร้อยละ 33 พบว่าค่าความแข็งแรงเจลมีแนวโน้มสูงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ในทุกระดับความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต (ร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ตามลำดับ) เช่นเดียวกับการใช้เพกติน LM ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0.6 จากภาพที่ 4.5 ค่าความแข็งแรงเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตจากร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 ตามลำดับ ร่วมกับน้ำตาลทรายร้อยละ 0 และ 33 จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการเลือกใช้ปริมาณน้ำตาลทรายจึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสม ซึ่งเพกติน LM ปริมาณการใช้น้ำตาลทรายน้อยกว่าร้อยละ 45 โดยน้ำหนักหรืออาจใช้แคลเซียมไอออนในสภาวะความเป็นกรดค่าที่ 3.0-4.5 จึงจะเกิดเจลได้ ซึ่งเพกตินชนิดนี้เหมาะสำหรับผลิตแยม หรือเยลลี่ที่ให้พลังงานต่ำ (นิธิยา, 2544) โดยเพกติน LM สามารถเกิดเจลได้ในกรณีที่ไม่มีน้ำตาลทรายร่วมด้วยก็ได้แต่เมื่อมีน้ำตาลทรายที่ร้อยละ 33 จะเห็นว่าเจลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น อาจเกิดจากน้ำตาลทราย และเพกตินเกิดการเชื่อมข้าม (Cross link) ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างกลุ่มไฮดรอกซิลของโมเลกุลน้ำตาลทรายและโมเลกุลเพกติน (Oakenfull, 1991) หรืออาจเกิดเนื่องจากน้ำตาลทรายเป็น สารที่มีหมู่ไฮดรอกซิล มากจึงอาจเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลเพกตินเป็นอิสระสามารถเกิดพันธะไฮดรอกซิลบนโมเลกุลเพกตินอื่นได้ (กิตติพงษ์, 2536; Baker, 1996) จึงทำให้เจลที่มีการเติมน้ำตาลทรายร้อยละ 33 มีค่าความแข็งแรงเจลสูงกว่าในเจลที่ไม่เติมน้ำตาลทราย และจากการทดลองจะเห็นได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเพกติน ความเข้มข้นของโมโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมฟอสเฟต การใช้ เพกตินร่วมกับน้ำตาล การใช้เพกตินร่วมกับโมโนแคลเซียมฟอสเฟต และการใช้น้ำตาลร่วมกับโมโนแคลเซียมฟอสเฟตมีผลค่าความความแข็งแรงเจลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 4.6 อิทธิพลของผงเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลด้าและน้ำตาลทราย ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตต่อค่าความแข็งแรงของเจล

ความเข้มข้น ของเพกติน (ร้อยละ)	ความเข้มข้นของโมโน แคลเซียมฟอสเฟต (ร้อยละ)	ค่าความแข็งแรงเจล (นิวตัน)	
		ร้อยละ 0	ร้อยละ 33
0.3	0.5	0.08±0.02 ^f	0.19±0.03 ^f
	1.0	0.19±0.05 ^c	0.28±0.03 ^c
	1.5	0.21±0.03 ^c	0.32±0.04 ^d
0.6	0.5	0.22±0.04 ^c	0.27±0.03 ^c
	1.0	0.29±0.02 ^c	0.46±0.03 ^c
	1.5	0.35±0.03 ^b	0.55±0.02 ^b
0.9	0.5	0.26±0.04 ^d	0.32±0.03 ^d
	1.0	0.33±0.06 ^{bc}	0.56±0.04 ^b
	1.5	0.38±0.04 ^a	0.61±0.05 ^a

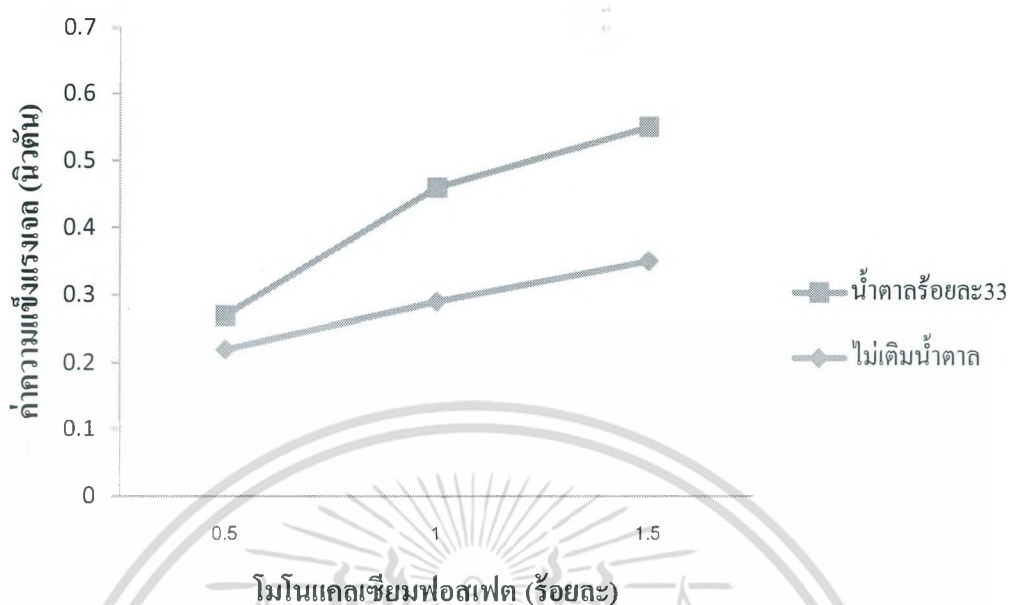
*หมายเหตุ: ^{a, b, c, d, e, f} อักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)



ภาพที่ 4.3 อิทธิพลของเพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลด้า (LM) ร้อยละ 0.3 และน้ำตาลทราย

ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตต่อค่าความแข็งแรงของเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 อิทธิพลของเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ (LM) ร้อยละ 0.6 และน้ำตาลทราย ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตต่อค่าความแข็งแรงของเจล



ภาพที่ 4.5 อิทธิพลของเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต่ำ (LM) ร้อยละ 0.9 และน้ำตาลทราย ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตต่อค่าความแข็งแรงของเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและน้ำตาลทรายมีผลต่อความแข็งแรงของเจล เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของเพกติน LM ที่ความเข้มข้นต่างๆ ก็มีผลเช่นเดียวกัน การใช้ปริมาณเพกติน LM ร้อยละ 0.3, 0.6 และ 0.9 และน้ำตาลทรายที่ร้อยละ 0 และ 33 ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 จะเห็นได้ว่าปริมาณของเพกติน LM ปริมาณน้ำตาลทรายที่ใช้และความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตมีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจลทั้งสิ้น เมื่อเพิ่มเข้มข้นของเพกติน LM จะทำให้ค่าความแข็งแรงเจลเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปในทางเดียวกันกับความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตนั้น กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งแรงเจลเพิ่มขึ้นเช่นกัน สอดคล้องกับญานินสิริ (2547) ที่กล่าวไว้ว่า เพกตินเมทอกซิลต่ำและแคลเซียมคลอไรด์มีผลเสริมฤทธิ์กัน จึงทำให้เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของเพกตินเมทอกซิลต่ำไปพร้อมๆ กับแคลเซียมคลอไรด์ ค่าความแข็งแรงของเจลจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งกลไกการเกิดเจลจะเกิดการ Cross Link ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล 2 หมู่กับแคลเซียมไอออนดังกล่าว Egg Box Model การเกิดเจลของเพกตินเมทอกซิลต่ำเกิดในช่วงความเป็นกรด-ด่างสูง เนื่องจากต้องทำลายหมู่คาร์บอกซิล (-COO⁻) เพื่อมาเชื่อมต่อกับพันธะของเกลือแคลเซียม (Charley and Weaver, 1998)

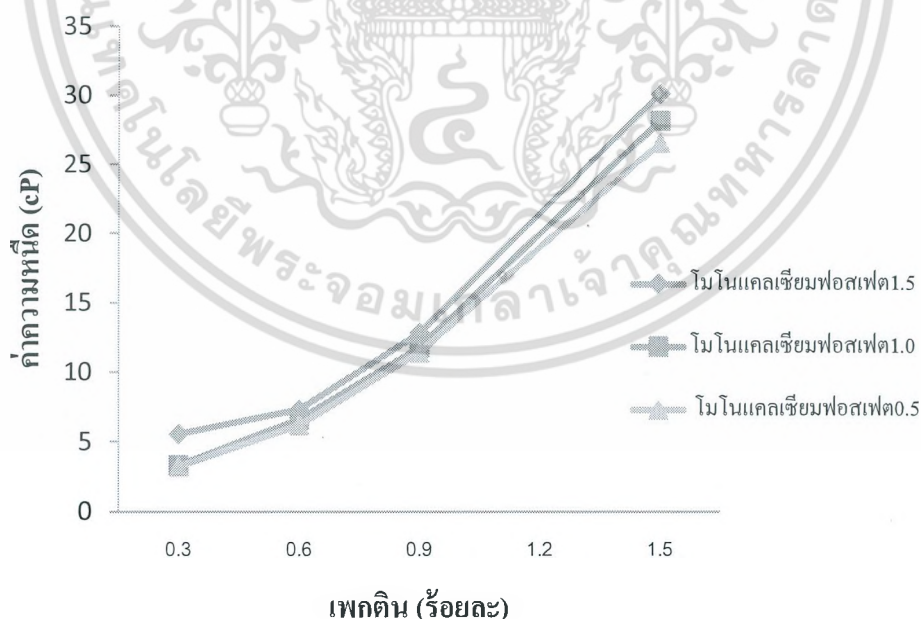
แต่เมื่อมีการเพิ่มปริมาณของน้ำตาลทรายที่มากเกินไปจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงเจลมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากในการเกิดเจลนั้นปัจจัยที่สำคัญคือความเข้มข้นของน้ำตาลทรายและความเป็นกรด ความเข้มข้นของน้ำตาลทรายระดับพอเหมาะจะทำให้เจลมีลักษณะที่ดีเนื่องจากน้ำบริเวณรอบๆ เจลจะลดน้อยลงเพราะน้ำตาลทรายจะดูดน้ำไปหมด และจะไปรบกวนสมดุลของไอออนบวกและไอออนลบทำให้เพกตินถูกผลักให้เข้ามาใกล้กันจึงเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของเพกติน ส่งผลให้เพกตินมีโครงสร้างร่างแหที่แข็งแรง แต่ถ้าปริมาณน้ำตาลทรายมากเกินไปสมดุลของไอออนทั้งสองจะถูกรบกวนมากขึ้นทำให้โมเลกุลของเพกตินยังเข้าใกล้กันจะทำให้ได้เจลที่มีลักษณะหนืดและเหนียว (Broomfield, 1996) และหากปริมาณเพกตินมีความเข้มข้นต่ำจะทำให้สายโซ่ของเพกตินเคลื่อนที่ได้ช้าจึงไม่สามารถสร้างโครงสร้างร่างแหภายในระบบได้ (Dervisi *et al.*, 2001) ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความแข็งแรงของเจล

ในการเกิดเจลที่ดีในผลิตภัณฑ์นั้นต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 อย่างคือ ปริมาณเพกติน ปริมาณน้ำตาลทราย และปริมาณกรดที่เหมาะสม ซึ่งความสมดุลนี้จะทำให้ได้เจลที่แข็งแรง (กิตติพงษ์, 2536) เพราะหากมีการใช้เพกตินไม่พอเหมาะหรือมีปริมาณไม่มากพอก็จะไม่สามารถเกิดเป็นโครงสร้างร่างแหที่ต่อเนื่องได้ อีกทั้งหากใช้น้ำตาลทรายมากเกินไปอาจเกิดการตกผลึกของน้ำตาลทรายได้ (Rolin, 1990) และค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์หากต่ำเกินไปจะได้เจลที่ไม่แข็งแรง แต่หากมากเกินไปก็จะไม่เกิดเจล (นิธิยา, 2551; กิตติพงษ์, 2536) ดังนั้นจึงควรมีการเลือกใช้แต่ละองค์ประกอบให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

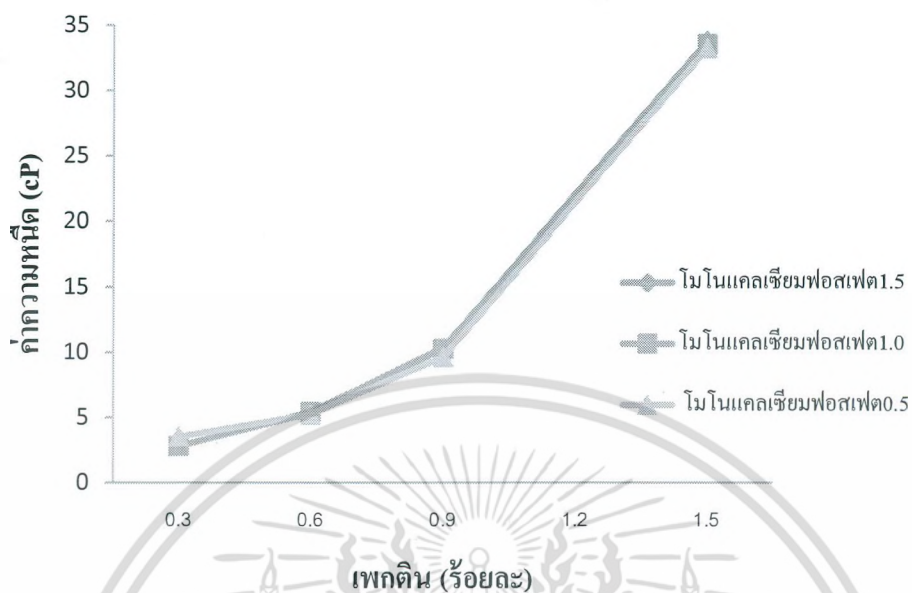
1.7. การศึกษาอิทธิพลของเพกตินร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่มีผลต่อค่าความหนืด

ความข้นหนืดของเพกตินนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเพกติน ปริมาณแคลเซียม ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง และชนิดของเพกติน การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาว่าการเพิ่มความเข้มข้นของเพกตินและการเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ระดับต่างกันมีผลต่อความหนืด จากการทดลองค่าความหนืดจากเพกตินทางการค้าหมูเมทอกซิลต่ำ (LM) โดยแสดงปริมาณของเพกติน LM ความเข้มข้นที่ร้อยละ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.5 และ โมโนแคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มาวัดค่าความหนืด ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความหนืดจากเพกติน LM มีค่าระหว่าง 3.24-31.70 cP ค่าความหนืดจากเพกตินจากการใช้เอริลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process; C) มีค่าระหว่าง 3.51-34.09 cP และค่าความหนืดจากเพกตินจากการใช้เอริลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation; P) มีค่าระหว่าง 2.67-19.83 cP เมื่อทำการวัดความหนืดของเพกตินทั้ง 3 ชนิด คือ เพกติน LM เพกติน C และเพกติน P ที่ระดับความเข้มข้นของเพกตินร้อยละ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.5 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของปริมาณผงเพกตินทั้ง 3 ชนิด มีผลทำให้ค่าความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นด้วยค่างภาพที่ 4.6-4.8 และที่ความเข้มข้นของเพกติน P มีค่าความหนืดต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเพกติน LM และ C ในทุกระดับความเข้มข้นของผงเพกตินที่ใช้ (ร้อยละ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.5 ตามลำดับ) ส่วนเพกติน C ค่าความหนืดมีแนวโน้มสูงขึ้นและยังพบว่ามีความหนืดมากกว่าเพกติน LM และ P

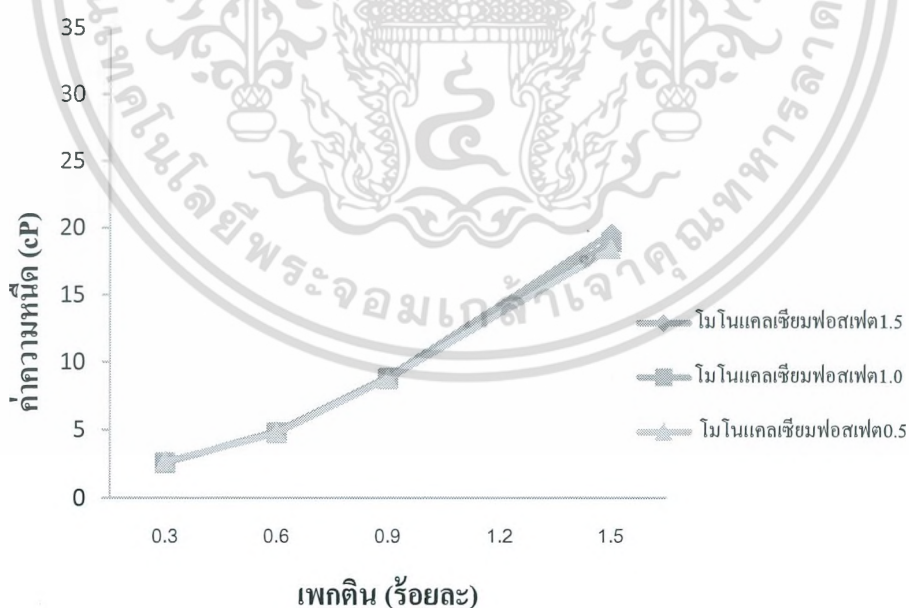


ภาพที่ 4.6 อิทธิพลของเพกตินทางการค้าหมูเมทอกซิลต่ำ (LM) ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่มีผลต่อค่าความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 อิทธิพลของเพกตินจากการใช้เฮลิคแอลกอฮอล์ 95เปอร์เซ็นต์ (Conventional process; C) ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่มีผลต่อค่าความหนืด



ภาพที่ 4.8 อิทธิพลของเพกตินจากการใช้เฮลิคแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation; P) ร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่มีผลต่อค่าความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 อิทธิพลของเพกตินเมทอกซิลต่ำร่วมกับการใช้โมโนแคลเซียมฟอสเฟตต่อความหนืด

ความเข้มข้น ของเพกติน (ร้อยละ)	ความเข้มข้น ของโมโน แคลเซียม ฟอสเฟต (ร้อยละ)	ความหนืด (cP)		
		เพกตินทางการค้า หมู่เมทอกซิลต่ำ (LM)	เพกตินจากการใช้ เอซิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ (Conventional process; C)	เพกตินจากการใช้ เอซิลแอลกอฮอล์นำ กลับมาใช้ใหม่ ทดแทนในขั้นตอน การตกตะกอน (Precipitation; P)
0.3	0.5	^A 3.24±0.40 ^l	^A 3.51±0.23 ^g	^B 2.67±0.18 ^g
0.3	1.0	^A 3.33±0.44 ^l	^B 2.77±0.12 ^{hg}	^B 2.58±0.10 ^g
0.3	1.5	^A 5.57±2.84 ^{kj}	^B 2.76±0.10 ^h	^B 2.58±0.58 ^g
0.3	2.0	^A 4.87±0.19 ^k	^B 2.80±0.15 ^h	^B 2.73±0.78 ^g
0.6	0.5	^A 6.20±0.22 ^{ij}	^B 5.23±0.15 ^f	^C 4.62±0.17 ^f
0.6	1.0	^A 6.62±0.50 ^{ij}	^B 5.42±0.20 ^f	^C 4.78±0.17 ^f
0.6	1.5	^A 7.34±0.23 ⁱ	^B 5.37±0.35 ^f	^B 4.83±0.35 ^f
0.6	2.0	^A 8.63±0.43 ^h	^B 5.42±0.23 ^f	^B 4.90±0.10 ^f
0.9	0.5	^A 11.43±0.38 ^g	^B 9.64±0.72 ^e	^C 8.13±0.21 ^c
0.9	1.0	^A 11.80±0.18 ^{fg}	^B 10.27±0.58 ^d	^C 8.77±0.68 ^d
0.9	1.5	^A 12.83±0.12 ^f	^B 10.37±0.50 ^d	^C 8.84±0.55 ^d
0.9	2.0	^A 14.10±0.10 ^c	^B 10.73±0.59 ^d	^C 8.93±0.20 ^d
1.5	0.5	^B 26.57±0.55 ^d	^A 33.27±0.14 ^c	^C 18.42±0.43 ^c
1.5	1.0	^B 28.17±0.15 ^c	^A 33.57±0.76 ^{bc}	^C 18.93±0.46 ^b
1.5	1.5	^B 30.13±0.25 ^b	^A 33.83±0.55 ^{ab}	^C 19.60±0.10 ^a
1.5	2.0	^B 31.70±0.40 ^a	^A 34.09±0.61 ^a	^C 19.83±0.58 ^a

*หมายเหตุ: ^{a, b, c, ...} อักษรกำกับต่างกันในแนวตั้งแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

^{A, B, C} อักษรกำกับต่างกันในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

จากตารางที่ 4.7 การเพิ่มระดับความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตเพกติน LM มีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในทางกลับกันเพกติน C และเพกติน P พบว่าความหนืดไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อดูค่าความหนืดตามชนิดของเพกตินพบว่าที่ความเข้มข้นของเพกติน LM ร้อยละ 0.3, 0.6, 0.9 และ 1.5 ทุกระดับความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 พบว่าความหนืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) ในทางกลับกันเพกติน C และเพกติน P พบว่าความหนืดไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เมื่อดูค่าความหนืดตามชนิดของเพกติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมฟอสเฟต เมื่อเปรียบเทียบกับเพกติน C และเพกติน P พบว่าค่าความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ยกเว้นที่ความเข้มข้นของเพกตินร้อยละ 0.3 ความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 0.5 เพกติน LM และเพกติน C ค่าความหนืดไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$)

สรุปได้ว่าค่าความหนืดแปรผันตรงกับปัจจัยความเข้มข้นของเพกติน ส่วนการเพิ่มระดับความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตที่ร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟต เพกติน LM มีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งเพกตินที่มีมวลโมเลกุลสูงจะทำให้สารละลายมีค่าความหนืดสูงขึ้นด้วยในทางตรงข้ามเมื่อเจือจางสารละลายและไม่มีแคลเซียมสารละลายที่ได้จะมีความหนืดลดลง (Michel *et al.*, 1982) ในทางกลับกันเพกติน C และเพกติน P พบว่าโมโนแคลเซียมไม่มีผลต่อค่าความหนืด ความหนืดของเพกตินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ ระดับการเกิดเอสเทอร์ฟิเคชันของเพกติน ความเข้มข้นของเพกติน ปริมาณแคลเซียมชนิดของเพกติน และค่าความเป็นกรด-ด่าง (ณรงค์, 2546) โดย Takahiro และคณะ (2001) กล่าวว่าความหนืดของเพกตินขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเพกติน ปริมาณแคลเซียม ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง ชนิดของเพกติน และขนาดของมวลโมเลกุลอีกด้วย ซึ่งเป็นไปได้ว่าความบริสุทธิ์ของเพกตินที่ได้จากเปลือกตาลดดิบทั้ง 2 ชนิดยังไม่บริสุทธิ์เท่าเพกติน LM อันเนื่องจากสภาวะในการสกัดเพกติน อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (วรรณภา, 2549)

1.8. การศึกษาเปรียบเทียบแยมแคลอรีต่ำที่ทำมาจากเพกตินทางการค้าหมูเมทอกซิลต่ำ, เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ (Conventional process; C) และเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation; P)

1.8.1. การวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของแยมแคลอรีต่ำ

จากการศึกษาแยมทั้งหมด 6 สูตร โดยนำเพกตินทางการค้าหมูเมทอกซิลต่ำ (LM) เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process; C) และเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation; P) มาเตรียมแยมแคลอรีต่ำ โดยใช้สูตรพื้นฐานการทำแยมแคลอรีต่ำของบริษัท Pomona's Universal Pectin, USA มาศึกษาโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นแยมที่ไม่มีการเติมน้ำตาลทราย 3 สูตร ได้แก่สูตรที่ 1-3 (LM_0 , C_0 และ P_0) และกลุ่มที่สองเป็นแยมที่มีการเติมน้ำตาลทรายปริมาณต่ำ 3 สูตร ได้แก่สูตรที่ 4-6 (LM_{33} , C_{33} และ P_{33}) รวม 6 สูตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความชอบของผู้บริโภคต่อแยมแคลอรีต่ำ จากการทดสอบความชอบโดยใช้วิธี 9-point Hedonic scale ในคุณลักษณะด้านสี คุณลักษณะด้านกลิ่น คุณลักษณะด้านลักษณะปรากฏ คุณลักษณะด้านการทา คุณลักษณะด้าน

รสรชาติ และคุณลักษณะด้านความชอบรวม การยอมรับของผู้บริโภคได้คะแนนผลการทดลองดังตารางที่ 4.8

ด้านสีของแยมเคลอริต้าในกลุ่มที่ 1 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแยมจาก LM₀ และแยมจาก C₀ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) แต่ยอมรับมากกว่าแยมจาก P₀ เล็กน้อย ($P<0.05$) โดยได้คะแนนเท่ากับ 5.00, 4.92 และ 4.48 ตามลำดับ ในกลุ่มที่ 2 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแยมจาก LM₃₃ มากกว่าแยมจาก C₃₃ และแยมจาก P₃₃ เล็กน้อย ($P<0.05$) โดยได้คะแนนเท่ากับ 6.46, 6.04 และ 5.44 ตามลำดับ และเมื่อดูค่าสี L* (ตารางที่ 4.9) จะเห็นได้ว่าแยมจาก LM มีค่าความสว่างมากกว่าแยมจาก C และ P แสดงว่าผู้บริโภคให้คะแนนความชอบด้านสีของแยมเคลอริต้าที่เป็นโทนสีเหลืองมากกว่าสีของแยมเคลอริต้าที่เป็น โทนสีแดงซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความชอบของแยมเคลอริต้าทั้ง 2 กลุ่ม

ด้านกลิ่น ของแยมเคลอริต้าในกลุ่มที่ 1 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแยมจาก LM₀ แยมจาก C₀ และแยมจาก P₀ โดยได้คะแนนเท่ากับ 5.76, 5.88 และ 5.32 ตามลำดับ ในกลุ่มที่ 2 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแยมจาก LM₃₃ แยมจาก C₃₃ และแยมจาก P₃₃ โดยได้คะแนนเท่ากับ 5.76, 5.54 และ 5.68 ค่าที่ได้ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P>0.05$) ในแยมเคลอริต้าทั้ง 2 กลุ่ม

ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏ ของแยมเคลอริต้าในกลุ่มที่ 1 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแยมจาก LM₀ มากกว่าแยมจาก C₀ และแยมจาก P₀ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยได้คะแนนเท่ากับ 5.44, 4.58 และ 4.04 ตามลำดับ เมื่อดูค่าด้านค่าความแข็งแรงเจล (ตารางที่ 4.9) โดยแยมจาก LM₃₃ มีค่าความแข็งแรงเจลสูงกว่าแยมจาก C₃₃ และ P₃₃ แสดงว่าแยมจาก LM₀ ผู้บริโภคให้การยอมรับมากกว่าแยมที่ได้จาก C₀ และ P₀ เนื่องจากค่าความแข็งแรงเจลมีความสอดคล้องกับแยมจาก LM₀ ซึ่งมีค่าความแข็งแรงเจลสูงกว่าแยมจาก C₀ และ P₀ โดยมีค่าความแข็งแรงเจลเท่ากับ 0.27, 0.06 และ 0.05 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งตรงกับคะแนนความชอบของผู้บริโภคด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏ ในกลุ่มที่ 2 ผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแยมจาก C₃₃ และแยมจาก P₃₃ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) โดยได้คะแนนเท่ากับ 5.16 และ 5.64 แต่แยมจาก LM₃₃ มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) โดยได้คะแนนเท่ากับ 6.84 เมื่อดูค่าความแข็งแรงเจล (ตารางที่ 4.9) เห็นได้ว่าแยมจาก LM₃₃ มีค่าความแข็งแรงเจลสูงกว่าแยมจาก C₃₃ และ P₃₃ ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความชอบของผู้บริโภคด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏของแยมจาก LM₃₃ จากการทดลองแสดงว่าแยมเคลอริต้าที่มีค่าความแข็งแรงเจลสูงผู้บริโภคให้การยอมรับมากกว่าสอดคล้องกับญาณินสิริ (2547) ที่กล่าวว่าแยมเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้น้ำตาลทรายเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อมีการลดปริมาณน้ำตาลทรายลงจึงทำให้มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส จึงทำให้ผู้บริโภคยอมรับแยมปราศจากน้ำตาลทรายค่อนข้างต่ำกว่าแยมที่มีปริมาณน้ำตาลทรายต่ำ ซึ่งเป็นปัญหาเรื่องลักษณะเนื้อสัมผัสเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารพลังงานต่ำ ดังนั้นในการเตรียมแยมเคลอริต้าปราศจากน้ำตาลทรายจึงอาจมีการปรับปรุงโดยการเพิ่มปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพกตินให้มากขึ้นเพื่อให้ใกล้เคียงกับแอมแบบเติมน้ำตาลทรายมากที่สุดและให้ได้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค

ด้านลักษณะการทาของแอมแคลอรีต่ำในกลุ่มที่ 1 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแอมจาก LM_0 มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับแอมจาก C_0 และแอมจาก P_0 โดยได้คะแนนเท่ากับ 4.64, 4.18 และ 4.46 ตามลำดับ ในกลุ่มที่ 2 ผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแอมจาก LM_{33} มากกว่าแอมจาก C_{33} และแอมจาก P_{33} ได้คะแนนเท่ากับ 6.80, 6.36 และ 6.20 ตามลำดับ ซึ่งแอมจาก M_{33} มีคะแนนมากกว่าแอมอีกสองชนิดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อดูค่าความแข็งแรงเจล (ตารางที่ 4.9) และค่าด้านความหนืด (ตารางที่ 4.7) จะเห็นได้ว่าการเตรียมแอมจาก LM_{33} มีค่าความแข็งแรงเจลและมีความหนืดมากกว่าเพกติน C_{33} และเพกติน P_{33} ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับความชอบของผู้บริโภคในด้านการทาของแอมแคลอรีต่ำที่ชอบลักษณะของแอมแคลอรีต่ำที่มีลักษณะการทาที่หนืดมากกว่า

ด้านรสชาติของแอมแคลอรีต่ำในกลุ่มที่ 1 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแอมจาก LM_0 มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อเทียบกับแอมจาก C_0 และแอมจาก P_0 โดยได้คะแนนเท่ากับ 4.60, 3.96 และ 2.66 ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแอมจาก LM_{33} มากกว่าแอมจาก C_{33} และแอมจาก P_{33} อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยได้คะแนนเท่ากับ 6.66, 6.10, 5.90 ตามลำดับ จากการทดสอบความชอบของผู้บริโภคแสดงให้เห็นว่าผู้บริโภคชอบรสชาติของแอมจาก LM มากกว่าแอมจาก C และ P ทั้งในแอมแคลอรีต่ำกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 อีกทั้งผู้บริโภคยังชอบแอมแคลอรีต่ำกลุ่มที่ 2 มากกว่าแอมแคลอรีต่ำกลุ่มที่ 1 อาจเนื่องจากแอมแคลอรีต่ำกลุ่มที่ 1 มีรสเปรี้ยวเกินไปจึงไม่เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค โดยในการเตรียมแอมจำเป็นต้องมีความเป็นกรด-ด่างอยู่ระหว่าง 2.8 ถึง 3.5 (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 213, 2543)

ด้านความชอบโดยรวมของแอมแคลอรีต่ำในกลุ่มที่ 1 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแอมจาก LM_0 มากกว่าแอมจาก C_0 และแอมจาก P_0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยได้คะแนนเท่ากับ 4.78, 4.18 และ 3.52 ตามลำดับ ในกลุ่มที่ 2 พบว่าผู้บริโภคให้คะแนนยอมรับแอมจาก LM_{33} และแอมจาก C_{33} ($P > 0.05$) โดยได้คะแนนเท่ากับ 6.92 และ 6.61 ส่วนแอมจาก P_{33} มีคะแนนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 5.78

สรุปการยอมรับของผู้บริโภคได้ว่ายังไม่ยอมรับแอมแคลอรีต่ำในกลุ่มที่ไม่มีกรเติม น้ำตาลทราย อาจเพราะกลุ่มผู้บริโภคที่ทำการทดสอบเป็นกลุ่มของผู้บริโภคทั่วไปซึ่งมีความแตกต่างกันในเรื่องของความชอบและการรับรู้ทางประสาทสัมผัสที่แตกต่างกันหรืออาจเป็นเพราะผู้บริโภคยังไม่คุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์อาหารแคลอรีต่ำซึ่งมีลักษณะปรากฏและรสชาติแตกต่างจากผลิตภัณฑ์แอมที่มีการใช้น้ำตาลทรายเป็นส่วนประกอบหลักที่มีขายตามท้องตลาด แต่หากทดสอบความชอบกับกลุ่มผู้บริโภคที่มีความเฉพาะเจาะจงกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น ผู้ป่วยโรคเบาหวานหรือผู้ที่รับประทานอาหารแคลอรีต่ำเป็นประจำอาจทำให้ได้รับการยอมรับที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8.2. การวิเคราะห์ทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพบางประการของแยมเคลอริต้า

จากการวิเคราะห์ทางด้านเคมีและทางด้านกายภาพตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาจากค่าความแข็งแรงเจลของแยมกลุ่มที่ 1 พบว่าแยมจาก LM_0 มีค่าความแข็งแรงเจลมากกว่าแยมจาก C_0 และแยมจาก P_0 โดยมีค่าเท่ากับ 0.27, 0.06 และ 0.05 นิวตัน ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 พบว่าแยมจาก LM_{33} มีค่าความแข็งแรงเจลมากกว่าแยมจาก C_{33} และแยมจาก P_{33} โดยมีค่าเท่ากับ 0.46, 0.34 และ 0.29 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งแยมจาก LM มีค่าความแข็งแรงเจลมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในทั้งแยม 2 กลุ่ม แสดงให้เห็นว่าเพกติน LM เมื่อนำมาเตรียมเป็นแยมเคลอริต้าจะได้แยมที่มีลักษณะเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค และเมื่อดูจากการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสจะเห็นได้ว่าผู้บริโภคชื่นชอบลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏและลักษณะการทาของแยมเคลอริต้าจากเพกติน LM (ตารางที่ 4.8) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาค่าความแข็งแรงเจลที่ได้

เมื่อพิจารณาจากค่าสี โดยแสดงในรูปของ L^* กลุ่มที่ 1 พบว่าแยมจาก LM_0 มีค่าความสว่าง L^* มากกว่าแยมจาก C_0 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) มีค่าเท่ากับ 31.06 และ 29.18 และมีค่าสว่างมากกว่าแยมจาก P_0 เล็กน้อย ($P < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 27.60 เมื่อนำค่า a^* และ b^* มาคำนวณ และแสดงเป็นค่า Hue angle ซึ่งเป็นค่ามุม (องศา) โดยค่า 0° เท่ากับ สีแดง, ค่า 90° เท่ากับ สีเหลือง, ค่า 180° เท่ากับ สีเขียว และค่า 270° เท่ากับ สีน้ำเงิน แยมจาก LM_0 , C_0 และ P_0 มีค่าเท่ากับ 82.20, 75.48 และ 66.71 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเมื่อนำค่า a^* และ b^* มาคำนวณและแสดงเป็นค่า Chroma ซึ่งเป็นค่าแสดงความบริสุทธิ์ของสี โดยค่า Chroma ของแยมจาก LM_0 , C_0 และ P_0 มีค่าเท่ากับ 5.00, 13.85 และ 8.28 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาจากค่า Hue angle และค่า Chroma มาจุดในวงล้อสี พบว่าแยมจาก LM_0 มีสีออกไปทางโทนสีเหลืองที่มากกว่าแยมจาก C_0 และ P_0 ที่แยมเคลอริต้ามีสีออกไปทางโทนสีแดงและค่าที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และเมื่อพิจารณาจากค่าสี โดยแสดงในรูปของ L^* กลุ่มที่ 2 พบว่าแยมจาก LM_{33} มีค่าความสว่าง L^* มากกว่าแยมจาก C_{33} และ P_{33} (34.84, 28.05 และ 28.06 ตามลำดับ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อนำค่า a^* และ b^* มาคำนวณ และแสดงเป็นค่า Hue angle ซึ่งเป็นค่ามุม (องศา) โดยค่า 0° เท่ากับ สีแดง, ค่า 90° เท่ากับ สีเหลือง, ค่า 180° เท่ากับ สีเขียว และค่า 270° เท่ากับ สีน้ำเงิน แยมจาก LM_{33} , C_{33} และ P_{33} มีค่าเท่ากับ 86.85, 78.03 และ 69.19 ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันเมื่อนำค่า a^* และ b^* มาคำนวณและแสดงเป็นค่า Chroma ซึ่งเป็นค่าแสดงความบริสุทธิ์ของสี โดยค่า Chroma ของแยม แยมจาก LM_{33} , C_{33} และ P_{33} มีค่าเท่ากับ 8.30, 11.97 และ 7.49 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณา

จากค่า Hue angle และค่า Chroma มาจุดในวงล้อสี เปรียบเทียบกับแยมจาก LM_{33} และเมื่อพิจารณาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่า Hue angle และค่า Chroma พบว่าแยมจาก LM₃₃ มีสีออกไปทางโทนสีเหลืองมากกว่าแยมจาก C₃₃ และ P₃₃ ซึ่งมีสีออกไปทางโทนสีแดง ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าแยมเคลอรีต่ำจากเพกติน LM มีความสว่างและมีโทนสีเหลืองที่มากกว่าแยมเคลอรีต่ำจากเพกติน C และ P เมื่อพิจารณาจากค่า L* และ Hue angle ที่มากกว่าตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ แยมเคลอรีต่ำกลุ่มที่ 1 พบว่าแยมจาก LM₀ มีค่าไม่แตกต่างจากแยม C₀ ส่วนแยม P₀ มีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 15.20, 14.67 และ 14.37 °Brix ตามลำดับ แยมเคลอรีต่ำกลุ่มที่ 2 พบว่าแยมจาก LM₃₃ มีค่าน้อยกว่าแยมจาก C₃₃ และแยมจาก P₃₃ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 45.13, 47.43 และ 46.77 ตามลำดับ สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้นั้น ไม่มีอิทธิพลต่อการเกิดเจลของเพกตินหมู่เมทอกซิลต่ำมากนัก (นราพร, 2543; Rolin and De Vries, 1990)

เมื่อพิจารณาจากค่าความเป็นกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริกในกลุ่มที่ 1 พบว่าแยมจาก LM₀ มีค่าความเป็นกรดทั้งหมดไม่แตกต่างจากแยม P₀ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ส่วนแยมจาก C₀ พบว่ามีคะแนนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 0.049, 0.051 และ 0.056 ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 พบว่าแยมจาก LM₃₃ และแยมจาก P₃₃ มีค่าความเป็นกรดทั้งหมดไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ส่วนแยมจาก C₃₃ พบว่ามีคะแนนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 0.066, 0.060 และ 0.053 ตามลำดับ เช่นเดียวกับแยมในกลุ่มที่ 1

เมื่อพิจารณาจากค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่ากลุ่มที่ 1 แยมจาก LM₀ แยมจาก C₀ และแยมจาก P₀ ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) โดยมีค่าเท่ากับ 3.12, 3.14 และ 3.14 ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 พบว่าแยมจาก LM₃₃ แยมจาก C₃₃ และแยมจาก P₃₃ ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) เช่นเดียวกัน โดยกิตติพงษ์ (2536) ได้กล่าวไว้ว่าปริมาณกรดในผลิตภัณฑ์นั้นจะควบคุมจากค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยค่าความเป็นกรด-ด่างของผลิตภัณฑ์ควรอยู่ในช่วง 2.9-3.1 เนื่องจากถ้าค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 2.5 เจลที่ได้จะไม่แข็งแรง และที่ค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 3.5 จะไม่เกิดเจล

เมื่อพิจารณาโดยรวม พบว่าจากการทดลองทางด้านประสาทสัมผัสของแยมเคลอรีต่ำผู้บริโภคให้คะแนนความชอบในผลิตภัณฑ์แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำมากกว่าผลิตภัณฑ์แยม

ปราศจากน้ำตาลทราย ซึ่งผลิตภัณฑ์แยมเคลอรีต่ำในกลุ่มที่ 1 แยมปราศจากน้ำตาลทราย ผลิตภัณฑ์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้ยังไม่เป็นที่ชื่นชอบของผู้บริโภค ได้แก่ ด้านสี ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏ ด้านลักษณะการทา ด้านรสชาติ และด้านความชอบโดยรวม แต่ยังสามารถปรับปรุงสูตรได้จากการใช้สารให้ความหวานที่ให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลและมีการใช้ในปริมาณน้อย ผู้บริโภคจึงได้รับพลังงานน้อยลง โดยสารให้ความหวานที่นิยมใช้ในแยม ได้แก่ แอสพาร์เทม อะซีซัลเฟมเค ซูคราโลส และซอร์บิทอล (Nobors and Gelardi, 1991) ซึ่งสามารถเติมเพื่อปรับปรุงให้รสชาติของแยมให้ใกล้เคียงกับแยมแบบเติมน้ำตาลทรายมากที่สุด อีกทั้งในด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏและลักษณะการทาสสามารถปรับปรุงลักษณะเหล่านี้ได้จากการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของระดับเพกตินให้สูงขึ้นจากสูตรเดิมที่ใช้อยู่เพื่อให้ได้ลักษณะที่ดีขึ้นและให้ใกล้เคียงกับแยมแบบเติมน้ำตาลทรายมากที่สุด และยังพบว่าการใช้เพกติน C ในการทำแยมเคลอริต้าสามารถนำมาทดแทนแยมเคลอริต้าจากการใช้เพกติน LM ได้ เนื่องจากให้ค่าการประเมินผลทางด้านประสาทสัมผัสและการวิเคราะห์เคมีและกายภาพที่ใกล้เคียงกับแยมที่ใช้เพกตินจาก LM เพราะเป็นค่าที่ได้จากการยอมรับการประเมินคุณลักษณะสี ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏ ลักษณะการทา รสชาติ และความชอบโดยรวมที่มีค่ามากกว่า อย่างไรก็ตามผู้บริโภคให้คะแนนรสชาติในผลิตภัณฑ์แยมเคลอริต้าในกลุ่มที่ 2 แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำในสูตรที่ 4 มากที่สุด

จากการทดลองจึงเห็นได้ว่าสามารถนำเพกตินจากเปลือกตาลดิบมาใช้ในการทดแทนเพกติน LM เพื่อนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แยมเคลอริต้าได้ ซึ่งเมื่อนำแยมเคลอริต้ากลุ่มที่ 1 แยมปราศจากน้ำตาลทรายและกลุ่มที่ 2 แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำมาคำนวณปริมาณเคลอริตาจากการเติมน้ำตาลทราย พบว่าแยมเคลอริต้าที่มีการเติมน้ำตาลทรายให้พลังงาน 123 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม และยังเป็นกรดน้ำตาลในอาหารที่มีพลังงานสูง ซึ่งผลิตภัณฑ์แยมที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดให้พลังงานถึง 260 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม (ชมรมวิทยาศาสตร์กองอาหารและโภชนาการ, 2537) โดย Schmidl และ Labuza (2000) ได้กล่าวถึงนิยามของอาหารลดพลังงานว่า การลดพลังงานลงร้อยละ 25 ของอาหารสูตรปกติโดยมีคุณภาพ และคุณค่าทางโภชนาการครบถ้วนตามลักษณะอาหารนั้น จึงสรุปได้ว่าปริมาณน้ำตาลทรายที่ใช้ในผลิตภัณฑ์แยมเคลอริต้ายอมรับได้ในแง่โภชนาการ แต่ลักษณะคุณภาพของแยมจะต้องมีการปรับปรุงให้มีความหนืดและความแข็งแรงเจลเพิ่มขึ้น โดยมีการเลือกใช้แคลเซียมไอออนเป็นตัวช่วยทำให้ความแข็งแรงเจลมีค่ามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ทางด้านเคมีและกายภาพบางประการของแยมเคลอริต่ำจากผงเพคตินชนิดต่างๆ

	กลุ่มที่ 1 แยมปราศจากน้ำตาล			กลุ่มที่ 2 แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำ		
	สูตรที่ 1 (LM ₀)	สูตรที่ 2 (C ₀)	สูตรที่ 3 (P ₀)	สูตรที่ 4 (LM ₃₃)	สูตรที่ 5 (C ₃₃)	สูตรที่ 6 (P ₃₃)
ค่าความแข็งแรงเจล (นิวตัน)	0.27±0.02 ^c	0.06±0.01 ^d	0.05±0.01 ^d	0.46±0.04 ^a	0.34±0.05 ^b	0.29±0.05 ^{bc}
ค่าสี L*	31.06±0.69 ^b	29.18±1.37 ^{ab}	27.6±1.07 ^a	34.84±1.79 ^c	28.05±1.01 ^a	28.06±0.93 ^a
Hue angle	82.20±3.77 ^b	75.48±0.89 ^c	66.71±1.26 ^d	86.85±2.47 ^a	78.03±4.29 ^{bc}	69.19±4.44 ^d
Chroma	5.00±0.62 ^d	13.85±0.95 ^a	8.28±0.35 ^c	8.30±0.95 ^c	11.97±0.79 ^b	7.49±1.49 ^c
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (องศาบริกซ์)	15.20±0.30 ^c	14.67±0.15 ^{cd}	14.37±0.12 ^d	45.13±0.47 ^b	47.43±0.40 ^a	46.77±0.67 ^a
ค่าความเป็นกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก (TA) (ร้อยละ)	0.049±0.00 ^a	0.056±0.00 ^b	0.051±0.01 ^a	0.060±0.00 ^b	0.066±0.00 ^c	0.053±0.01 ^{ab}
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	3.12±0.02 ^a	3.14±0.04 ^{ab}	3.14±0.03 ^{ab}	3.15±0.03 ^{ab}	3.18±0.03 ^b	3.18±0.02 ^b

*หมายเหตุ: ^{a, b, c, ...} อักษรกำกับต่างกัน ในแนวนอนแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

1. เพกตินที่สกัดได้จากเปลือกตาลทั้ง 3 กระบวนการสกัด คือ เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ 95% (Conventional process, C) เพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P) และเพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW) มีคุณสมบัติทางเคมีดังต่อไปนี้ คือ ระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชัน มีค่าเท่ากับ 42.61, 41.76 และ 43.23 ตามลำดับ ปริมาณความชื้น มีค่าเท่ากับ 10.51, 10.57 และ 10.49 ตามลำดับ ปริมาณเถ้า มีค่าเท่ากับ 4.70, 4.73 และ 4.71 ตามลำดับ ปริมาณกรดกาแลกทูโรนิก มีค่าเท่ากับ 83.31, 75.54 และ 64.16 ตามลำดับ น้ำหนักสมมูล มีค่าเท่ากับ 1,282.20, 880.39 และ 849.28 คาลตัน ตามลำดับ เพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการมีปริมาณเถ้าและกรดกาแลกทูโรนิกอยู่ในมาตรฐานของสำนักคณะกรรมการอาหารและยา ซึ่งสามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ได้

2. การนำเอซิลแอลกอฮอล์กลับมาใช้ในกระบวนการสกัด PW สามารถลดต้นทุนการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ทั้งหมดต่อกรัมเพกตินจากกระบวนการสกัดทั่วไป (C) ได้ถึง 23.92 % แต่เมื่อนำเอซิลแอลกอฮอล์กลับมาใช้ในกระบวนการสกัด P ปรากฏว่าต้นทุนการใช้เอซิลแอลกอฮอล์ทั้งหมดต่อกรัมเพกตินมากกว่ากระบวนการสกัดทั่วไป (C) ถึง 21.40 % แสดงว่าการนำเอซิลแอลกอฮอล์กลับมาใช้ทดแทนในกระบวนการสกัด PW สามารถนำมาใช้ในกระบวนการสกัดเพกตินได้

3. จากการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงเจล เพกตินทางการค้าหุ้มเมทอกซิลต่ำ (LM) มีค่าความแข็งแรงเจลอยู่ระหว่าง 0.08-0.61 นิวตัน และพบว่าปริมาณความเข้มข้นของโมโนแคลเซียมฟอสเฟตและน้ำตาลมีผลต่อค่าความแข็งแรงเจลเช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของเพกติน LM ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3, 0.6 และ 0.9 ตามลำดับ

4. ความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นของเพกตินเพิ่มขึ้นทุกชนิดที่ใช้ในการทดลอง คือ เพกติน LM, C และ P

5. จากการวิเคราะห์ทางด้านประสาทสัมผัสของแยมแคลอรีจากการใช้เพกติน LM, C และ P โดยแบ่งแยมออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นแยมที่ไม่มีกราดิมน้ำตาลทราย 3 สูตร (LM_0 , C_0 และ P_0) และกลุ่มที่สองเป็นแยมที่มีการเติมน้ำตาลทรายปริมาณต่ำ 3 สูตร (LM_{33} , C_{33} และ P_{33}) รวม 6 สูตร นำมาทดสอบความชอบ ในคุณลักษณะด้านสี คุณลักษณะด้านกลิ่น คุณลักษณะด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏ คุณลักษณะด้านการทา คุณลักษณะด้านรสชาติและคุณลักษณะด้านความชอบรวม พบว่าการยอมรับของผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำมากกว่าผลิตภัณฑ์แยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปราศจากน้ำตาลทราย ซึ่งผลิตภัณฑ์แยมเคลอริต้าในกลุ่มที่ 1 แยมปราศจากน้ำตาลทรายผลิตภัณฑ์ที่ได้ยังไม่เป็นที่ยอมรับ ได้แก่ ด้านสี ด้านลักษณะเนื้อสัมผัสที่ปรากฏ ด้านลักษณะการทา ด้านรสชาติ และด้านความชอบโดยรวม

6. จากการวิเคราะห์ทางด้านเคมีและกายภาพบางประการของแยมโดยวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงเจลของแยมเคลอริต้าจากเพกติน LM, C และ P กลุ่มที่ 1 แยมปราศจากน้ำตาลทรายสูตรที่ 1-3 ค่าความแข็งแรงเจลเท่ากับ 0.27, 0.06 และ 0.05 นิวตัน ตามลำดับ ค่าสี L* เท่ากับ 31.06, 29.18 และ 27.60 ตามลำดับ ค่า Hue angle เท่ากับ 82.20, 75.48 และ 66.71 ตามลำดับ ค่า Chroma เท่ากับ 5.00, 13.85 และ 8.28 ตามลำดับ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เท่ากับ 15.20, 14.67 และ 14.37 °Brix ตามลำดับ ค่าความเป็นกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก เท่ากับ 0.049, 0.056 และ 0.051 ตามลำดับ และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.12, 3.14 และ 3.14 ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำสูตรที่ 4-6 ค่าความแข็งแรงเจล เท่ากับ 0.46, 0.34 และ 0.29 นิวตัน ตามลำดับ ค่าสี L* เท่ากับ 34.84, 28.05 และ 28.06 ตามลำดับ ค่า Hue angle เท่ากับ 86.85, 78.03 และ 69.19 ตามลำดับ ค่า Chroma เท่ากับ 8.30, 11.97 และ 7.49 ตามลำดับ ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ เท่ากับ 45.13, 47.23 และ 46.77 ตามลำดับ ค่าความเป็นกรดทั้งหมดในรูปกรดซิตริก เท่ากับ 0.060, 0.066 และ 0.053 ตามลำดับ และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.15, 3.18 และ 3.18 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

การนำของเหลือทิ้งอย่างเปลือกลูกตาลอ่อนดิบมาสกัดเพกตินเพกตินเมทริกซ์โดยอาศัยกระบวนการหมุนเวียนเอทานอลที่ใช้แล้วในกระบวนการสกัดนำกลับมาใช้ซ้ำนั้นสามารถลดต้นทุนในกระบวนการสกัดได้ และยังพบอีกว่าเพกตินที่ได้จากเปลือกลูกตาลอ่อนดิบนี้ยังมีคุณสมบัติทั้งทางด้านเคมีและกายภาพเพียงพอที่จะผลิตผลิตภัณฑ์อาหารอย่างแยมแกลอรี่ต่ำ จึงกล่าวได้ว่าผลการศึกษานี้จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะนำไปเป็นแนวทางในการช่วยลดต้นทุนในการสกัดเพกติน หรือสามารถช่วยลดการนำเข้าเพกตินเมทริกซ์ที่นำเข้าจากต่างประเทศได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2555. ผักและผลไม้. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.
- กิตติพงษ์ ห่วงรักษ์. 2536. เอกสารประกอบการเรียนผักและผลไม้. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ. หน้า 249-270.
- การไฟฟ้านครหลวง, 2541. การคิดค่าไฟฟ้าด้วยตนเอง. วารสารภายในการไฟฟ้านครหลวง. 18 (178): 72-74.
- กรมศุลกากร กระทรวงการคลัง.(2550). สถิติการนำเข้า-ส่งออกสินค้า. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.customs.go.th>
- ฉัตรชัย สังข์ผุด, จีราภรณ์ สังข์ผุด และนพรัตน์ ผาสุข. 2550. คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของ เพกตินผงที่สกัดจากผลส้มโอ. งานประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยมหาวิทยาลัยทักษิณ (17): 1-10.
- ชมรมวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ. 2537. Food Focus. สัปดาห์วิทยาศาสตร์การอาหาร และโภชนาการครั้งที่ 5 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ: 15-22.
- ชวณิชูร์ สิทธิดิถกรัตน์, พิลาณี ไวถนอมสตัย, จีราภรณ์ เชื้อกุล และปริศนา สิริอาษา. 2548. การผลิต เพกตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลือง. การประชุมทางวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 43; 469-480.
- ณรงค์ สิริรัมย์. 2546. การสกัดและการหาลักษณะเฉพาะของเพกตินที่ได้จากกากฝรั่ง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.
- ณรงค์ สิริรัมย์ และเมธิณี เห่วซึ่งเจริญ. 2548. การสกัดและสมบัติของเพกตินจากกากฝรั่งพันธุ์กลม สาลี. งานวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, กรุงเทพฯ.
- ญาณินศิริ ถิ่นนคร. 2547. การพัฒนาผลิตภัณฑ์มาร์มาเลดส้มโอพลังงานต่ำ. ปรินูญญาฉบับจัด ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 132 หน้า.
- คุณกวี อุดภาพ . 2553. สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต-ไฮโดรคอลลอยด์ และการประยุกต์ใช้ใน อุตสาหกรรม. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- ธนุศักดิ์ ยอดดำเนิน. 2543. การผลิตแยมโดยใช้เพกตินจากเปลือกส้มโอพันธุ์ท่าฮ้อย. วิทยานิพนธ์ ปรินูญญาฉบับจัด ภาควิชาเคมี สถาบันราชภัฏเพชรบุรี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธารินี ทิมาบุตร. 2546. การประยุกต์ใช้ Polyols ในผลิตภัณฑ์ Semi-soft. ปัญหาพิเศษปริญญาบัณฑิต มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

นราพร เขาวีวิทยางค์กุล. 2543. การทำแยมสับประรดเคลือบรีต่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิรนาม. 2547. น้ำตาลทรายสาเหตุของโรค. คุณภาพชีวิต. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก

<http://www.manager.co.th/qol/viewnews.aspnewsID=4792468544839> (วันที่สืบค้น 14 มีนาคม 2556)

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2544. หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

นิธิยา รัตนาปนนท์. 2551. เคมีอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

นัยทัศน์ ภู่อรัมย์. 2543. รายงานการวิจัยการทำแยมสับประรดเคลือบรีต่า. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นัยทัศน์ ภู่อรัมย์. 2530. ศึกษาการสกัดเพกตินจากส่วนเหลือใช้ของจะปาดะ. วารสารสงขลานครินทร์ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: 5(1); 99-104.

น้ำทิพย์ นาเชียงใต้ และยุวภา ทศบุรุษ. 2550. ผลของ pH และอุณหภูมิต่อคุณภาพของเพกตินที่สกัดได้จากใบหมาน้อย. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ปกรณ์ นุชน้อย. 2526. การศึกษากระบวนการถ่ายเทมวลและความร้อนภายในเครื่องกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 169.

ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 213. 2543. เรื่อง แยม เยลลี่ และมาร์มาเลด ในภาชนะบรรจุที่เปิดสนิท.

ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. 2538. เทคนิคทางเคมี. สำนักพิมพ์ประกายพริก, หน้า 83-86.

ปรัชญา โรจนการกุล และมงคล ตั้งศรีตระการ. 2543. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกตินจากกากฝรั่ง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

ปาริชาติ หงสประภาส. 2545. เคมีกายภาพของอาหาร คอลลอยด์ อิมัลชัน เจล. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 121 หน้า.

พิเชษฐ เทบารุง. 2546. การหาปริมาณและคุณภาพของเพกตินจากใบหมาน้อย. วิทยานิพนธ์ วท.บ. มหาสารคาม, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. 2532. กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

ภัทริรา เลิศปถุงคพ. 2550. การเก็บรักษาเนื้อตาลสุกโดยการลดค่า a_w ร่วมกับการแช่แข็ง เพื่อใช้ในการทำขนมตาล. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี: 9(3): 11-19.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มณฑนา ร่วมรักษ์. 2543. ส่วนประกอบในการทำแยมและเยลลี่. การทำแยม เยลลี่ และมาร์มาเลด. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.ku.ac.th/e-magazine/december43/agri/jam.html>. (วันที่สืบค้น 22 ธันวาคม 2556)
- วุฒิชัย นาครักษา. 2555. คาร์โบไฮเดรตในอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- วรรณดา ตูลยชัย. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- วรวิมล เจริญศิริ. 2550. แอลกอฮอล์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.rvp.co.th/knowledge/SafetyDriving/indexalcohol04.htm> (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 สิงหาคม 2550)
- วรรณดา ตูลยชัย. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ.
- วาสนา อ่อนหวาน. 2534. การศึกษาจลนศาสตร์ในการสกัดเพกตินจากเปลือกเสาวรส. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วิศนี วรรณนิยม. 2552. การพัฒนาแยมเสาวรสดโดยใช้เพกตินจากเปลือกเสาวรสด. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- มาริษา ไชยโอสถ. 2549. การสกัดเพกตินจากของเหลือทิ้งของขนุน. วิทยานิพนธ์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- ศิริลักษณ์ สีนธวาลย์. 2533. การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารบำบัดโรค. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: 135-136.
- ศิวาพร ศิวเวชช. 2535. วัตถุประสงค์ของอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 328 หน้า.
- สารและการเปลี่ยนแปลง. 2555. การกลั่น. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก http://e-chemistry.tripod.com/sasan/s3_1.htm (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 สิงหาคม 2555).
- สมฤทัย จิตภักดีปดินทร์ และอมราวดี งามวาง. 2552. เพกตินจากเปลือกมะนาว. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, ปัตตานี.
- สุริดา ทองคำ และพูนศิริ ทิพย์เนตร. 2555. การสกัดเพกตินจากจาวตาล. วารสารวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. 9: 3-11.
- องอาจ เค็ดดวง. 2553. การเปรียบเทียบเพกตินสกัดจากฝรั่งสามชนิดกับเพกตินมาตรฐาน. สารนิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ: 3-11.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อดิศักดิ์ เอกโสภาวรรณ. 2538. ผลิตกัณฑ์แยมและเยลลี่พลังงานต่ำจากเป็งกะบุก. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 14(1): 37 - 44.

Abdullah, A. and Cheng, T. 2000. Optimization of reduced calorie tropical mixed fruits jam. Food Quality and Preference. 12: 63-68.

Acosta, O. 2006. Ingredient Levels Optimization and Nutritional Evaluation of a Low-calorie Blackberry (*Rubus irasuensis* Liebm.) Jelly. Journal of Food Sci. 71: 390-394.

Apirattananusorn, S. 2011. Development of Low Calorie Mangosteen Jam Supplemented with Rind of Mangosteen. KGU Res J. 2011; 16(7): 825-834.

Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 1990. Official method of analysis (15th ed.) Arlington Virginia. Association of official Analytical Chemist.

Baker, R. A., Berry, N. and Hui, Y.H. 1996. Fruit preserves and jams, In: Processing fruit; Science and Technology vol. I, ed. Somogyi, L.P. and Ramaswamy, H.S., Lancaster -Basel, pp.117-133.

Bakr, A. A. 1997. Application potential for some sugar substitutes in some low energy and diabetic food. Nahrung, 41(3): 170-175.

Berth, G., Anger, H. and Plashchina, I.G. 1982. Structural Study of the Solution of Acidic Polysaccharides. Study of some Thermodynamic Properties of the Dilute Pectin Solution with Different Degrees of Esterification. Carbohydrate polymer. 2;1.

Black, R.M. 1993. Sucrose in health and nutrition-facts and myths. Food Technol. 47(1):130-133.

Brake, N.C. and Fenema, O.R. 1993. Edible Coatings to Inhibit Lipid Migration in a Confectionary Product. Journal of Food Science. 58(6): 1422-1425.

Braverman, J.B.S. 1949. Citrus product. New York; Interscience Pub 88-92, 321-324, 361-369.

Broomfield, R.W. 1996. The Manufacture of preserves, flavourings and dried fruit. Fruit Processing, 166-182.

Chang, K.C., Dhurandhar, N., You, X. and Miyamoto A. 2006. sunflower head residue pectin extraction as affected by physical condition. Journal of Food Science. 59(6): 1207-1210.

Charley, H. and Weaver, C. 1998. Foods, A Scientific Approach, 3rd ed. Merrill, Upper Saddle River, NJ.

Christensen, P.E. 1954. Methods of Grading Pectin in Relation to the Molecular Weight (intrinsic viscosity) of Pectin. Food Research. 19: 163.

Dervisi, P. Lamb, J and Zabetakis, L. 2001. High pressure processing in jam manufacture: effects on textural and colour properties. Food Chemistry. 73(1): 85-91.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Einhornstoll, U., Glasenapp, N. and Kunzek, H. 1996. Modified Pectins in Whey-Protein Emulsion. *Nahrung Food*. 40(2): 60-67.
- Elshamei, Z. and Elzoghbi, M. 1994. Production of Natural Clouding Agents from Orange and Lemon Peels. *Nahrung Food*. 38(2): 158-166.
- Furia, T. E. 1983. Hand book of food additives. 2nd. ed. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. pp. 295-303, 307-310.
- Gajar, A. M. and Badrie, N. 2002. Processing and Quality Evaluation of a low-calorie Christoplene Jam. Sensory and Nutritive Qualities of Food. *J. of Food Science*. 67(1): 341-346.
- Gemeiner, P. 2012. Institute of Chemistry and Slovak Academy of Sciences. September 17. Available source: <http://www.genialab.de/inventory/pectinate.htm>.
- Giese, J. 1995. Measuring physical properties of foods. *Food Technol*. 49(2) 54-63.
- Holmer, M. 1991. Impacts of aquaculture on surrounding sediments: generation of organic-rich sediments. In: De Paurv N. Joyce J (eds) *Aquaculture and the environment*. EurAquacult Soc Spec Publ 16: 155-175.
- Hyvonen, L. and Torma, R. 1998. Examination of Sugars, Sugar Alcohols, and Artificial Sweeteners as Substitutes for Sucrose in Strawberry Jam. Keeping Quality Tests. *Journal of Food Sci*. 48: 186-192.
- International Pectin Producers Association. 2001. What is pectin?. September 15. Available source: http://www.ippa.info/types_of_pectin.htm.
- Kartesz, Z.I. 1951. The pectin substances. New York and London: Interscience Publisher, P. 628.
- Kawakatsu, T., Tragardh, G. and Tragardh C. 2001. The Formation of Oil Droplets in a Pectin Solution and the Viscosity of the Oil-in-Pectin Solution Emulsion. *Journal of Food Engineering*. 50(4): 247-254.
- Klavans, J.A., Bennett, R.D. and Vannier, S.H. 1994. Physical Chemical Nature of Pectin Associated with Commercial Orange Juice Cloud. *Journal of Food Science*. 59(2): 399-401.
- Kulkarni, S.G. and Vijayanand, P. 2010. Effect of Extraction Conditions on the Quality Characteristics of Pectin from Passion Fruit Peel. *Food science and Technology*. 43: 1026-1036.
- Levigne, S., Ralet, M. and Thibault, J. 2002. Characterization of Pectin Extraction from Fresh Sugar Beet under Different Conditions using an Experimental Design. *Carbohydrate polymers*. 49(2): 145-153.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- May, C.D. 1997. Pectin, In *Thickenning and Gelling Agent for Food*. ed. Imeson, A. Chapman and Hall, New York. 230-261.
- Michel, F., Doublier, J.L. and Thibault, J.F. 1982. Investigation of High Methoxyl Pectin by Potentionmetry and Viscometry. *Food Nutrient Science*. 6: 367.
- Molles, C. 2007. Extraction and Characterization of Pectins from Cocoa Budsks: A preliminary Study. *Food Chemistry*. 107: 1353-1356.
- MoHD, S.N., IsMAIL, RAMLI, N., MoHD, N., HANI and MEON, Z. 2012. Extraction and Characterization of Pectin from Dragon Fruit (*Hylocereus Polyrhizus*) using Various Extraction Conditions. *Sains Malaysiana*. 41(1): 41-45.
- Muhamadzadeh, J., Sadeghi-Mahoonak A.R., Yaghbani, M. and Aalami, M. 2010. Extraction of pectin from Sunflower Head Residues of Selected Iranian Cultivars. *Word Applied Science Journal* 8: 21-24.
- Nawawi, E. S. and Heikal, Y. 1995. Factor affecting the production of iow-ester pectin gel. *Carbohydrate Polymer*. 26(3): 189-193.
- Nobors, L. O. and Gelardi, R. C. 1991. Alternnative Sweeteners an Overview. In: *Alternnative Sweeteners*. ed. L. O. Nobors and Gelardi, R. C. pp. 39-70. Mercel Dekkar, Inc., New York.
- Nobors, L. O. and Lemineux, R. 1993. History of the commercial development of low-calorie food. In: A.M. Altschul (ed), *Low calorie food handbook*. pp. 91-107. Mercel Dekkar, Inc., New York.
- Oakenfull, D.G. 1991. The chemistry of High-methoxyl pectin. In: *The Chemistry and technology of pectin*. ed. Walter, R. H., Cornell university Geneva, Newyork. pp. 87-106.
- Pagan, J. and Ibarz, A. 1999. Extraction and Characterization of Pectin from Fresh Peach Pomace. *Journal of Food Engineering*. 39: 193-201.
- Pagan, J., Ibarz, A. Lorca, M., Pagan, A. and Barboza-Canovas, G.V. 2001. Extraction and Characterization of Pectin from Stored Peach Pomace. *Food Research International*, 24: 605-612.
- Perayra, R.A., Schmidt, K. and Wicker, L. 1995. Stability of Pectin-Casien Solutions. *IFT Annu. Meect. Conf. Book*. 219.
- Rangana, S. 1977. *Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products*. 2nd ed. Newdelhl: McGraw Hill.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Rolin, C. and Vries, J.D. 1990. Pectin. In: Food Gel, ed. P. Harris. Pp. 79-119. Great Britain by Galliard Ltd. Great Yarmouth.
- Rungrodnimitchai, S. 2011. Novel Source of Pectin from Young Sugar Palm by Microwave Assisted eExtraction. *Procedia Food Science* (1): 1553-1559.
- Schmidt, R. 1981. Gelation and coagulation. In: Protein Functionality in Foods. p.131. J.P. Cherry (Ed), ACS Series 147, Washington D.C.
- Schmidl, M. K. and Labuza, T. P. 2000. Nutrition and health claims: United States, In Blanchfield, J.R. (Ed.), Food labeling (pp.178-203), USA. : Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC
- Sharma, B.R., Naresh L., Dhuldhoya N.C., Merchant and S.U. U.C. Merchant. 2006. An Overview on pectin. *Time Food Processing Journal*. : 44-51.
- Silvachimica, S.R.I. and Indunor, S.A. 2005. Pectin, the perfect choice. September 17. Available source:<http://www.silvateam.com/index.php?lang=en&id=1,2,0&v2=1>.
- Simon, Q. F. 2003. What's in the Stuff We Buy. September 13. Available: source <http://sci-toys.com/ingredients/ingredients.html>.
- Silvateam. 2011. What is pectin?. 18 September. available source: <http://en.silvateam.com/Products-Services/Food-Ingredients/Pectin/What-pectin>.
- Sriamornsai, P. 2003. Chemistry of pectin and Its Pharmaceutical Uses: A Review. *Journal of social science*. Vol.3: 206-222.
- Sunyer, F.X. 1993. Effect of diet composition on energy intake. In: Low-calorie grape juice jelly. *Food Research and Technology*. 205(2): 140-142.
- Takahiro, K. 2001. The formation of oil droplets in a pectin solution and the viscosity of the oil-in-pectin solution emulsion. *Journal of Food Engineering*. 247–254.
- Wang, Q., Pagan, J. and Shi, J. 2002. Pectin from Fruits. In *Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects*. ORC Press. New York. 263-309.

ภาคผนวก ก.

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

1. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

วิธีการวิเคราะห์

1. นำ Aluminium can ออบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 3 °C จนน้ำหนักคงที่
2. ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม ด้วยตาชั่งละเอียดใส่ใน Aluminium can
3. นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 ± 3 °C เป็นเวลา 2 - 3 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่
4. ปิดฝาและทิ้งไว้ในเย็นใน โถดูดความชื้น (Dessicator)
5. ชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นในตัวอย่าง} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

2. การวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

วิธีการวิเคราะห์

1. เผาถ้วยกระเบื้องที่แห้งและสะอาดในเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นใน โถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักละเอียด 4 ตำแหน่ง และบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่างที่บดแล้วประมาณ 3.0000 กรัมใส่ในถ้วยกระเบื้อง
3. เผาตัวอย่างบน Hot plate จนกระทั่งหมดควัน (ทำให้ตู้ดูดควัน)
4. นำไปเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 3 - 4 ชั่วโมง จนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นเถ้าสีขาว
5. ปล่อยให้ถ้วยกระเบื้องจากเตาเผา จากนั้นทำให้เย็นใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักของถ้วย
6. กระเบื้องหลังเผา
7. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์เถ้า

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้าในตัวอย่าง} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้องหลังเผา} - \text{น้ำหนักถ้วยกระเบื้อง}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์}}$$

3. วิเคราะห์หาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (ดัดแปลงจาก Rāngana, 1977)

วิธีการวิเคราะห์

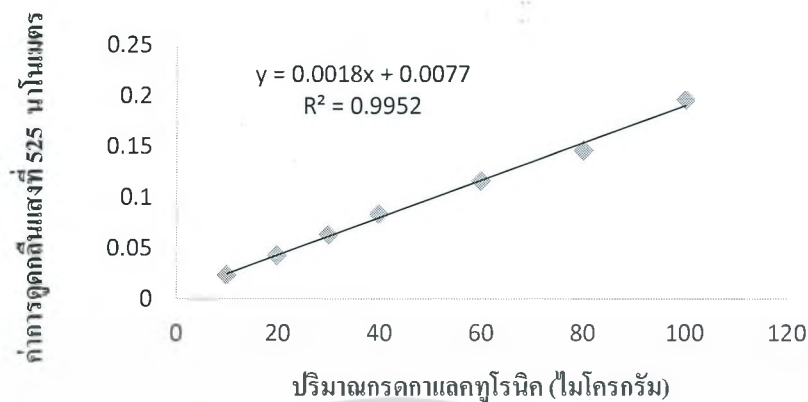
3.1. การทำกราฟมาตรฐาน

- 1) ชั่งน้ำหนักกรดกาแลคทูโรนิก 0.1 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร
- 2) ปิเปตสารละลายในข้อที่ 1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใสลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
- 3) ปิเปตสารละลายจากข้อ 2) มา 1, 2, 3, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร อย่างละ 1 ขวด และปรับปริมาตรแต่ละขวดให้เป็น 10 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
- 4) ปิเปตสารละลายในแต่ละความเข้มข้นจากข้อ 3 ใสลงในหลอดทดลองขนาดกลาง 3 หลอดๆ ละ 2 มิลลิลิตร เมื่อปิเปตสารละลายจนครบทุกความเข้มข้นใสในหลอดทดลองจะได้ทั้งหมด 18 หลอด
- 5) เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน
- 6) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 12 มิลลิลิตร ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 25 นาที
- 7) นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร แล้วสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับค่าดูดกลืนแสง

3.2. การเตรียมสารละลายตัวอย่าง

- 1) ชั่งน้ำหนักเพกติน 0.1 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ ใสลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วทิ้งไว้ 30 นาที
- 2) ปิเปตสารละลายเพกตินจากข้อ 1 ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร
- 3) ปิเปตสารละลายเจือจางใสลงในหลอดทดลองขนาดกลาง 3 หลอดๆ ละ 2 มิลลิลิตร
- 4) เติมสารละลายคาร์บาซอลเข้มข้นร้อยละ 0.1 ลงในหลอดทดลองหลอดละ 1 มิลลิลิตร
- 5) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 12 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 25 นาที
- 6) นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร แล้วนำไปหาปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกจากกราฟมาตรฐาน
- 7) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกในหน่วยไมโครกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดกาแลททูโรนิกและค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

3.3. การคำนวณ

คำนวณได้จากสมการเส้นตรง $y = ax + b$ ที่ได้จากกราฟมาตรฐาน

เมื่อ y คือ ปริมาณกรดกาแลททูโรนิก มีหน่วยเป็นไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

a คือ ค่าความชันของเส้นกราฟ

x คือ ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานหลังจากหัก Blank

คำนวณค่าดูดกลืนแสงของตัวอย่างเช่นเดียวกับสารละลายมาตรฐาน ทำให้ได้ค่า x นำไปแทนในสมการข้างต้น เพื่อคำนวณหาปริมาณกรดกาแลททูโรนิกที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งจำเป็นต้องนำมาคำนวณให้อยู่ในหน่วย มิลลิกรัมของตัวอย่างเริ่มต้น

- ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง คือ 0.124 และค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างสารละลายเพกตินในสมการกราฟมาตรฐาน $y = 0.0018x + 0.0077$

$$\text{แทนค่า } 0.124 = 0.0018x + 0.0077$$

$$x = (0.124 - 0.0077) / 0.0018$$

$$x = 64.61$$

ดังนั้น เพกตินมีปริมาณกรดกาแลททูโรนิก 64.61 ไมโครกรัม

ถ้าใช้ตัวอย่างสารละลายเพกติน 1.0 มิลลิลิตร (1,000 ไมโครลิตร) ก็จะมีปริมาณกรดกาแลททูโรนิกเท่ากับ

$$\text{กรดกาแลททูโรนิก} = 64.61 \mu\text{g} / 1,000 \mu\text{l}$$

$$= 0.06461 \mu\text{g} / \mu\text{l}$$

ดังนั้น ตัวอย่างความเข้มข้นของสารละลายเพกติน 0.1 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร จึงมีปริมาณกรดกาแลททูโรนิกเท่ากับ 0.06461 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าความเข้มข้น 100 ไมโครกรัม/ไมโครลิตร มีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิกคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้โดย

$$\begin{aligned}\text{ปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก (เปอร์เซ็นต์)} &= (100 \times 0.06461)/0.1 \\ &= 64.61\end{aligned}$$

ดังนั้น เพกตินมีปริมาณกรดกาแลคทูโรนิก 64.6 %w/w

4. การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด

วิธีการวิเคราะห์

4.1. การเตรียมสาร

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล เตรียมได้โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร นำสารละลายต่างที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสารละลายกรดเกลือมาตรฐานมาตรฐานความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ เตรียมได้โดยชั่งฟีนอล์ฟทาลีน 0.1 กรัม ละลายในแอลกอฮอล์ ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จนกระทั่งมีสีชมพูอ่อน ชั่งตัวอย่างแยมเคลอรีต้าที่ต้องการวิเคราะห์ประมาณ 10 กรัม เติมน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร ผสมจนแยมเคลอรีต้าและน้ำกลั่นผสมทั่วกัน กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 4 เก็บสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์ค่าคุณภาพ

4.2. การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด

ปริมาณกรดที่ไตเตรทได้ (Titratable acidity; TA) โดยเปิดสารละลายส่วนใส 10 มิลลิลิตร มาไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งถึงจุดยุติจะได้สารละลายสีชมพู บันทึกปริมาณของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ และคำนวณกรดที่ได้เป็นปริมาณกรดซिटริก โดยคำนวณจาก ค่ามาตรฐานซึ่งกำหนดว่า 1 มิลลิลิตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล ทำปฏิกิริยาสมมูลย์พอดีกับกรดซिटริก 0.0070 กรัม ตามสูตร

$$\text{ความเป็นกรดคิดเทียบกรดซिटริก (ร้อยละ)} = \frac{A \times B \times C \times 100}{D}$$

เมื่อ A = จำนวนนอร์มอลลิของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไตเตรท

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการไตเตรท (มิลลิลิตร)

C = ค่าคงที่ 0.0640 คือน้ำหนักสมมูลย์ของกรดซिटริก

D = ปริมาณตัวอย่าง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วิเคราะห์หาระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชัน, DE (ดัดแปลงจาก Rangana, 1977)

วิธีการวิเคราะห์

- 1) ชั่งผงเพกตินใส่ในขวดชมพู 3 ขวดๆ ละ 0.5 กรัม เติมเอทานอลขวดละ 2 มิลลิลิตร
- 2) ละลายด้วยน้ำที่ปราศจากคาร์บอน ขวดละ 100 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน หยดฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด
- 3)ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์
- 4) บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ครั้งที่ 1
- 5) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าทิ้งไว้ 15 นาที
- 6) เติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าจนสีชมพูหาย
- 7) เติมฟีนอล์ฟทาลีน 5 หยด
- 8) ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ จนสีชมพูเริ่มปรากฏ
- 9) บันทึกปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ครั้งที่ 2

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ DE

$$\% \text{ DE} = \frac{\text{NaoH volume 2}}{\text{NaoH volume 1} + \text{NaOH volume 2}} \times 100$$

- ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} \% \text{ DE} &= \frac{0.6 \times 100}{0.8 + 0.6} \\ &= 42.85 \end{aligned}$$

ดังนั้น ระดับการเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชันของเพกตินเท่ากับ 42.85

*หมายเหตุ: NaoH volume 1 คือ ปริมาณที่ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ครั้งที่ 1

NaOH volume 2 คือ ปริมาณที่ไทเทรตด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ครั้งที่ 2

6. การวิเคราะห์น้ำหนักสมมูล (Equivalent Weight; Eq.Wt.)

เตรียมสารเคมี

- 1) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล เตรียมโดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 มิลลิลิตร
- 2) โซเดียมคลอไรด์
- 3) ฟีนอลเรด อินดิเคเตอร์ เตรียมโดยละลายฟีนอล 0.1 กรัม ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.01 N ปริมาตร 28.2 มิลลิลิตรทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) น้ำกลั่นปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ เตรียมโดยต้มน้ำกลั่นให้เดือดนาน 15 นาที ปิดภาชนะให้สนิทเพื่อป้องกันคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

วิธีการวิเคราะห์

- 1) ชั่งผงเพกตินที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 0.5 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่นที่ไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนให้เพกตินละลาย
- 2) เติมโซเดียมคลอไรด์ ลงไป 1 กรัม เพื่อให้เห็นจุดยุติชัดเจนขึ้น
- 3) หยดฟีนอลเรดิอินดิเคเตอร์ 6 หยด นำไปไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 N จนกระทั่งอินดิเคเตอร์เปลี่ยนสี (สารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูเป็นเวลาอย่างน้อย 30 วินาที) บันทึกปริมาตรสารละลายมาตรฐานที่ใช้

คำนวณน้ำหนักสมมูล

$$\text{น้ำหนักสมมูล} = \frac{1,000 S}{NV}$$

*หมายเหตุ: S คือ น้ำหนักแห้งเพกตินที่ใช้ (กรัม)

N คือ ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไตเตรท (นอร์มัล)

V คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ไตเตรท (มิลลิลิตร)

- ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักแห้งของเพกตินที่มี} &= \frac{\text{น้ำหนักเพกติน} - (\% MC \times \text{น้ำหนักเพกตินที่ชั่ง})}{100} \\ &= \frac{0.5036 - (4.67 \times 0.5036)}{100} \\ &= 0.4800 \end{aligned}$$

*หมายเหตุ: % MC คือ ปริมาณความชื้น (% Wb)

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักสมมูล} &= \frac{1,000 \times 0.4800}{0.1 \times 1.6} \\ &= 3,000.51 \end{aligned}$$

ดังนั้น น้ำหนักสมมูลของเพกตินเท่ากับ 3,000.51 ดาลตัน

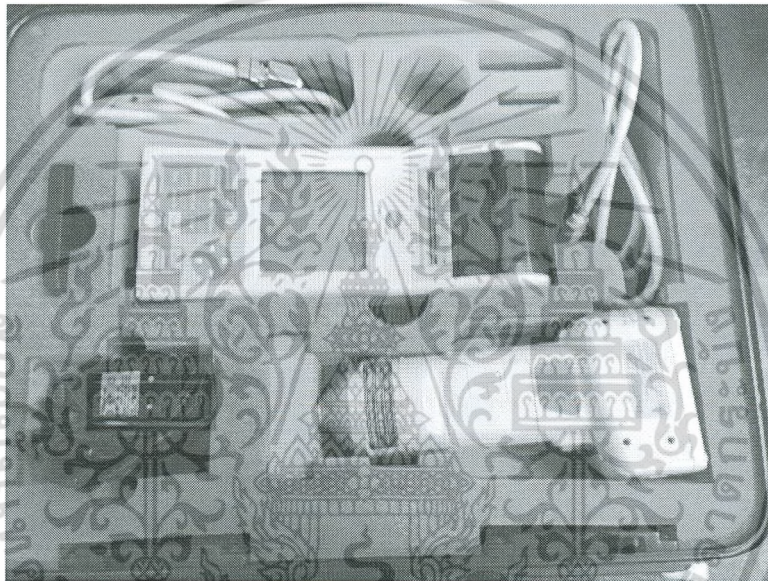
ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ

1. การวัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Hunter Lab Color

เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่อง Hunter Lab Color รุ่น Color Flex Type W 200
- 2) ตลับสำหรับใส่ตัวอย่างวัดสี



ภาพที่ ข-1 เครื่องวัดค่าสี Minolta รุ่น CR400 ประเทศญี่ปุ่น

การวิเคราะห์

- 1) ทำการ Standardize โดย Tile วางแผ่นสีต่ำลง บน port แล้วกด ok
- 2) หน้าจอจะขึ้นข้อความ Ready to read white tile วางแผ่นสีขาวลงบน port แล้วกด ok
- 3) หน้าจอจะขึ้นข้อความ Sensor successfully Std. ให้กด ok
- 4) วางตลับวัดสีที่มีตัวอย่างในช่องสำหรับวางตัวอย่าง กด Read sample เมื่อเครื่องวัดค่าสีเรียบร้อย ให้หมุนตัวอย่างแล้วกด Read sample ทำซ้ำ 10 ครั้ง ค่าวัดสีที่ได้จะแสดงอยู่ในรูป ค่า L^* , a^* และ b^*

เมื่อ L^* คือ ความสว่าง (Lightness) โดยมีค่าตั้งแต่ 0-100 a^* คือ ค่าสีแดง-เขียว โดย ค่า a^* เป็นค่า + แสดงค่าสีแดง, a^* เป็นค่า - แสดงค่าสีเขียว b^* คือ ค่าสีเหลือง-น้ำเงิน โดย ค่า b^* เป็นค่า + แสดงค่าสีเหลือง, b^* เป็นค่า - แสดงค่าสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) นำค่า L^* , a^* และ b^* ที่ได้จากการวัดสีด้วยเครื่อง Hunter Lab colour Flex มาคำนวณให้อยู่ในรูป Hue angle และ Chroma โดยค่า Hue angle เป็นค่ามุม (องศา) ที่ทำกับแกน a^* โดยค่ามุม 0° เท่ากับ สีแดง ค่ามุม 90° เท่ากับ สีเหลือง, ค่า 180° เท่ากับ สีเขียว และค่า 270° เท่ากับ สีน้ำเงิน ซึ่งค่า Hue angle สามารถคำนวณได้จากสูตร $\text{Hue angle} = \arctan b^*/a^*$ หน่วยที่ได้จะแสดงในรูปของค่า radian ในการแสดงผลต้องมีการเปลี่ยนจากหน่วย Radian ให้เป็นหน่วย Degree สำหรับค่า Chroma เป็นค่าแสดงความบริสุทธิ์ของสี โดยเมื่อ Plot กราฟระหว่างค่า a^* (แกน x) และ b^* (แกน y) ค่า Chroma คือความยาวของเส้นกราฟ โดยกราฟที่มีความยาวมาก แสดงว่าตัวอย่างนั้นมีความบริสุทธิ์ของสีมาก สามารถคำนวณค่า Chroma ได้จากสูตร $\text{Chroma} = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$

ตารางที่ ข-1 ค่าสีของเพคตินทั้ง 4 ชนิด (L^* , a^* , b^* , Hue angle และ Chroma)

ค่าสี	C	P	PW	เพคตินทางการค้า
L^*	65.04±0.53 ^a	64.81±0.71 ^a	64.99±0.35 ^a	82.99±0.24
a^*	5.13±0.05 ^b	6.26±0.47 ^c	5.18±0.06 ^b	3.19±0.06
b^*	14.93±0.19 ^a	17.12±0.44 ^b	15.06±0.11 ^a	14.78±0.28
Hue	71.05±0.34 ^b	69.94±1.41 ^a	70.80±0.44 ^{ab}	77.83±0.04
Chroma	15.78±0.18 ^a	18.24±0.48 ^b	15.92±0.09 ^b	15.13±0.28

หมายเหตุ : ^{a,b,c...} หมายถึง ตัวอักษรกำกับต่างกัน ในแนวนอน แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

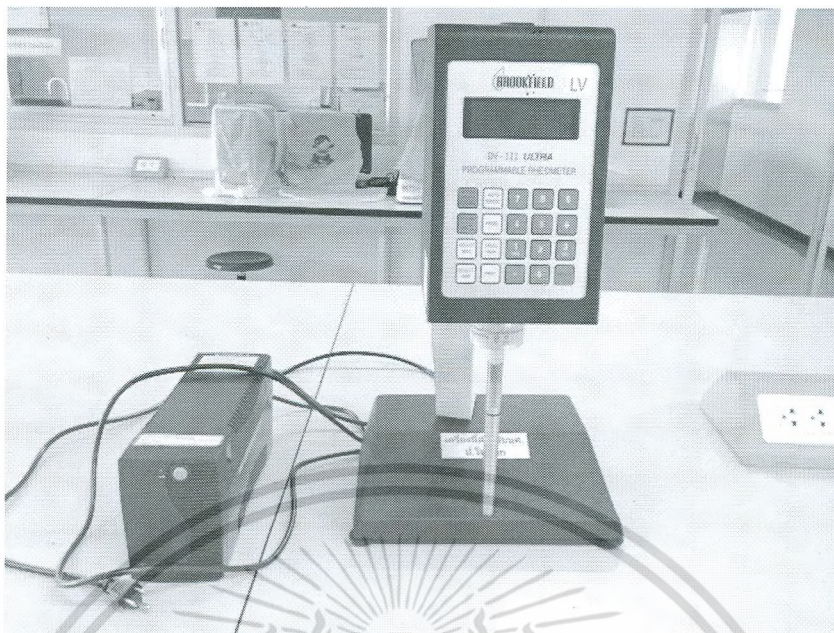
2. การวิเคราะห์ค่าความหนืด ตามวิธีของ Brookfield viscosity

Brookfield viscometer เป็นมาตรฐานความหนืด (viscometer) ประเภท rotational viscometer ที่ใช้วัดความหนืด (viscosity) ของของเหลวมีหน่วยเป็นเซนติพอยด์ (centipoises) นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหาร ตัวเครื่องประกอบด้วยแท่งโลหะทรงกระบอก (Spindle) จะหมุนอยู่ในของเหลวที่ต้องการวัด โลหะทรงกระบอกนี้หมุนได้โดยต่อกับมอเตอร์ การวัดความหนืดจะวัดแรงเสียดทานของของเหลวออกมาเป็นค่า Torque และนำมาคำนวณ โดยการคูณด้วยค่าคงที่ตามที่กำหนดมากับเครื่อง หรือสามารถอ่านค่าเป็น centipoises ได้โดยตรงจากเครื่อง

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) Brookfield viscometer
- 2) ชุด Small sample adapter
- 3) หัววัดเบอร์ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข-2 เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer รุ่น LVDV-III U ประเทศสหรัฐอเมริกา

การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมสารละลายเพกตินที่มีความเข้มข้น 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 และ 1.8% โดยละลายผงเพกตินในน้ำอุ่นปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

นำตัวอย่างสารละลายเพกตินความเข้มข้น 0.3, 0.6, 0.9, 1.2, 1.5 และ 1.8% ปรับอุณหภูมิให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brookfield viscometer โดยใช้เข็มวัด spindle เบอร์ 18 ด้วยความเร็วรอบ 180 รอบ/วินาที บันทึกค่าความหนืดมีหน่วยเป็น เซนติพอยส์ (Centipoise, cPs) โดยแต่ละตัวอย่างจะทำการวัด 3 ครั้งจากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ ข-2 ระดับความเข้มข้นของเพกตินทั้ง 4 ชนิดที่มีผลต่อความหนืด (cPs)

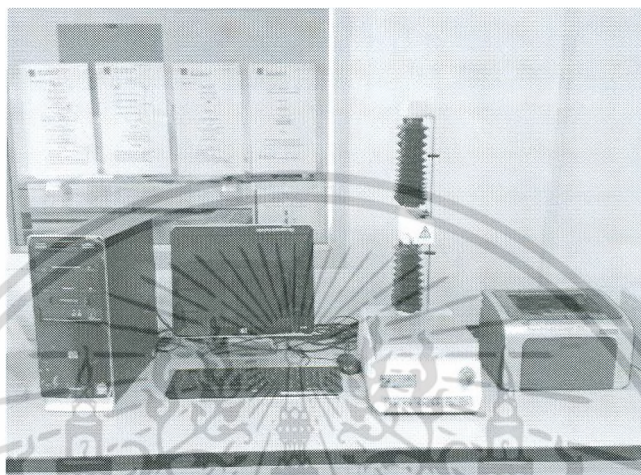
ระดับความเข้มข้น (%)	ความหนืดเพกตินที่สกัดได้ทั้ง 3 กระบวนการ (cPs)			เพกตินทางการค้า
	C	P	PW	
0.1	1.75±0.01	1.27±0.01	1.12±0.01	2.04±0.02
0.3	2.53±0.02	2.01±0.02	1.43±0.01	3.37±0.01
0.6	4.89±0.01	2.95±0.02	2.25±0.10	6.39±0.01
0.9	7.63±0.02	4.62±0.01	3.17±0.01	11.26±0.01
1.2	13.82±0.01	9.75±0.01	8.23±0.02	17.25±0.03
1.5	15.76±0.01	10.92±0.02	9.34±0.03	24.42±0.02
1.8	16.16±0.01	11.05±0.03	9.90±0.02	25.02±0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ตามการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวัดค่าเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i

อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i
- 2) ชุด sample holder



ภาพที่ ข-3 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture Analyzer รุ่น TA-XT2i ประเทศอังกฤษ

การเตรียมตัวอย่าง

เตรียมแยมเคลอรีต้าและให้เซตตัวในขวดแก้วปริมาตรประมาณ 50 มิลลิลิตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 45 มิลลิเมตร ความสูงประมาณ 50 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ 18 ชั่วโมงก่อนนำมาวัดค่า ทำการวัด 3 ซ้ำ

สภาวะที่ใช้ในการวัดค่า

การวิเคราะห์เนื้อสัมผัสของแยมเคลอรีต้าใช้เครื่อง Texture Analyser (Model TA-XT2i, England) โดยเตรียมแยมให้เซตตัวในขวดแก้วปริมาตร 50 มิลลิลิตร ความสูงประมาณ 50 มิลลิเมตร ทิ้งไว้ 18 ชั่วโมงก่อนนำมาวัดค่า ใช้หัววัดแบบทรงกระบอก (Cylinders) ขนาด P0.5R กดลงบนตัวอย่างลงไป 4 มิลลิเมตร กำหนดจุดอ้างอิงที่กำหนด คือ ที่จุดสัมผัสระหว่างหัววัดกับตัวอย่างให้เป็นระยะที่ 0 วัดค่าความแข็งแรงของเจล 3 จุดของแต่ละซ้ำ โดยวัดค่าแรงที่ทำให้เจลแตก บันทึกค่าที่ได้

4. การวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของแยมเคลอรีต้า โดยนำตัวอย่างแยมเคลอรีต้าใส่ในขวดแก้วปริมาตรปริมาตร 50-100 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความสูงประมาณ 50 มิลลิเมตร ทำการวัด 3 ซ้ำ โดย

วัดค่าความเป็นกรด-ด่างของแยมเคลอรีต้า ที่ 3.00-3.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid; TSS)

การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) ของแยมเคลอริต้า นำตัวอย่างแยมเคลอริต้ามาวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid) ด้วยเครื่องวัดค่าของแข็งที่ละลายน้ำ (Hand Refractometer) บริษัท ATAGO ประเทศญี่ปุ่น ค่าที่ได้บันทึกเป็น องศาบริกซ์ ($^{\circ}\text{Brix}$)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
ตารางอัตราไฟฟ้าบ้าน

ตารางที่ ก-1 อัตราไฟฟ้าบ้านที่ใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด	คือ	ไม่มีการใช้ไฟฟ้า	4.77	บาท
5 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 1-5)	เป็นเงิน	4.96	บาท
10 หน่วยต่อไป	6-15 หน่วย	หน่วยละ	0.7124	บาท
10 หน่วยต่อไป	16-25 หน่วย	หน่วยละ	0.8993	บาท
10 หน่วยต่อไป	26-35 หน่วย	หน่วยละ	1.1516	บาท
65 หน่วยต่อไป	36-100 หน่วย	หน่วยละ	1.5348	บาท
50 หน่วยต่อไป	101-150 หน่วย	หน่วยละ	1.6282	บาท
250 หน่วยต่อไป	151-400 หน่วย	หน่วยละ	2.1329	บาท
เกิน 400 หน่วย	401 ขึ้นไป หน่วย	หน่วยละ	2.4226	บาท

- ตัวอย่างการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการกลั่นเอธิลแอลกอฮอล์ กำหนดกำลังไฟฟ้าเครื่องกลั่นมีค่าเท่ากับ 2,716 วัตต์ (W) ต้องกลั่นเอธิลแอลกอฮอล์ ทั้งหมดได้ 60 ลิตร, กลั่นครั้งละ 250 มิลลิลิตร และจำนวนการกลั่นทั้งหมด 240 ครั้ง

จะได้ว่า

5 หน่วย × 4.96	=	24.8	บาท
10 หน่วย × 0.7124	=	7.124	บาท
10 หน่วย × 0.8993	=	8.993	บาท
10 หน่วย × 1.1516	=	11.516	บาท
65 หน่วย × 1.5348	=	99.762	บาท
50 หน่วย × 1.6282	=	81.410	บาท
250 หน่วย × 2.1324	=	533.225	บาท
89 หน่วย × 2.4226	=	91.423	บาท
ผลรวม	=	858.253	บาท

ดังนั้น พลังงานไฟฟ้า 489 หน่วย = 858.253 บาท/60 ลิตร

หรือ มีราคาการกลั่นต่อลิตร 14.30 บาท/ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตรคำนวณหาการใช้ไฟฟ้า (การไฟฟ้านครหลวง, 2541.)

$$\text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Unit)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (W)} \times \text{จำนวนเครื่องไฟฟ้า} \times \text{จำนวนครั้ง}}{1,000 \times \text{เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)}}$$

- ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้เครื่องกลั่นมีกำลังไฟฟ้าทั้งหมด 2,716 วัตต์ (W)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Unit)} &= \frac{2,716 \text{ วัตต์ (W)} \times 1 \times 45 \text{ นาที} \times 240 \text{ ครั้ง}}{1,000 \times 60 \text{ นาที}} \\ &= 2.037 \text{ หน่วย} \times 240 \text{ ครั้ง} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องกลั่น 240 ครั้ง ใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 488.88 หน่วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.
 วัสดุดิบที่ใช้สกัดเพกติน

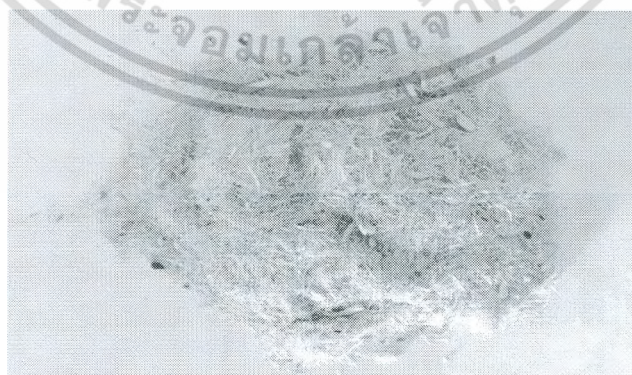
1. เปลือกตาลดิบจากจังหวัดเพชรบุรี



ภาพที่ ง-1 ลูกตาลโตสด



ภาพที่ ง-2 เปลือกลูกตาลโตสด



ภาพที่ ง-3 ผงเปลือกลูกตาลโตสดที่ผ่านการอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.
ภาพผงเพคตินที่สกัดได้

1. ผงเพคตินจากกระบวนการสกัดเพคตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์ 95 % โดยไม่ใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ (Conventional process, C)



ภาพที่ จ-1 ผงเพคตินทางการค้า

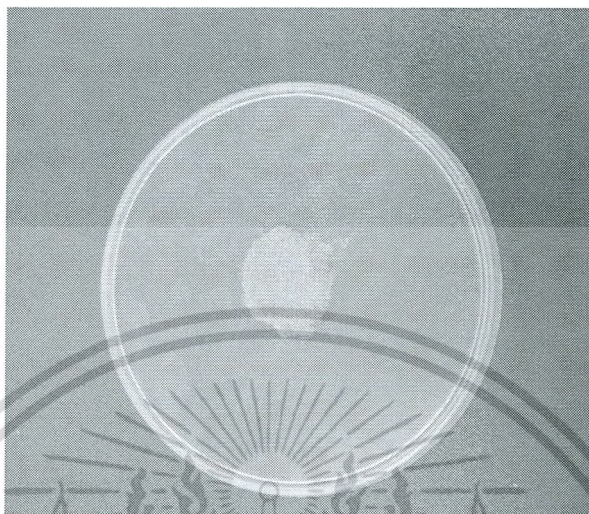
2. ผงเพคตินจากกระบวนการสกัดเพคตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation, P)



ภาพที่ จ-2 ผงเพคตินจากการใช้เอธิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผงเพกตินจากกระบวนการสกัดเพกตินจากการใช้เอริลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง (Precipitation and Washing, PW)



ภาพที่ จ-3 ผงเพกตินจากการใช้เอริลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนในขั้นตอนการตกตะกอนและการล้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.
ภาพแยมเคลอรีต้า

1. ภาพผลิตภัณฑ์แยมเคลอรีต้าจากเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต้า (LM)



ภาพที่ จ-1 แยมเคลอรีต้าจากเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต้า (LM) กลุ่มที่ 1 แยมปราศจากน้ำตาลทราย สูตรที่ 1



ภาพที่ จ-2 แยมเคลอรีต้าจากเพกตินทางการค้าหมู่เมทอกซิลต้า (LM) กลุ่มที่ 2 แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำ สูตรที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า, ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ภาพผลิตภัณฑ์แยมแกลอรี่ต่ำจากเพกตินจากการใช้เอริลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์
(Conventional process; C)



ภาพที่ ฉ-3 แยมแกลอรี่ต่ำจากเพกตินจากการใช้เอริลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ (Conventional process; C) กลุ่มที่ 1 แยมปราศจากน้ำตาลทราย สูตรที่ 2



ภาพที่ ฉ-4 แยมแกลอรี่ต่ำจากเพกตินจากการใช้เอริลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ (Conventional process; C) กลุ่มที่ 2 แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำ สูตรที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ภาพผลิตภัณฑ์แยมเคลือบที่ต่ำจากแพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนใน
ขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation; P



ภาพที่ จ-5 แยมเคลือบที่ต่ำจากแพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนใน
ขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation; P) กลุ่มที่ 1 แยมปราศจากน้ำตาลทราย สูตรที่ 3



ภาพที่ จ-6 แยมเคลือบที่ต่ำจากแพกตินจากการใช้เอซิลแอลกอฮอล์นำกลับมาใช้ใหม่ทดแทนใน

ขั้นตอนการตกตะกอน (Precipitation; P) กลุ่มที่ 2 แยมปริมาณน้ำตาลทรายต่ำ สูตรที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช.

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์แยมเคลอรีต้า

โดยให้คะแนนความชอบแบบ Hedonic scale

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

คำแนะนำ : กรุณาทดสอบตัวอย่าง แล้วให้คะแนนความชอบแต่ละคุณลักษณะของแยมตามคำอธิบายคะแนนความชอบด้านล่างนี้ และ กรณียบวุ่นป่าระหว่างตัวอย่าง

- | | | |
|-------------------|-------------|-----------------|
| 1-ไม่ชอบมากที่สุด | 2-ไม่ชอบมาก | 3-ไม่ชอบปานกลาง |
| 4-ไม่ชอบเล็กน้อย | 5-เฉยๆ | 6-ชอบเล็กน้อย |
| 7-ชอบปานกลาง | 8-ชอบมาก | 9-ชอบมากที่สุด |
- สี กลิ่น ลักษณะปรากฏ ลักษณะการทา รสชาติ ความชอบรวม

รหัสตัวอย่าง

.....
.....
.....
.....
.....
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

1. ค่าจ้างชั่วคราว	93,440.00	บาท
2. ค่าใช้สอย	55,000.00	บาท
3. ค่าวัสดุ	114,000.00	บาท
4. งบลงทุน	95,000.00	บาท
	รวม	357,440.00 บาท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ - นามสกุล นาย กิตติชัย บรรจง
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ ระดับ 7
หน่วยงาน คณะอุตสาหกรรมเกษตร
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนจตุพล
 เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

ประวัติการศึกษา

วท.บ. (เกษตรศาสตร์) เกียรตินิยมอันดับ 1 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 M.Sc. (Agricultural and Food Engineering), The Most Outstanding Hizamatsu Prize
 Asian Institute of Technology

D.Tech.Sc. (Agricultural and Food Engineering), Asian Institute of Technology

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ Food Process Engineering and Physical Properties of Food
 Materials

การเสนอผลงานวิชาการ

1. พิศิษฐ์ศักดิ์ วิเศษสกุล และ กิตติชัย บรรจง. 2556. การคัดแยกถั่วลิสงเพื่อลดปริมาณอฟลาทอกซินด้วยคุณสมบัติความหนาแน่นของเมล็ด. บทความวิจัยฉบับสมบูรณ์การนำเสนอผลงานวิจัยแบบบรรยายและการจัดนิทรรศการทางวิชาการ ราชภัฏวิชาการเพื่อท้องถิ่น ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 14-16 กุมภาพันธ์ 2556 :194-199.
2. คุณหญิง ศรีเจริญ, อพัชชา จินดาประเสริฐ, อติสร เสวตวิวัฒน์ และ กิตติชัย บรรจง. 2554. การศึกษาแหล่งปนเปื้อนของเชื้อราในขั้นตอนการบรรจุนมพลาสเจอไรซ์. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยบูรพา 2554 ระหว่าง 6-7 กรกฎาคม 2554, ณ มหาวิทยาลัยบูรพา, จังหวัดชลบุรี : 1-9.
3. มัลลิกา ไชยวุฒิ, กิตติชัย บรรจง, จุฑารัตน์ เศรษฐกุล และ อติสร เสวตวิวัฒน์. 2554. ผลของการหมักต่อคุณภาพและการยอมรับของไส้กรอกอีสานจากเนื้อโคพื้นเมืองไทยที่หมักในไส้หมูสดและไส้คอลลาเจน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 29(3 เล่ม 2): 18-27.
4. กิตติชัย บรรจง และ วราภรณ์ มงคลสัมฤทธิ์. 2553. ผลของอุณหภูมิสกัดและความเข้มข้นของเอชานอลที่มีต่อปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลนิธิสระของเกลือทะเลเสริมสารสกัดกากองุ่น: ในรายงานการประชุมวิชาการ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 8 วันที่ 19 มีนาคม 2553, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต, จังหวัดปทุมธานี :PFD01

5. Thiangtham, S. and Banjong, K. 2012. Comparison of ultrasonic and ultrasonic assisted heat extraction for red grape pomace. International conference on food and applied bioscience 6-7 February 2012, Chiangmai, Thailand: P45(150)
6. Thuto, W. and Banjong, K. 2011. A finite element method for study of microwave heat distribution model. The 4th SUT Graduate Conference 2011: 36-46.
7. Yuthanawa, A. and Banjong, K. 2010. Computer software for GMP and HACCP audit report arrangement. King Mongkut's Agro-Industry journal 2 (2): 56-65.
8. Wisetsunthorn, P. and Banjong, K. 2010. Application of Image Processing to Analyse Surface Characteristics of Shrimp during Drying. King Mongkuts Agricultural Journal, 28(2):29-36.
9. Banjong, K. 2008. Application of compression platen method to measure canned rice texture. In proceeding of the international symposium for the strategy on globalization of Asian foods, Mokpo National University, Republic of Korea. May,30th:43-52.(441p.)
10. Banjong, K. 1999. Study on physical properties of bacterial cellulose. In abstract of research in university in Thailand 1997-99, Bangkok, Thailand. p.400 (868p.)
11. Adulprasertsook, S., S. Boonit and K. Banjong. 1994. Water activity measuring instrument for food product. In proceeding of Thailand National Agricultural Machinery Conference on Technology for Agricultural Improvement, Bangkok, Thailand.p.249 (304p.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้