



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมบัติของเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามต่อพฤติกรรมการเกิดเจล

Characteristics of jellose from tamarind seed powder to the gelling behaviour

นางพอใจ ถามากร

RCH

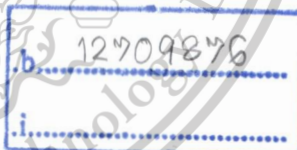
พ 4852

2556

เลขหมู่

เลขทะเบียน 138242

วันเดือนปี - 5 มี.ค. 2558



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตรประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ สมบัติของเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามต่อพฤติกรรมการเกิดเจล

Research Title Characteristics of jellose from tamarind seed powder to the gelling behaviour

แหล่งเงิน เงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตร

ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 100,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2555 ถึง 30 ก.ย. 2556

หัวหน้าโครงการวิจัย นางพอใจ งามากร (Mrs Porjai Thamakorn)

หน่วยงานต้นสังกัด คณะอุตสาหกรรมเกษตร (Faculty of Agro-Industry)

### บทคัดย่อ

ผงเมล็ดมะขามเตรียมจากเมล็ดมะขามที่ปลูกในจังหวัดเพชรบูรณ์ ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของผงเมล็ดมะขามพบปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ร้อยละ 64.36, 16.07 และร้อยละ 8.69 ของน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด พบว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่กำจัดไขมัน และผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมัน มีอุณหภูมิเริ่มต้นในการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่ 53 และ 51 องศาเซลเซียส ตามลำดับ สำหรับ peak viscosity, breakdown, และ setback พบว่าผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันมีค่าสูงกว่า ผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่กำจัดไขมัน ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ผลจากการศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีของสารละลายเจลโลสสกัดที่  $27.5 \pm 2.5$  และ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส ที่ pH = 3, 4 และ 5 ที่สารละลายเจลโลสเข้มข้นร้อยละ 2 มีแนวโน้มแสดงพฤติกรรมการไหลแบบนอนนิวโตเนียนประเภทซูโดพลาสติก และพบว่า ดัชนีบ่งบอกการไหลเท่ากับ 0.99 และ 0.91 ตามลำดับ และดัชนีความคงตัวหรือความหนืดของเจลโลสสกัดที่  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส ที่ pH = 4 มีค่าสูงสุด เมื่อเพิ่มสัดส่วนปริมาณเจลโลสถึงร้อยละ 60 ทำให้ค่าความแข็งเจลสูงขึ้น ยกเว้นที่ร้อยละความเข้มข้น 3.5 ในขณะที่การเพิ่มสัดส่วนเจลโลสมากกว่าร้อยละ 60 กลับทำให้ค่าความแข็งเจลลดลง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 ถึง 2.5 และการใช้เจลโลสทดแทนเพกตินทั้งหมดทำให้ความแข็งเจลสูงกว่าการใช้เพกตินอย่างเดียว แต่ที่ความเข้มข้น 3.0 และ 3.5 การใช้เพกตินทั้งหมดจะให้ค่าความแข็งเจลสูงกว่า

คำสำคัญ: ผงเมล็ดมะขาม, เจลโลส, สมบัติด้านความหนืด, สมบัติทางรีโอโลยี, เพกติน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

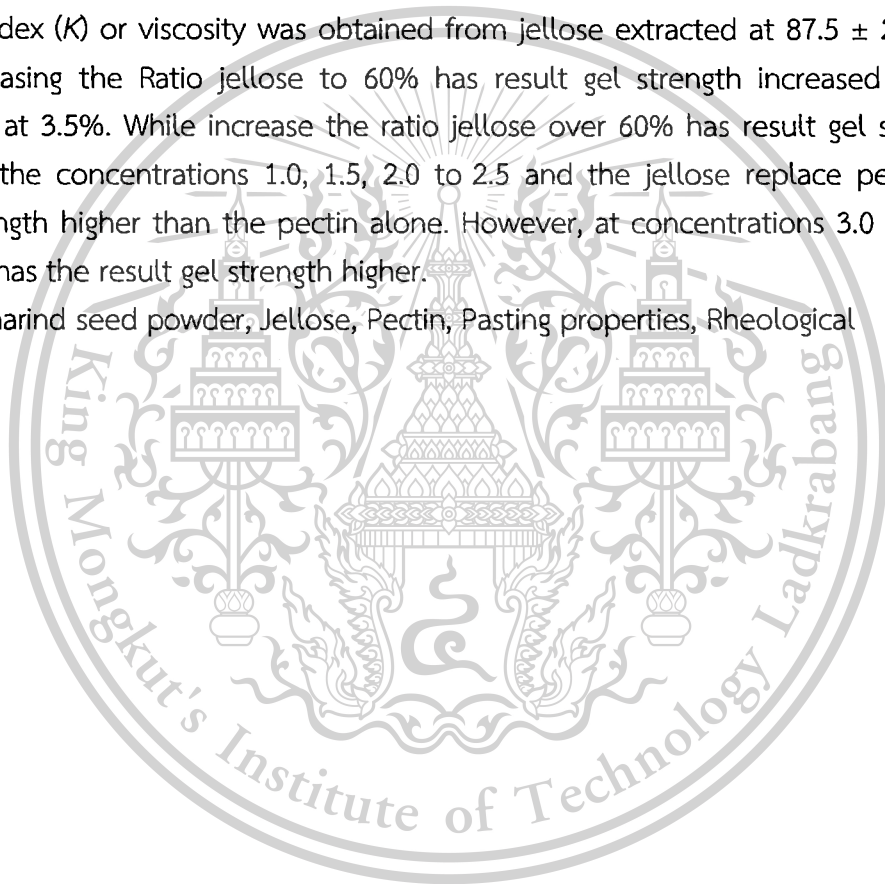
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ABSTRACT

Tamarind seed powder (TSP) prepared from tamarind seed with grown in phetchabun province, Thailand. The proximate analysis of TSP found carbohydrate, protein, fat and as 64.36, 16.07 and 8.69 % db, respectively. The TSP and defatted TSP were analyzed for pasting properties, result showed pasting temperature to be 53°C and 51°C, respectively. For of viscosity parameter; peak viscosity, breakdown and setback, defatted TSP possessed higher value than non defatted TSP at significantly ( $P < 0.05$ ). Rheological properties of jellose solution extracted at temperature  $27.5 \pm 2.5$  °C and  $87.5 \pm 2.5$  °C at pH = 3, 4 and 5 with 2% concentration exhibited non-newtonian pseudoplastic type with flow behaviour index  $n = 0.99$  and  $n = 0.91$  respectively. Higher consistency index ( $K$ ) or viscosity was obtained from jellose extracted at  $87.5 \pm 2.5$ °C at pH = 4. Increasing the Ratio jellose to 60% has result gel strength increased expect concentration at 3.5%. While increase the ratio jellose over 60% has result gel strength decreased at the concentrations 1.0, 1.5, 2.0 to 2.5 and the jellose replace pectin all make gel strength higher than the pectin alone. However, at concentrations 3.0 and 3.5 the pectin all has the result gel strength higher.

**Keyword:** Tamarind seed powder, Jellose, Pectin, Pasting properties, Rheological properties



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ น.ส.สินีนาง สุชะวัลติ นักศึกษาปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรการอาหารของ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ที่มีความอุตสาหะในการช่วยให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์อย่างดี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวก ทำให้การทำงานราบรื่นไม่มีอุปสรรค และการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากแหล่งทุนเงินรายได้คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2556 ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ผศ.ดร.พอใจ ถามากร  
หัวหน้าโครงการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ.....	iv
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 มะขาม.....	3
2.2 เมล็ดมะขาม.....	3
2.3 ไฮโดรเจล.....	6
2.4 เพกติน.....	11
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ.....	18
3.1 วัสดุดิบ.....	18
3.2 เครื่องมือ.....	18
3.3 สารเคมี.....	19
3.4 สถานที่ในการดำเนินงาน.....	19
3.5 วิธีการดำเนินการ.....	19
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	23
4.1 การเตรียมผงเมล็ดมะขาม.....	23
4.2 ศึกษาคุณสมบัติความหนืดของผงเมล็ดมะขาม.....	24
4.3 ศึกษาสภาวะการสกัดเจลลอส.....	28
4.4 ศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจลลอสต่อพฤติกรรม การเกิดเจล.....	32
4.5 ศึกษาผลของสัดส่วนเพกตินและเจลลอสต่อพฤติกรรมเกิดเจล.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	39
บรรณานุกรม.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมล็ดมะขามเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเนื้อมะขาม เนื้อในเมล็ดมะขามในส่วนของเอนโดสเปิร์มใช้ผลิตผงเมล็ดมะขาม (tamarind seed powder) ผงเมล็ดมะขามมีปริมาณโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 50 – 60 โพลีแซคคาไรด์หลักที่พบ คือ ไฮโลกลูแคน มีความสามารถในการเกิดเจลในสารละลายน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์ (Marathe *et al.*, 2002) และโพลีแซคคาไรด์อื่นๆ เช่น เจลแลน แชนแทนกัม คาร์ทีซิน เป็นต้น ไฮโลกลูแคนจากผงเมล็ดมะขามจะฟอร์มตัวเป็นเจลเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลอยู่ที่ร้อยละ 40-70 (Nishinari *et al.*, 2009) อาจเรียกโพลีแซคคาไรด์ที่มีความสามารถในการเกิดเจลของผงเมล็ดมะขามว่า โพลีโอส (polyose) นอกจากนี้มีคุณสมบัติในการฟอร์มตัวเป็นฟิล์มได้ดี มีความคงตัวสูง แม้จะอยู่ในช่วง pH ที่กว้าง (Marathe *et al.*, 2002)

ไฮโลกลูแคนเป็นโพลีแซคคาไรด์มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูง คงตัวต่อความร้อนได้ดี ทนกรดและแรงเฉือน ในอุตสาหกรรมอาหารไฮโลกลูแคนมีการใช้กันอย่างกว้างขวางเป็นสารให้ความข้นหนืด ให้ความคงตัว ทดแทนไขมัน หรือเป็นแบริ่งตัดแปรเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการไหลและความร้อนของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ไอศกรีม น้ำสลัด มายองเนส เส้นก๋วยเตี๋ยว สตูว์ เป็นต้น (Pongsawatmanit *et al.*, 2006) อุตสาหกรรมอาหารของประเทศญี่ปุ่นยังได้อนุญาตให้นำผงเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว และสารที่ทำให้เกิดเจล โดยนำมาใช้ร่วมกับกัมอื่นๆ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ดีขึ้น เช่น กัวกัมและอัลจิเนต (Marathe *et al.*, 2002 และ Gidley *et al.*, 1991) ไฮโลกลูแคนสามารถที่จะฟอร์มตัวเป็นเจลได้เมื่อมีน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์ มีคุณสมบัติและลักษณะคล้ายกับเพกตินจากผลไม้ซึ่งจะฟอร์มตัวเป็นเจลเมื่อมีกรดและน้ำตาล และยังสามารถรวมกับเพกตินเกิดเป็นเจลในผลิตภัณฑ์ เช่น แยม เยลลี่ มามาร์เลต เป็นต้น ภายใต้สภาวะที่เท่าเทียมกับเพกตินที่น้ำตาลความเข้มข้น 60-70 องศาบริกซ์ นอกเหนือจากการใช้ในแยม เยลลี่ จะใช้ในลูกกวาด น้ำสลัดและมายองเนสของหวานแช่เย็น เช่น ไอศกรีม นมเย็น น้ำแข็งและเชอร์เบต (Marathe *et al.*, 2002)

ปัจจุบันประเทศไทยยังคงต้องนำเข้าเพกตินอยู่ในราคาที่สูงโดยราคาเพกตินขึ้นอยู่กับแหล่งวัตถุดิบและเกรดของเพกติน เพกตินเกรดอุตสาหกรรม ราคาประมาณ 3,800 บาท/กิโลกรัม และเกรดห้องปฏิบัติการและใช้ในทางยา ราคาตั้งแต่ 6,000-10,000 บาท/กิโลกรัม ทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าเพกตินที่มีมูลค่าสูงจากประเทศต่างๆ เช่น อังกฤษ อเมริกา เป็นต้น มาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ (ชวนิษฐ์

และคณะ, 2548) จึงได้มีความสนใจที่ศึกษาสมบัติของเจลโอสจากผงเมล็ดมะขามและพฤติกรรมการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
เจล และปรับปรุงคุณสมบัติการเกิดเจลของผงเมล็ดมะขามเพื่อใช้ทดแทนการใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์อาหาร  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 1.2 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามเพื่อนำไปศึกษาการเกิดเจลที่ระดับ pH และความเข้มข้นต่างๆ รวมถึงการผสมเจลโลสร่วมกับเพกตินที่อัตราส่วนต่างๆ เพื่อศึกษาพฤติกรรม การเกิดเจล

## 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของผงเมล็ดมะขาม
- 1.3.2 ศึกษาการผลิตเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามและพฤติกรรม การเกิดเจล
- 1.3.3 ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเจลโลสต่อพฤติกรรม การเกิดเจล
- 1.3.4 ศึกษาสัดส่วนเพกตินต่อเจลโลสต่อพฤติกรรม การเกิดเจล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 มะขาม

มะขาม (tamarind) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica* L. มะขามเป็นไม้ยืนต้นที่มีขนาดกลางจนถึงขนาดใหญ่ ผลัดใบเรื้อนยอดเป็นพุ่มกลมทึบ เปลือกสีน้ำตาลแตกเป็นร่องลึกตามยาวและขวางลำต้น ใบประกอบแบบขนนกชั้นเดียว ปลายคู่เรียงสลับ มีใบย่อย 8-10 คู่ ดอกมีขนาดเล็กสีเหลืองอมส้ม และมีจุดประสีแดง/ม่วงแดงอยู่กลางดอก (WIK, 2008) ออกเป็นช่อแบบช่อกระจายตามปลายกิ่งหรือลำต้น ฝักมีลักษณะโค้งสีน้ำตาล รูปทรงขอบขนาน ดังรูปที่ 2.1 เมื่อฝักแก่เมล็ดจะมีสีดำเป็นมันวาว ใน 1 ฝักจะมีประมาณ 1-10 เมล็ด ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวของฝักแต่ละสายพันธุ์ (ชูศักดิ์, 2550) มะขามมีถิ่นกำเนิดเดิมคือเป็นพืชพื้นเมืองในแถบทุ่งหญ้าแห้งแล้งของทวีปแอฟริกา ต่อมากระจายไปในแถบละตินอเมริกา หมู่เกาะแถบแคริบเบียน และทวีปเอเชีย (Gibbon and Pain, 1985) ปัจจุบันมีการปลูกมะขามกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มประเทศในเขตร้อน สำหรับประเทศอินเดียมะขามนับว่าเป็นพืชเศรษฐกิจพื้นบ้านที่สำคัญ เช่นเดียวกับประเทศในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมทั้งประเทศไทยด้วย

สำหรับประเทศไทยมีการปลูกทั้งมะขามเปรี้ยวและมะขามหวานตามจังหวัดต่างๆ จังหวัดที่มีการปลูกมากได้แก่ เพชรบูรณ์ เลย ลำปาง เชียงใหม่ นครราชสีมา และอุบลราชธานี (ชูศักดิ์, 2550)



รูปที่ 2.1 ลักษณะดอก (ก) ฝัก (ข) และเมล็ด (ค) ของมะขาม

#### 2.2 เมล็ดมะขาม

เมล็ดมะขาม (tamarind seed) เมื่อแก่จัดจะแข็ง มีสีน้ำตาลเข้ม ผิวเรียบเป็นมัน เมล็ดจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมหัวป้าน ภายในมีเนื้อประกอบด้วยแป้งประมาณร้อยละ 63 โปรตีนร้อยละ 16 และไขมันร้อยละ 5.5 สามารถใช้ประกอบอาหารได้ (โสภณ, 2550) ภายในเมล็ดมะขามมีกรด อะมิโนจำเป็น คือ cysteine และ methionine ทั้งนี้โปรตีนภายในเนื้อของเมล็ดมะขามยังอุดมไปด้วย lysine, glutamic acid, aspartic acid, glycine และ leucine (Bhattacharya et al., 1994) นอกจากนี้ในส่วนของไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ของเนื้อในเมล็ดมะขามยังมีการนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการทำว กระจาด วัสดุพลาสติก และสกัดสารประเภทกัมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (Phillips *et al.*, 1989) สำหรับเมล็ดมะขามยังมีสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร ยาและเครื่องสำอาง ในส่วนของของเหลวที่สกัดได้จากเมล็ดมะขาม พบว่ามีโปรตีนที่ออกฤทธิ์เป็น antidiabetic และ antihyperlipidemic ซึ่งช่วยลดระดับน้ำตาลในเลือดและปริมาณของคอเลสเตอรอลพร้อมทั้งไตรกลีเซอไรด์ในหนูตัวผู้ที่เป็ นโรคเบาหวาน เนื่องจากได้รับสาร streptozocin (STZ) ได้อีกด้วย

### 2.2.1 การลอกเปลือกเมล็ดมะขาม

จากรายงานของ Chaiakdanukull and Sriroth (2005) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีลอกเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม 3 วิธี คือ วิธีที่ 1 เป็นการลอกเปลือกโดยไม่ใช้ความร้อน (non-heating) โดยทำการบดเมล็ดมะขามและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 10 มิลลิเมตร แยกเปลือกหุ้มเมล็ดออก จากนั้นนำไปแช่น้ำ 2-3 ชั่วโมง แล้วขัดเอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก และนำเมล็ดไปทำแห้งด้วยตู้อบแบบถาด (tray dry) อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง วิธีที่ 2 เป็นการลอกเปลือกโดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบด pin mill และวิธีที่ 3 เป็นการลอกเปลือกโดยการคั่วเมล็ดมะขามที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบด pin mill จากวิธีการลอกเปลือกทั้ง 3 วิธี พบว่า ให้ผงมะขามที่มีร้อยละผลผลิตไม่แตกต่างกัน คือ ประมาณร้อยละ 50 และมีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน และการลอกเปลือกวิธีที่ 1 ผงมะขามที่ได้ยังมีค่าความสว่างและความขาวมากกว่าผงมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกด้วยความร้อน โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับผงเมล็ดมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกโดยการคั่วที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที และจากการศึกษาด้านคุณสมบัติการไหลพบว่า ผงเมล็ดมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกที่ความเข้มข้นร้อยละ 3 มีคุณสมบัติการไหลแบบ pseudoplastic และไม่แสดงคุณสมบัติ yield stress ในขณะที่ผงมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกโดยไม่ผ่านความร้อนจะมีค่า consistency coefficient (k) สูงกว่าผงมะขามที่ผ่านการให้ความร้อนทั้ง 2 วิธีอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ค่า flow behavior index (n) มีค่าต่ำกว่า

พวงเพชร (2522) ทดลองลอกเปลือกเมล็ดมะขาม โดยนำเมล็ดมะขามไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดกำมะถันความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นาน 3 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการแช่ในสารละลายกรดกำมะถันความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นาน 1, 2 และ 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปล้างน้ำแล้วนับจำนวนเมล็ดที่ลอกเปลือกได้ พบว่าเมล็ดมะขามที่แช่ในสารละลายกรดกำมะถันความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นาน 3 ชั่วโมง มีร้อยละมะขามที่ลอกเปลือกได้สูงสุด นอกจากนี้ยังทำการแช่เมล็ดมะขามที่อบในตู้อบอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที ในสารละลายกรดกำมะถันความเข้มข้น 1 โมลาร์ นาน 3 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการแช่เมล็ดมะขามซึ่งไม่ผ่านการอบในสารละลายกรดกำมะถันชนิดเข้มข้น นาน 67 ชั่วโมง และการแช่เมล็ดมะขามในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 ร้อยละ นาน 15 นาที พบว่าเมล็ดไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะขามที่ผ่านการอบร้อนที่ 105 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที แล้วแช่ในสารละลายกรดกำมะถัน 1 โมลาร์ นาน 3 ชั่วโมง มีร้อยละมะขามที่ลอกเปลือกได้สูงที่สุด

## 2.2.2 องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของผงเมล็ดมะขาม

องค์ประกอบและโครงสร้างทางเคมีของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม (tamarind kernel powder, TKP) ประกอบด้วยสารโพลีแซคคาไรด์มากกว่าร้อยละ 65 โปรตีนร้อยละโดยประมาณ 15 - 21 ไขมันร้อยละโดยประมาณ 3 - 8 ดังแสดงในตารางที่ 2.1 กัมจากมะขามเป็นองค์ประกอบหลักของผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ซึ่งโครงสร้างทางเคมีประกอบไปด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 ชนิด คือน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลคโตส ซึ่งเรียกว่า “ไซโลกลูแคน” ตามชนิดของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่พบ (Freitas *et al.*, 2005 ; Ren *et al.*, 2005 ; Patel *et al.*, 2008 and Marcus *et al.*, 2008)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อในเมล็ดมะขาม

องค์ประกอบ	ค่าร้อยละ
โพลีแซคคาไรด์	65.1 - 72.2
โปรตีน	15.0 - 20.9
ไขมัน	3.9 - 8.0
เส้นใย	2.5 - 8.2
ความชื้น	11.4 - 22.7
เถ้าทั้งหมด	2.4 - 4.2

ที่มา : Kumar and Bhattacharya (2008)

## 2.2.3 คุณสมบัติของผงเมล็ดมะขาม

ผงมะขามสามารถกระจายตัวและรวมตัวกับน้ำเย็นได้อย่างรวดเร็ว โดยจะมีความหนืดสูงสุด เมื่อต้มกับน้ำร้อนเป็นเวลา 20 - 30 นาที โดยสารละลายผงเมล็ดมะขามมีสมบัติการไหลแบบนอนนิวโตเนียน ชนิดซูโดพลาสติก และยังเป็นสารขึ้นรูปที่สำคัญของอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นสารให้ความข้นหนืดที่ตีมากแก่น้ำยาฟารา และเป็นแหล่งของสารที่ทำให้เกิดเจลที่เรียกว่า “เจลโลส” นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติในการขึ้นรูปเป็นฟิล์มได้อีกด้วย ผงเมล็ดมะขามนั้นมีโพลีแซคคาไรด์อย่างน้อยร้อยละ 50 - 60 โดยมีความสามารถในการเกิดเจลในสารละลายน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์ และสามารถทนต่อสภาพความเป็นกรดได้ดี มีคุณสมบัติและลักษณะที่คล้ายกับเพกตินในผลไม้ ที่ใช้ผลิตเยลลี่ แยมผิวส้ม และแยมผลไม้ นอกจากนี้อุตสาหกรรมอาหารของประเทศญี่ปุ่นยังได้อนุญาตให้นำผงเมล็ดมะขามที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้วมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว และสารที่ทำให้เกิดเจล โดยนำมาใช้ร่วมกับกัมอื่นๆ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ดีขึ้น เช่น กัวกัม และอัลจิเนต (Marathe *et al.*, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.2.4 ประโยชน์ของผงมะขาม

ผงเมล็ดมะขามสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น นำไปใช้เป็นวัตถุเติมในการสกัดไซโลกลูแคนหรือเจลลอส ใช้เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตได้ โดยผงเมล็ดมะขามมีราคาถูกและสามารถนำไปทดแทนในอาหารสัตว์ได้และมีโปรตีนที่มีค่า biological value สูง (บัญชา, 2520) นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ นอกจากอุตสาหกรรมอาหารอีกด้วย เช่น อุตสาหกรรมทอผ้า อุตสาหกรรมยา เป็นต้น

## 2.3 ไซโลกลูแคน

ไซโลกลูแคน (xyloglucan) คือ พอลิแซคคาไรด์ หรือ กัม ที่ได้จากเมล็ดพืชประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลคโตส เก็บสะสมอยู่ที่ผนังเซลล์ของเอนโดสเปิร์ม (endosperm) หรือใบเลี้ยง (cotyledons) ส่วนมากพบในพืชตระกูลฝัก เช่น มะขาม และมะค่าโมง (พิมพ์ดี และ อนันตติยา, 2551)

### 2.3.1 โครงสร้างทางเคมีของไซโลกลูแคน

ไซโลกลูแคน เป็นพอลิแซคคาไรด์กัมชนิดหนึ่งประกอบด้วยน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์สามชนิดคือน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลคโตส โดยมีน้ำตาลกลูโคสเป็นสายโซ่หลักแล้วมีสายกิ่งเป็นน้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลคโตส (Yamanaka, 2000) ไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากเมล็ดมะขามมีโครงสร้างหลักคือ (1-4)- $\beta$ -D-glucan และมี (1-6)- $\alpha$ -D-xylose เป็นสายกิ่งซึ่งมี (1-2)- $\beta$ -D-galactoxylose เข้าแทนที่บางส่วน ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งหากตัดส่วนที่เป็นกาแลคโตสในไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขามออกไปบ้าง (ประมาณร้อยละ 44) โดยเอนไซม์  $\beta$ -1, 2-galactosidase ผลิตภัณฑ์ที่ได้เมื่อผสมกับน้ำแล้วให้ความร้อนเกิดเจลแบบ thermally reversible gel ที่อุณหภูมิระหว่าง 22-27 องศาเซลเซียส ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1-2 น.น./น.น. (Miyazaki *et al.*, 1998)

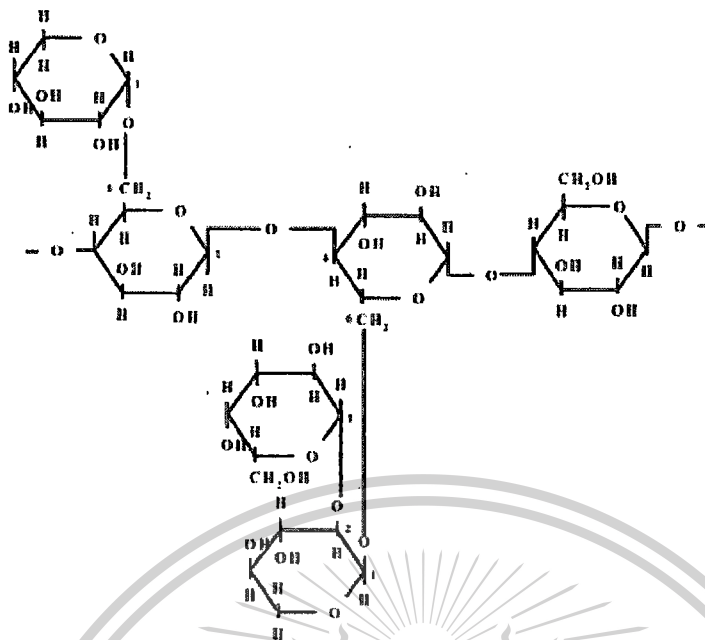
การใช้เอนไซม์ตัดกาแลคโตสที่มีอยู่ออกไปในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 50 จะแสดงความสามารถในการเป็นเจลของไซโลกลูแคนได้ ขณะที่ไซโลกลูแคนที่ไม่ผ่านการตัดแปรใดๆจะสามารถละลายในน้ำเย็นและเกิดเป็นเจลได้เมื่ออยู่ในแอลกอฮอล์หรือสารละลายน้ำตาลที่มีปริมาณมากๆ โดยมากกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนักเท่านั้น (Shirakawa *et al.*, 1998 ; Yamanaka *et al.*, 2000 and Nishinari *et al.*, 2000)

ไซโลกลูแคนที่สกัดได้จากเมล็ดพืชต่างชนิดกันจะมีอัตราส่วนระหว่างน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลไซโลสต่อน้ำตาลกาแลคโตสที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้ไซโลกลูแคนต่างชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันด้วย (Ren *et al.*, 2005) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 สำหรับค่าสัดส่วนน้ำตาลกลูโคสต่อน้ำตาลไซโลสต่อน้ำตาลกาแลคโตส ซึ่งค่าสัดส่วนที่แปรผันนั้นอาจขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาวะแวดล้อมที่เพาะปลูก เช่น ธาตุอาหารในดิน ปริมาณน้ำ อุณหภูมิ เป็นต้น (Dea and Morrison, 1975)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขาม  
ที่มา : Puja *et al.* (2008)

ตารางที่ 2.2 สัดส่วนระหว่างน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลคโตส จากเมล็ดพืชชนิดต่างๆ

ชนิดพืช	กลูโคส	ไซโลส	กาแลคโตส
<i>Azafia africana</i> Se. <sup>1</sup>	2.95	2.22	1.00
<i>Detarium senegalense</i> Gmelin <sup>2</sup>	2.89	2.17	1.00
<i>Hymenaea courbaril</i> <sup>3</sup>	2.69	2.27	1.00
<i>Tamarind indica</i> L. <sup>1</sup>	3.09	2.33	1.00

ที่มา : <sup>1</sup>Ren *et al.*, (2005), <sup>2</sup>Wang *et al.*, (1996), <sup>3</sup>Freitas *et al.*, (2005)

### 2.3.2 การสกัดไซโลกลูแคน

พวงเพ็ชร (2522) ได้ทดลองสกัดไซโลกลูแคนออกจากฝงเมล็ดมะขาม ที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 40 เมช ด้วยน้ำร้อน โดยควบคุมสารละลายนี้ให้มีอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส นาน 50 นาที จากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงเหลือ 55 องศาเซลเซียส เติมเอนไซม์ diastase ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 โดยปริมาตรลงไปในสารละลาย คงอุณหภูมินี้ไว้นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการกรองแล้วตกตะกอนไซโลกลูแคน จากสารละลายดังกล่าวด้วยเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 ในอัตราส่วนสารละลายต่อไซโลกลูแคน ต่อเอทิลแอลกอฮอล์ประมาณ 2:3 โดยปริมาตร นำไซโลกลูแคนที่สกัดได้ ไปอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส แล้วบดเป็นผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อรรถวิทย์ (2540) ได้ศึกษาการเตรียมโพลีแซคคาร์ไรด์จากเมล็ดมะขามโดยนำผงเมล็ดมะขามมาสกัดไขมัน สีและกลิ่นด้วย บีโตร์เลียม ฮีเทอร์ และเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ตามลำดับ แล้วศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำสกัด ผลของการตกตะกอนแยกโพลีแซคคาร์ไรด์ วิธีการทำให้แห้งและอุณหภูมิที่ทำการสกัดแอลกอฮอล์ จากการศึกษาคุณสมบัติของโพลีแซคคาร์ไรด์และการไหล (rheology) ของสารสกัดพบว่า การศึกษาผลของความเข้มข้นของน้ำสกัด สัดส่วนของผงเมล็ดมะขามต่อน้ำ 1:40, 1:60 และ 1:80 (น้ำหนัก/ปริมาตร) สามารถใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงแยกตะกอนได้ จากนั้นทำการแยกโพลีแซคคาร์ไรด์ โดยใช้วิธีต่างๆ คือ (1) ตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 อัตราส่วน 1: 1.5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) กรองเก็บตะกอนด้วยผ้าขาวไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส (2) ตกตะกอนด้วย เกลือ-เอทิลแอลกอฮอล์ กรองเก็บตะกอนด้วยผ้าขาวไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส (3) เหนี่ยวน้ำสกัดลงในภาตแล้วนำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส และ (4) นำน้ำสกัดไปทำแห้ง จากการศึกษาพบว่า การสกัดตามวิธีที่ (2) ต้องใช้เอทิลแอลกอฮอล์ปริมาณมาก ในการล้างเอาเกลือที่ใช้ในการตกตะกอนออกและล้างออกยาก การอบแห้งโดยวิธีที่ (3) พบว่าโพลีแซคคาร์ไรด์ที่ได้เกาะแน่นติดกับภาชนะแยกออกได้ยาก การตกตะกอนด้วย เอทิลแอลกอฮอล์ ให้โพลีแซคคาร์ไรด์สีขาว เช่นเดียวกับการ spray dry จากการศึกษาผลของอุณหภูมิของสารสกัดพบว่า การแยกสกัดที่ 3 อุณหภูมิ คือที่ 5 , 25 - 30, 85 - 90 องศาเซลเซียส พบว่าส่วนที่แยกสกัดที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส และ 85 - 90 องศาเซลเซียส ได้โพลีแซคคาร์ไรด์ที่มีลักษณะขาวและมีความหนืดดี ในการสกัดระดับ pilot scale ได้ทำการสกัดอย่างต่อเนื่อง 3 ขั้นตอน คือ (1) สกัดด้วยน้ำ 10 เท่าตัว ที่ 5 องศาเซลเซียส (2) สกัดด้วยน้ำ 40 เท่าตัว ที่ 25 - 30 องศาเซลเซียส (3) สกัดด้วยน้ำ 40 เท่าตัว ที่ 85 - 90 องศาเซลเซียส พบว่าสารสกัดที่ 5 องศาเซลเซียส ให้สารละลายที่มีความหนืดต่ำ แม้ว่าเตรียมในความเข้มข้นที่สูง สำหรับโพลีแซคคาร์ไรด์ที่สกัดได้ในขั้นตอนที่ (2) และ (3) ได้ปริมาณโพลีแซคคาร์ไรด์เท่ากับร้อยละ 8 และ 21 ตามลำดับ และยังให้สารสกัดที่มีความหนืดสูงกว่า โดยสารสกัดที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นร้อยละ 2 หรือ สูงกว่า มีคุณสมบัติการไหลที่เป็นซูโดพลาสติก เช่นเดียวกับสารสกัดที่อุณหภูมิ 85 - 90 องศาเซลเซียส ที่ร้อยละ 1.5 หรือสูงกว่า แต่สารสกัดที่อุณหภูมิ 85 - 90 องศาเซลเซียส ยังมีความหนืดน้อยกว่าโพลีแซคคาร์ไรด์ที่จำหน่ายในท้องตลาดที่ความเข้มข้นเท่ากัน

วารี (2543) ศึกษาการผลิตโพลีแซคคาร์ไรด์ จากเมล็ดมะขามโดยใช้สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ และกระบวนการกรองเพื่อกำจัดโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ทำการแยกโมเลกุลของโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาร์ไรด์จากเมล็ดมะขามในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ โดยใช้คลื่นเหนือเสียง ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแยกโปรตีนออกจากอนุภาคของโพลีแซคคาร์ไรด์ จากผงเมล็ดมะขามคือ ความเข้มข้นของผงเมล็ดมะขาม เท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร เวลาในการผ่านคลื่นเหนือเสียงประมาณ 60 วินาที และความเข้มข้นของสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์เท่ากับร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จะให้ร้อยละการกำจัดโปรตีนเท่ากับ 92.203 และร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาร์ไรด์เท่ากับ 68.512 เมื่อนำภาวะที่เหมาะสมสำหรับการแยกอนุภาคโปรตีนออกจากอนุภาคโพลีแซคคาร์ไรด์มาใช้ในการกรองโดยกวาดผิวหน้าของตัวกรองเอกด้วยใบ้กวาด พบว่าร้อยละการกำจัดโปรตีนและร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาร์ไรด์เท่ากับ 81.216 และ 68.512 ตามลำดับ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

70.995 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโพลีแซคคาริไรด์ร้อยละ 93.61 ปริมาณของโปรตีนและปริมาณของไขมันร้อยละ 4.884 และ 1.540 ตามลำดับ

Marathe และคณะ (2002) ได้ศึกษาพฤติกรรมในการเกิดเจลของผงเมล็ดมะขาม โดยได้ทำการแยกโพลีโอสจากผงเมล็ดมะขาม โดยใช้กรดในการย่อยและตกตะกอนผงเมล็ดมะขามด้วยแอลกอฮอล์และทำแห้งได้เป็นผงโพลีโอส แล้วนำผงโพลีโอสที่ได้กับเพกตินมาละลายในสารละลายน้ำตาล 50 องศาบริกซ์ ต้มนาน 20 - 30 นาที ให้ได้สารละลายน้ำตาลเข้มข้น 65 องศา บริกซ์ การใช้เพกตินอย่างเดียวจะทำให้เจลมีความแข็งแรงดี ในขณะที่เพกติน/โพลีโอส 80:20 และ 60:40 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และ 2.0 พบว่าเจลจะแข็งแรงดี และในอัตราส่วนเพกติน/โพลีโอส 40:60, 20:80 และ 0:100 เจลจะเซตตัวดีที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 หากความเข้มข้นสูงกว่าร้อยละ 2 เยลลี่ที่ได้จะแข็งและยากที่จะเคี้ยว ดังนั้นโพลีโอสร้อยละ 2 สามารถใช้ร่วมกับเพกตินร้อยละ 1 ในการผลิตเยลลี่ได้เหมาะสม

Ikeda และคณะ (2004) ได้ศึกษาการนำไซโลกลูแคนผสมกับเจลแลน ซึ่งพบว่าเจลแลนและไซโลกลูแคนไม่พอร์มตัวเป็นเจลที่ความเข้มข้นต่ำกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักตามลำดับ ในขณะที่ผสมเจลแลนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และ ไซโลกลูแคนร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักจะพอร์มตัวที่ single-phase gel แสดงให้เห็นถึงการเสริมกันของเจลแลนและไซโลกลูแคน โดยพบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของไซโลกลูแคนจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเจลแลนในการผสม และโครงสร้างตาข่ายของเจลแลนเกิดขึ้นได้แม้ที่ความเข้มข้นต่ำกว่าการใช้เจลแลนเพียงอย่างเดียว

Yuguchi และคณะ (2004) กล่าวว่าไซโลกลูแคนในสารละลายสามารถเกิดเจลได้หลากหลายเมื่อสภาวะเปลี่ยนแปลง เช่น (1) การใช้เอนไซม์  $\beta$ -galactosidase (2) การเติมแอลกอฮอล์ต่างๆ (3) การเติมโพลีฟีนอลต่างๆ (4) การเติมสารละลายไอโอดีน (เจลลี่) โดยศึกษาลักษณะโครงสร้างของไซโลกลูแคนเจลในตัวทำละลายผสมน้ำ/เอทิลแอลกอฮอล์ พบว่าความแข็งแรงของเจลขึ้นกับชนิดของแอลกอฮอล์

Chaiakdanukull และ Sriroth (2005) ได้ทำการสกัดไซโลกลูแคน ที่ดัดแปลงจากวิธีของ York *et al.*, 1990 โดยนำผงเนื้อในเมล็ดมะขามจาก (วิธีที่ 1) ที่ผ่านการลอกเปลือกโดยไม่ใช้ความร้อน (วิธีที่ 2) จากการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และ (วิธีที่ 3) การคั่วเมล็ดมะขามที่ 200 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จำนวน 30 กรัม ไปสกัดเอาไขมันออกด้วยเฮกเซน จากนั้นนำไปอบเพื่อระเหยเฮกเซนออกแล้วจึงนำไปละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 3 ลิตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที โดยทำการคนตลอดเวลาแล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อวินาที นาน 30 นาที ตกตะกอนสารละลายโพลีแซคคาริไรด์ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 70 ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยทิ้งไว้ข้ามคืน หลังจากนั้นจึงนำไปหมุนเหวี่ยงอีกครั้งที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อวินาที นาน 30 นาที นำไซโลกลูแคนที่สกัดได้ไปทำแห้ง โดยการ freeze dry แล้วนำไปหาค่าน้ำหนักโมเลกุล (Mw) พบว่าไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขามที่ผลิตจากวิธีที่ 1 มีค่า  $Mw 3.831 \times 10^6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กรัม/โมล ส่วนค่า Mw ของไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขามที่ผลิตจากวิธีที่ 2 และ 3 มีค่า  $3.44 \times 10^6$  และ  $3.304 \times 10^6$  กรัม/โมล ตามลำดับ

Temsiripong และคณะ (2005) ได้ศึกษาผลของไซโลกลูแคนต่อสมบัติทางกายภาพโดยเฉพาะด้านรีโอโลยีและความร้อนของแป้งมันสำปะหลัง โดยศึกษาด้านรีโอโลยีทั้งแบบไดนามิก และแรงเฉือนที่คงที่ และด้านความร้อนของของผสม (dispersions) ระหว่างแป้งมันสำปะหลังและไซโลกลูแคน ด้วยวิธี DSC เพื่อติดตามผลของไซโลกลูแคนต่อการเกิดเจลในเซชันและรีโทรเกรดชันของสตาร์ช พบว่าความหนืดของแป้งมันสำปะหลังและไซโลกลูแคน (ที่ความเข้มข้นรวมร้อยละ 3.5) หลังการเจลาตีไนเซชันและวัดค่าทันทีพบว่ามีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไซโลกลูแคนเพิ่มขึ้น เจลขอลแป้งมันสำปะหลังที่ไม่มีการเติมไซโลกลูแคนมีพฤติกรรมการไหลแบบซูโดพลาสติก ที่อัตราเฉือน (shear rate) ต่ำ และมีพฤติกรรมการไหลแบบไดลาเทนต์ เมื่ออัตราเฉือนสูงกว่า  $1 \text{ s}^{-1}$  ในขณะที่ของผสมแป้งมันสำปะหลัง/ไซโลกลูแคนแสดงลักษณะไดลาเทนต์ นอกจากนี้ mechanical spectra ของเพสต์ (paste) แป้งมันสำปะหลัง/ไซโลกลูแคนจากการทดสอบไดนามิกส์แสดงสมบัติที่เป็นของเหลวมากกว่าเพสต์ ของแป้งมันสำปะหลัง เพียงอย่างเดียว และไซโลกลูแคนยังให้ความคงตัวต่อแรงเฉือนที่ให้แก่เพสต์ของแป้งมันสำปะหลังและทำให้การเพิ่มขึ้นของค่าไดนามิกโมดูลัส (dynamic moduli) ในเพสต์ของแป้งมันสำปะหลังที่เก็บ 5 องศาเซลเซียสลดลงในทางตรงกันข้าม เมื่อศึกษาความร้อนด้วย DSC พบว่า ตัวอย่างที่มีไซโลกลูแคนผสมอยู่มีค่าอัตราส่วนรีโทรเกรดชันเพิ่มขึ้นเร็วกว่าไซโลกลูแคนอยู่ในเพสต์ต่อเนื่องที่เป็นของเหลวในของผสมซึ่งให้ความคงตัวต่อแรงทางกลดีขึ้นในระหว่างการเก็บ แต่จะเร่งการจืดเรียงตัวของโครงสร้างสตาร์ชเนื่องจากไซโลกลูแคนจะจับน้ำได้ดีทำให้ปริมาณน้ำในระบบที่แป้งมันสำปะหลังจะนำไปใช้ได้น้อยลง

Pongsawatmanit และคณะ (2006) ได้ศึกษาอิทธิพลของไซโลกลูแคนบริสุทธิ์จากผงเมล็ดมะขามต่อคุณสมบัติการไหลและการทนความร้อนของแป้งมัน โดยนำแป้งมันผสมกับไซโลกลูแคนในอัตราส่วนแป้งมันต่อไซโลกลูแคน เท่ากับ 10/0, 9/1, 8/2, 7/3, และ 6/4 กับโพลีแซคคาไรด์ทั้งหมดเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของไซโลกลูแคนจะทำให้ค่าความหนืดของแป้งเพิ่มขึ้น

จากรายงานของ Nishinari และคณะ (2009) ได้บอกว่าการเกิดเจลสามารถเกิดได้โดยการเปลี่ยนตัวทำละลาย ซึ่งไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขาม อย่างเดียวไม่สามารถเกิดเจลได้แม้ในสารละลายที่ความเข้มข้นสูงและทำให้สารละลายหนืดโดยเติมโพลีแซคคาไรด์ชนิดต่างๆ เช่น เจลแลน และแซนแทนกัม หรือการเปลี่ยนปริมาณตัวทำละลายโดยการเติมน้ำตาลหรือแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น สารละลายไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขาม พอร์มตัวเป็นเจลเมื่อมีน้ำตาลร้อยละ 40-70 นอกจากนี้สารละลายไซโลกลูแคนจากเมล็ดมะขาม เกิดเจลได้โดยการเติมเอทิลแอลกอฮอล์ เจลนี้จะมีความยืดหยุ่นสูง และปล่อยน้ำออกมาน้อย เจลที่เกิดจากแอลกอฮอล์จะแข็งและมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าเจลที่มีน้ำตาล และยังพบว่าไซโลกลูแคนพอร์มตัวเป็นเจลโดยการเอาแกแลคโตสบางส่วนออกโดยใช้เอนไซม์  $\beta$ -galactosidase เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.  
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Simi และ Abraham (2010) ได้สกัดไซโลกลูแคนจากผงเมล็ดมะขาม ตามวิธีการของ Rao และ Srivastava (1973) โดยกำจัดโปรตีนออกจากผงเมล็ดมะขามโดยใช้เอนไซม์โปรติเอสจากเชื้อ *B.licheniformis* และกำจัดไขมันออกโดย soxhlet extractor ใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย และทำแห้งในตู้อบลมร้อน นำผงเมล็ดมะขามมาต้มกับน้ำผสมกรดซิตริก เก็บสารละลายไว้ข้ามคืนและระเหยของเหลวใส่ให้ได้ครึ่งหนึ่งของปริมาตร สารละลายถูกทำให้เย็นลงและตกตะกอนเอาเส้นใย โดยการเติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 (ปริมาตร/ปริมาตร) กรอง และทำให้แห้ง พบว่าไซโลกลูแคนผงที่ได้มีปริมาณความชื้นร้อยละ 9.7, ไขมันร้อยละ 0.33, เถ้าร้อยละ 0.285 และมีโปรตีนเล็กน้อย

### 2.3.3 คุณสมบัติของไซโลกลูแคน

ไซโลกลูแคนสามารถทนต่อความร้อน ทนต่อการตกและการทำให้เสียรูปร่างจากแรงกลในระดับปานกลาง ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นส่วนประกอบในอาหารได้ (Nishinari *et al.*, 2000) เมื่อละลายน้ำจะให้สารละลายที่เหนียวหนืด เป็นเจลภายใต้ pH ที่เป็นกรดและเป็นกลางได้ดี ซึ่งสามารถใช้แทนแป้งและเพกตินได้ (นิภาวดี, 2545) และยังมีคุณสมบัติและลักษณะที่คล้ายกับเพกตินในผลไม้ ที่ใช้ผลิตเยลลี่ แยม ผิวส้ม และแยมผลไม้ (Marathe *et al.*, 2002)

### 2.3.4 ประโยชน์ของไซโลกลูแคน

เนื่องจากไซโลกลูแคนแสดงความสามารถในการอุ้มน้ำได้สูง ทนต่อความร้อน ทนต่อการตกและแรงเฉือนได้ดี ดังนั้นในอุตสาหกรรมอาหารจึงนำไซโลกลูแคนมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด สารให้ความคงตัว สารทดแทนไขมัน และในสตาร์ชดัดแปรในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ไอศกรีม น้ำสลัด มายองเนส บะหมี่ สตูว์และผลิตภัณฑ์อื่นๆมากมาย ซึ่งเป็นการใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านความร้อนของผลิตภัณฑ์ (rheological and thermal properties) (Nishinari *et al.*, 2000) คุณสมบัติเชิงหน้าที่ของไซโลกลูแคนจะคล้ายคลึงกันกับโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ โดยขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุลที่จะนำมาใช้ สำหรับประโยชน์ในส่วนของการรักษาทางการแพทย์ และเครื่องสำอางนั้น จะนำโพลีแซคคาไรด์ที่มีมวลโมเลกุลต่ำมาใช้เพื่อปรับปรุงการแพร่เข้าสู่เนื้อเยื่อ (Strickland *et al.*, 1999)

## 2.4 เพกติน

เพกติน หมายถึง กรดเพกตินที่ละลายน้ำมีขนาดความยาวและน้ำหนักโมเลกุลต่างกันตั้งแต่ 30,000 - 300,000 และในโมเลกุลยังมีปริมาณเอสเทอร์ต่างกัน ซึ่งขึ้นกับแหล่งที่เกิด วิธีการสกัดและการเตรียม เพกตินเป็นคอลลอยด์ที่สามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ คือสามารถตกตะกอนและละลายกลับใหม่ได้ โดยไม่สูญเสียความสามารถในการเกิดเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.4.1 ประเภทของเพกติน

Rolin และ De Vries (1990) ได้กล่าวถึงการแบ่งประเภทของเพกตินไว้ว่า สามารถแบ่งเพกตินตามปริมาณของการเกิดเมทอกซิลเอสเทอร์ (methoxyl ester) หรือ degree of esterification (DE) ซึ่งมีผลต่อการเกิดเจลของเพกติน การแสดงปริมาณของเอสเทอร์นี้ ถูกกำหนดในรูปของปริมาณเมทอกซิล เรียกว่า degree of methoxylation (DM) โดยสามารถแบ่งเพกตินได้ 2 ประเภท คือ 1) เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลต่ำ (low methoxyl, LM) และ 2) เพกตินชนิดหมู่เมทอกซิลสูง (high methoxyl, HM) หรืออาจแบ่งชนิดของเพกตินตามการใช้งานออกเป็นผลิตภัณฑ์ที่เซ็ทตัวเร็ว (rapid set) ซึ่งจะมีค่า DM มากกว่าร้อยละ 60 เพกตินที่มีค่า DM ต่ำกว่านี้จะจับตัวเป็นเจลช้า เพกตินชนิดเซ็ทตัวช้าจะมีค่า DM ร้อยละ 50 - 60 และถ้ามีค่า DM ต่ำมากๆ เพกตินนั้นสามารถเกิดเจลกับไอออนของโลหะบางชนิด เช่น  $Ca^{2+}$  หรือ  $Mg^{2+}$  ได้ที่อุณหภูมิห้อง เพกตินเหล่านี้สามารถทำให้เกิดเจลขึ้นได้โดยใช้น้ำตาลน้อยมากหรือไม่จำเป็นต้องใช้น้ำตาลและสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างกว้างตั้งแต่ 2.5 - 6.5 แต่จะเกิดได้ดีในช่วง 3.2 - 4.0 เพกตินที่มีค่า DM ต่ำลงจะใช้น้ำตาลน้อยลงในการทำให้เกิดเจล เพกตินชนิดเซ็ทตัวเร็วจะใช้ในการผลิตแยมและมาร์มาเลดเพื่อให้เกิดเจล ก่อนที่ผลไม้มันจะแยกชั้น ส่วนชนิดเซ็ทตัวช้าจะใช้ในการทำเยลลี่เพื่อให้เทลงพิมพ์ได้ทันก่อนที่จะเกิดการแข็งตัว (กิตติพงษ์, 2555)

### 2.4.2 โครงสร้างและสมบัติทางเคมีของเพกติน

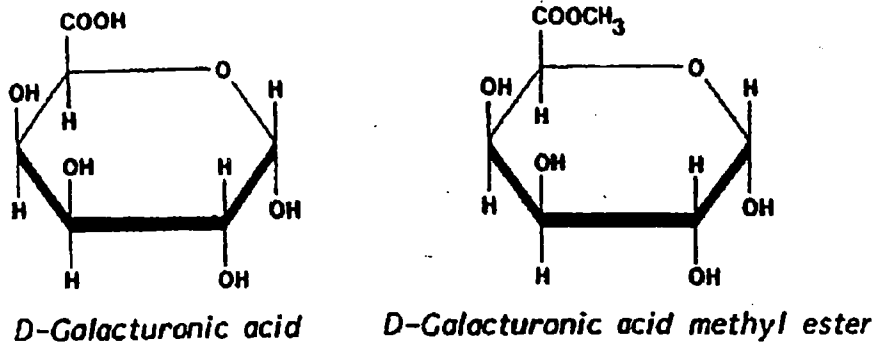
วรรณ (2549) และ วุฒิชัย (2555) กล่าวว่า โมเลกุลเพกตินประกอบขึ้นจากกรดกาแลกทูโรนิก (galacturonic acid) เชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ตรงและยาวด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ แอลฟา - (1,4) โดยมีหมู่คาร์บอกซิลบางหมู่ทำพันธะเอสเทอร์กับหมู่เมทิล (methyl group) อยู่ในรูปของเมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) ดังรูปที่ 2.3 และการเชื่อมต่อกันระหว่างสายโซ่ตรงของกาแล็กทูโรนิก (linear galacturonic) แต่ละสายจะเชื่อมต่อด้วยแรมโนส (rhamnose residues) ที่ติดอยู่กับอะราบิโนกาแล็กแทน (arabinogalactan) ซึ่งเป็นกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตอะราบิแนน (arabinan) และกาแล็กแทน (galactan) ซึ่งจะพบส่วนที่เชื่อมต่อกันนี้ ซึ่งเรียกว่าแรมโนกาแล็กทูโรแนน (rhamnose-galacturonan) ในระหว่างกระบวนการสกัดเพกตินเสมอ

สารเพกติก เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบคาร์โบไฮเดรตแบบคอลลอยด์เชิงซ้อน (complex colloidal carbohydrates) พบอยู่ในพืชที่มีโครงสร้างประกอบด้วยแอนไฮโดรกาแลกทูโรนิก (anhydrogalacturonic acid units) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งมีบางส่วนของหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) เกิดเป็นพันธะเอสเทอร์กับหมู่เมทิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

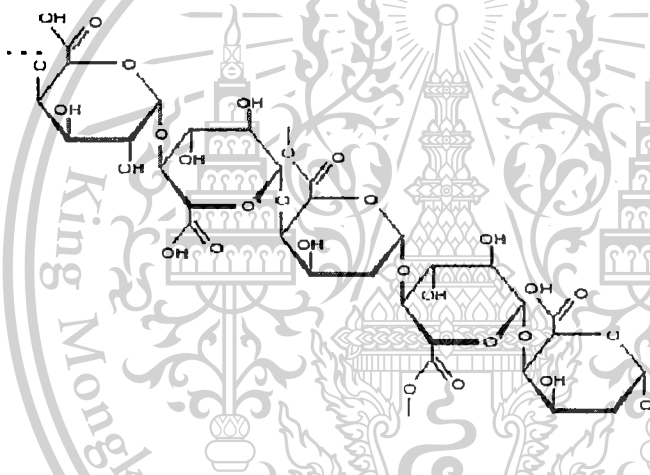
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างโมโนเมอร์ของเพกติน

ที่มา : วุฒิชัย (2551)



รูปที่ 2.4 สูตรเคมีทั่วไปของเพกติน

ที่มา : Simon (2003)

โปรโตเพกติน (protopectin) เป็นสารเพกตินที่ไม่ละลายในน้ำที่พบอยู่ในพืชเมื่อนำมาไฮโดรไลส์ จะได้เพกตินและกรดเพกติก ซึ่งกรดเพกติก เป็นสารเพกตินที่มีสูตรโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นพอลิเมอร์ของกรดกาแลกทูโรนิก (galacturonic acid) สามารถเกิดเจลได้เมื่อผสมอยู่กับของผสมที่มีสภาพเป็นกรดและน้ำตาลอยู่ด้วย เพกตินเป็นสารเพกติกที่มีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนที่เป็นกรดเพกติกซึ่งละลายน้ำได้ และส่วนของกรดเพกติกที่มีหมู่คาร์บอกซิลเกิดพันธะเอสเทอร์กับเมทิล ซึ่งสามารถเกิดเป็นเจลได้เมื่อน้ำตาลและของผสมมีสภาพเป็นกรดเพกติกมีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนของพอลิเมอร์ที่เป็นกรดกาแลกทูโรนิกเท่านั้น โดยไม่มีส่วนใดของหมู่คาร์บอกซิลของกรดกาแลกทูโรนิกที่เกิดพันธะเอสเทอร์กับหมู่เมทิล (วุฒิชัย, 2555)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.4.3 สมบัติของเพกติน

#### 2.4.3.1 การละลายของเพกติน

ปรัชญา และมงคล (2543) กล่าวว่า เพกตินสามารถละลายในน้ำเย็นและทำให้เกิดความข้นหนืดได้เช่นเดียวกับกัมส์ชนิดอื่นๆ แต่ผงเพกตินจับกันเป็นก้อนได้ง่าย ทำให้ละลายได้ช้าและยาก จึงควรเก็บรักษาให้เหมาะสมเพื่อไม่ให้ความชื้นเข้าไป เพกตินจะสามารถละลายได้ดีในน้ำอุ่นหรือน้ำที่มีอุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส แล้วทำการผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วจากต่ำไปหาสูงสุด ต้องระวังไม่ให้เพกตินจับกันเป็นก้อนเพราะจะทำให้ละลายได้ยาก อีกวิธีที่ละลายเพกตินได้ดีนั้นจะต้องผสมเพกตินกับน้ำตาล โดยอัตราส่วนของเพกติน 1 ส่วนกับน้ำตาล 5 ส่วน หรือกับสารละลายอื่นๆ เช่น สารละลายน้ำตาล ความเข้มข้นร้อยละ 65 หรือแอลกอฮอล์เพื่อทำให้เพกตินเปียก ถ้าไม่ได้ผสมด้วยเครื่องผสมความเร็วสูงให้ต้มประมาณ 1 นาที เพื่อให้มั่นใจว่าเกิดการละลายได้หมด (Rolin and De Vries, 1990) การตรวจดูว่ามีการละลายเกิดขึ้นสมบูรณ์หรือไม่ สามารถทำได้โดยการดูฟิล์มของสารละลายบนไม้พายหรือใบมีดที่สะอาดจะต้องใสไม่มีส่วนคล้ายเม็ดทรายอยู่

#### 2.4.3.2 ความหนืดของเพกติน ความหนืดของเพกตินขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

2.4.3.2.1 ความเข้มข้นของเพกติน มีความเข้มข้นสูงของเพกตินจะเกิดเจลได้ง่ายกว่า แต่ทั้งนี้ต้องสัมพันธ์กับอุณหภูมิและระยะเวลาด้วย

2.4.3.2.2 ปริมาณแคลเซียม เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงไม่ต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล เนื่องจากเพกตินหมู่เมทอกซิลต่ำมีความไวต่อแคลเซียมสูง

2.4.3.2.3 ปริมาณความเป็นกรด-ด่าง มีอิทธิพลต่อการแข็งตัว แต่ถ้ามีกรดมากเกินไปก็จะไปทำลายความอยู่ตัวของเจลได้ โดยค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเกิดเจล คือ 3.2 เนื่องจากปริมาณกรดในผลไม้แต่ละชนิดแตกต่างกัน ผลไม้ที่มีกรดต่ำอาจจะต้องเติมกรดลงไป กรดที่นิยมใช้เติมผลิตภัณฑ์ คือ กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดแลคติก กรณีผลไม้ที่มีปริมาณกรดตามธรรมชาติมากเกินไปจะลดความเป็นกรดลง โดยการเติมเกลือที่มีสมบัติเป็นบัฟเฟอร์ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตโซเดียมซิเตรท

2.4.3.2.4 ชนิดของเพกติน Low methoxyl pectin และ High methoxyl pectin การนำเพกตินไปใช้จะต่างกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับหน้าที่ของเพกตินว่าต้องการนำเพกตินไปใช้ประโยชน์ในด้านใด

2.4.3.2.5 ขนาดของมวลโมเลกุล โดยค่าของความหนืดจะขึ้นอยู่กับขนาดหรือความยาวของโมเลกุล ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.4.3.3 สมบัติการไหล (รีโอโลยี)

สารละลายเพกตินเจือจางจะให้ค่าการไหลของของเหลวแบบนิวโตเนียน (Newtonian) และความเข้มข้นของสารละลายเพกตินมากกว่าร้อยละ 1 จะมีคุณสมบัติการไหลเป็นแบบ Pseudoplastic solution (Sriamornsai, 2003) และ (Kawakatsu *et al.*, 2001)

### 2.4.3.4 ความเป็นกรด - ต่าง

ความหนืดของสารละลายเพกตินจะเพิ่มขึ้นถ้าความเป็นกรดต่างลดลงเป็น 2.5-5.5 สารละลายเพกตินจะอยู่ในรูปของ Thixotropic solution สารละลายที่มีประจุ +1 จะลดความหนืดของสารละลายเพกตินเพราะลดแรงดึงดูดระหว่างประจุ

### 2.4.3.5 มวลโมเลกุลเพกติน

มวลโมเลกุลเพกตินที่มีมวลโมเลกุลสูงจะทำให้สารละลายมีความหนืดสูงขึ้นด้วย การหาน้ำหนักโมเลกุลของเพกตินสามารถทำนายได้โดยการหาค่า Intrinsic viscosity ในทางตรงกันข้ามเมื่อเจือจางสารละลายและไม่มีแคลเซียม สารละลายจะมีความหนืดลดลง การเตรียมสารละลายเพกตินให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสแตกต่างกันนั้น สามารถทำได้โดยผสมเพกตินชนิดต่างๆหรือผสมเพกตินให้มีความเข้มข้นแตกต่างกัน (Michel *et al.*, 1982), (Christensen, 1954) และ (Berth *et al.*, 1982)

### 2.4.3.6 ปริมาณของแคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ )

เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลสูงไม่ต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล แต่เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลต่ำต้องการแคลเซียมในการเกิดเจล ทำให้สามารถแบ่งเพกตินออกตามความไวต่อแคลเซียมไอออนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่เกิดเจลได้ช้า เนื่องจากความไวต่อแคลเซียมต่ำและกลุ่มที่เกิดเจลได้เร็ว มีความไวต่อแคลเซียมสูง กลุ่มหลังนี้หากเพิ่มปริมาณแคลเซียมความหนืดของสารละลายเพกตินก็จะสูงขึ้นด้วย

## 2.4.4 การเกิดเจลของเพกติน

สมบัติในการเกิดเจลของเพกตินขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยคือ ความยาวของสายโพลีเมอร์ และระดับการเกิดเมทอกซิล (degree of methoxylation, DM) เกิดเจลได้ดีที่ภาวะที่มีกรดและน้ำตาล โครงสร้างโมเลกุลของเพกตินจะเป็นเกลียว (coil) มากกว่าสายตรง และมีพันธะไฮโดรเจนน้อยกว่าพวกโพลีเมอร์สายยาว เช่น เซลลูโลส สาเหตุเนื่องจากลักษณะและรูปร่างของสาย คือ หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรือหมู่เมทิล (-CH<sub>3</sub>) และประจุที่เกิดจากการแตกตัวของหมู่คาร์บอกซิล (นิธิยา รัตนานนท์, 2539)

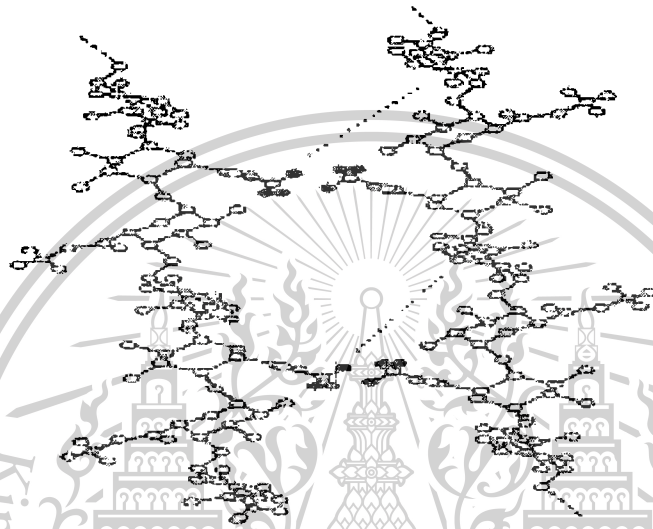
การเกิดเจลของเพกตินจะมีสารช่วยดูดน้ำออกจากโมเลกุล (dehydration agent) เช่น น้ำตาล จะช่วยลดการละลายของเพกตินให้น้อยลง และมีกรดในปริมาณที่เหมาะสม การเกิดเจลของเพกตินชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ทำนิตยสาร การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมทอกซิลสูงจะเกิดเจลได้ดีที่ภาวะที่มีกรดและน้ำตาล โดยไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) จากกรดจะช่วยลดจำนวนประจุลบของคาร์บอกซิลให้น้อยลง ทำให้ลดการผลักกันระหว่างประจุลบของหมู่คาร์บอกซิล ทำให้สายของเพกตินโมเลกุลเข้ามาใกล้กัน และเกาะกันเป็นตาข่าย (junction zone) ดังรูปที่ 2.5 เพกตินที่สามารถเกิดเจลที่ดีที่สุด คือ เพกตินที่มีหมู่เมทอกซิลในโมเลกุลประมาณร้อยละ 8 หรือมีระดับการเกิดเมทอกซิล ประมาณร้อยละ 50 (นัยทัศน์, 2521)



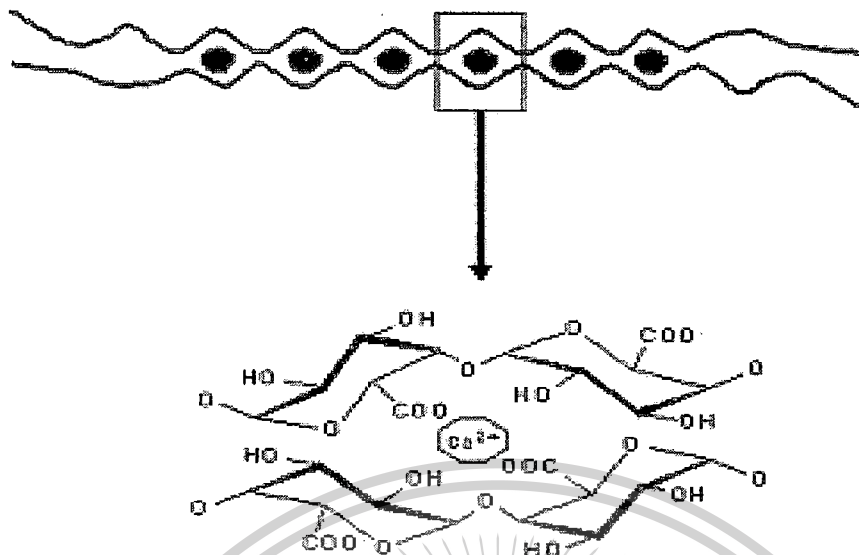
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ junction zone ระหว่างการเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลสูงที่ได้จากการสะท้อนของรังสีเอกซ์ เมื่อเกิด hydrophobic interaction ระหว่างคู่ของหมู่เมทิล (จุดทึบ) กับพันธะไฮโดรเจน (เส้นประ)  
ที่มา : Thakur *et al.* (1997)

การเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลต่ำ จะไม่เกิดเจลกับน้ำตาลและกรด แต่จะเกิดเจลร่วมกับแคลเซียมไอออน ( $Ca^{2+}$ ) กลไกการเกิดเจลจะเกิดการ cross link ระหว่างหมู่คาร์บอกซิล 2 หมู่กับแคลเซียมไอออน อธิบาย โดยใช้ egg box model ดังรูปที่ 2.6 การเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลต่ำเกิดในช่วงความเป็นกรด-ด่างสูง เนื่องจากต้องทำลายหมู่คาร์บอกซิล ( $-COO^-$ ) เพื่อมาเชื่อมต่อกับพันธะของเกลือแคลเซียม โดยขนาดของ junction zone จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของแคลเซียมที่ถูกเติมลงไป ดังนั้นการเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลต่ำจึงมีประโยชน์ ใช้สำหรับทำแยมหรือเยลลี่ที่ให้พลังงานหรือแคลอรีต่ำ และเตรียมได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่ควบคุมอัตราการไฮโดรไลซ์หมู่เมทอกซิลออกจากโมเลกุลของเพกตินด้วยกรดต่างหรือเอนไซม์เพกตินเอสเทอร์เลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6 การจับแคลเซียมในสายโพลีเมอร์ของกาแลกทูโรนิก  
ที่มา : Axelos and Thibault (1991)

#### 2.4.5 การนำเพกตินมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหาร

เพกตินมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากความสามารถของสารละลายเพกตินที่ต่างจากสารอื่น คือ สามารถสร้างเจลได้ในภาวะที่เหมาะสม การใช้ประโยชน์ของเพกตินแบ่งออกตามชนิดของเพกติน ดังนี้

2.4.5.1 เพกตินชนิดเมทอกซิลสูง ส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมเยลลี่ และเยลลี่ ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะสัมผัสที่ดีในเยลลี่โดยเมื่อเคลื่อนย้ายแล้วจะไม่เปลี่ยนรูปร่าง ให้รสชาติดี การหดตัวของวุ้นต่ำ ความเข้มข้นของเพกตินที่ใช้ในการทำเยลลี่อยู่ในช่วงร้อยละ 1.0 - 4.0 (Cpkico, 2005)

2.4.5.2 เพกตินชนิดเมทอกซิลต่ำ เพกตินชนิดนี้ไม่ต้องการน้ำตาลหรือกรดในการเกิดเจล ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลในผลิตภัณฑ์ผลไม้ที่มีส่วนประกอบของน้ำตาลต่ำ หรือผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีการเติมน้ำตาลลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the 138242 when use.

### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการ

##### 3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 เมล็ดมะขามพันธุ์ศรีชมพู่ ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ปิ่นเพชร จำกัด จังหวัด เพชรบูรณ์ โดยนำเมล็ดมะขามมาล้างทำความสะอาด คัดแยกเมล็ดที่มีรูพรุนและลีบแบนออก จากนั้นนำ เมล็ดไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง เพื่อเป็นการปรับความชื้นของเมล็ด มะขามให้มีความชื้นประมาณร้อยละ 10 - 15 ก่อนนำไปทดลอง

3.1.2 เพกตินชนิดเมทอกซิลเพกตินสูง

##### 3.2 เครื่องมือ

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| 3.2.1 เครื่องกะเทาะเปลือกแบบโมทีนไฟฟ้า                    | มอเตอร์ 2 แรงม้า            |
| 3.2.2 เครื่องบดแบบหยาบ (Hammer mill)                      | (Philip-Cucina, Indonesia)  |
| 3.2.3 เครื่องบดแบบเข็ม (Pin mill)                         | (Retsh ZM 1000, Germany)    |
| 3.2.4 ตู้อบแบบถาด (Tray dryer)                            | (Progress, Thailand)        |
| 3.2.5 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven)                          | (Memmert UM 400, Germany)   |
| 3.2.6 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge)                     | (Beckman Coulter, USA)      |
| 3.2.7 เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง                        | (Pioneer, USA)              |
| 3.2.8 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง                        | (Denver, Germany)           |
| 3.2.9 เครื่อง Brabender viscograph E                      |                             |
| 3.2.10 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)                    | (Memmert-WNB 7-45, Germany) |
| 3.2.11 เตาเผา (Muffle Furnance)                           | (Nabertherm LT40, Germany)  |
| 3.2.12 เครื่องวัดพีเอช (pH meter)                         | (Weilheim, Germany)         |
| 3.2.13 เครื่องกวนใบพัดติดมอเตอร์ควบคุมความเร็ว            |                             |
| 3.2.14 เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscometer) DV- III |                             |
| 3.2.15 โถสำหรับดูดความชื้น (Dessicator)                   |                             |
| 3.2.16 เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA-XT plus           |                             |
| 3.2.17 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)                       |                             |
| 3.2.18 อุปกรณ์เครื่องแก้ว                                 |                             |
| 3.2.19 เครื่องระเหยสุญญากาศ                               | (Buchi, Switzerland)        |

เอกสารนี้เป็น 3.2.19 เครื่องระเหยสุญญากาศ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3 สารเคมี

- 3.3.1 เฮกเซน (Hexane)
- 3.3.2 กรดซิตริก (Citric acid)
- 3.3.3 แอลกอฮอล์ร้อยละ 95 (Alcohol 95)
- 3.3.4 กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid)
- 3.3.5 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate)
- 3.3.6 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)
- 3.3.7 กรดบอริก (Boric acid)
- 3.3.8 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate)
- 3.3.9 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)
- 3.3.10 อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed Indicator)
- 3.3.11 อะซิโตน (Acetone)

### 3.4 สถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ห้องปฏิบัติการคณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

### 3.5 วิธีการดำเนินการ

#### 3.5.1 การเตรียมผงเมล็ดมะขาม

เตรียมผงเมล็ดมะขาม โดยตัดแปลงจากวิธีของ อรรถวิทย์ (2540) นำเมล็ดมะขามมาคั่วด้วยไฟอ่อนๆ นาน 15 นาที รอให้เย็นแล้วนำมากะเทาะเอาเปลือกออก โดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือก แยกเอาเฉพาะเนื้อในของเมล็ดมาแช่ในอัตราส่วนเมล็ดมะขาม 1 กิโลกรัมต่อน้ำ 3 ลิตร นานประมาณ 6 ชั่วโมง ล้างให้สะอาด ทำให้สะเด็ดน้ำ นำเมล็ดมะขามมาบดให้มีขนาดเล็กกลง นำเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 - 55 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง และนำเข้าเครื่องบดละเอียดโดยผ่านรูละเอียดขนาด 0.25 มิลลิเมตร ได้ผงเมล็ดมะขาม เก็บในถุงพลาสติกชนิดโพลีเอทิลีน ในสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิ  $5 \pm 2$  องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้งาน

นำผงเมล็ดมะขามบางส่วนมากำจัดไขมันในอัตราส่วนผงเมล็ดมะขาม 1 กรัม ต่อสารละลายเฮกเซน 3 มิลลิลิตร โดยใช้กรวยแยกเขย่า 15 นาที แล้วแยกสารละลายกับผงเมล็ดมะขาม ระเหยเฮกเซนออก เองโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 - 55 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.5.1.1 ตรวจสอบองค์ประกอบและปริมาณเส้นใยอาหาร

ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะขาม โดยนำผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมัน วิเคราะห์ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใยหยาบ เถ้า (AOAC, 1995) ปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดตามวิธี AOAC Method 985.29 (2005) โดยใช้ชุดทดสอบ Dietary Fiber Assay Kit (Megazyme, Ireland) และ คาร์โบไฮเดรตโดยคำนวณความแตกต่าง

3.5.1.2 คุณสมบัติด้านความหนืดของสารละลายผงเมล็ดมะขาม (Pasting properties) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Adebowale และ Lawal (2002)

ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืดของผงเมล็ดมะขามทั้งที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันและกำจัดไขมัน โดยเตรียมสารละลายน้ำแบ่งที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Brabender รุ่น Viscograph E กำหนดให้อุณหภูมิเริ่มต้นคือ 30 องศาเซลเซียส แล้วอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึง 95 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 15 นาที แล้วจึงลดอุณหภูมิลงในอัตราเดียวกัน จนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และคงไว้ที่อุณหภูมินี้ 15 นาที บันทึกค่า Pasting temperature, Peak viscosity, Breakdown (Peak viscosity - Start of cooling period), Consistency (End of cooling period - Start of cooling period) และ Setback (End of final holding period - Peak viscosity)

### 3.5.2 ศึกษาสภาวะการสกัดเจลาติน

นำผงเมล็ดมะขามที่กำจัดไขมันออก มาสกัดเจลาตินโดยใช้ 2 สภาวะในการสกัด คือ การสกัดที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส และ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส ที่ pH = 3, 4 และ 5

#### 3.5.2.1 สภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ $27.5 \pm 2.5$ องศาเซลเซียส

การสกัดใช้ในอัตราส่วนผงเมล็ดมะขาม 1 กรัมต่อน้ำ 10 มิลลิลิตร กวนโดยใช้ magnetic bar นาน 45 นาที ที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ 6,000 รอบ นาน 10 นาที (แยกส่วนของตะกอนผงเมล็ดมะขามออก) นำสารละลายส่วนใสมาปรับ pH = 4 ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน แล้วระเหยให้ปริมาตรเหลือครึ่งหนึ่ง ตกตะกอนเส้นใยเจลาตินโดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 ในอัตราส่วนสารละลายต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 1 ต่อ 1.5 ส่วน แล้วใช้ผ้าขาวบางกรองเส้นใยเจลาติน และทำแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 - 55 องศาเซลเซียส และนำเข้าเครื่องบดจะได้ผงเจลาติน ทำการทดลองปรับ pH ที่ 3, 4 และ 5 และดำเนินการทดลองเช่นเดียวกัน

#### 3.5.2.2 สภาวะการสกัดที่อุณหภูมิ $87.5 \pm 2.5$ องศาเซลเซียส

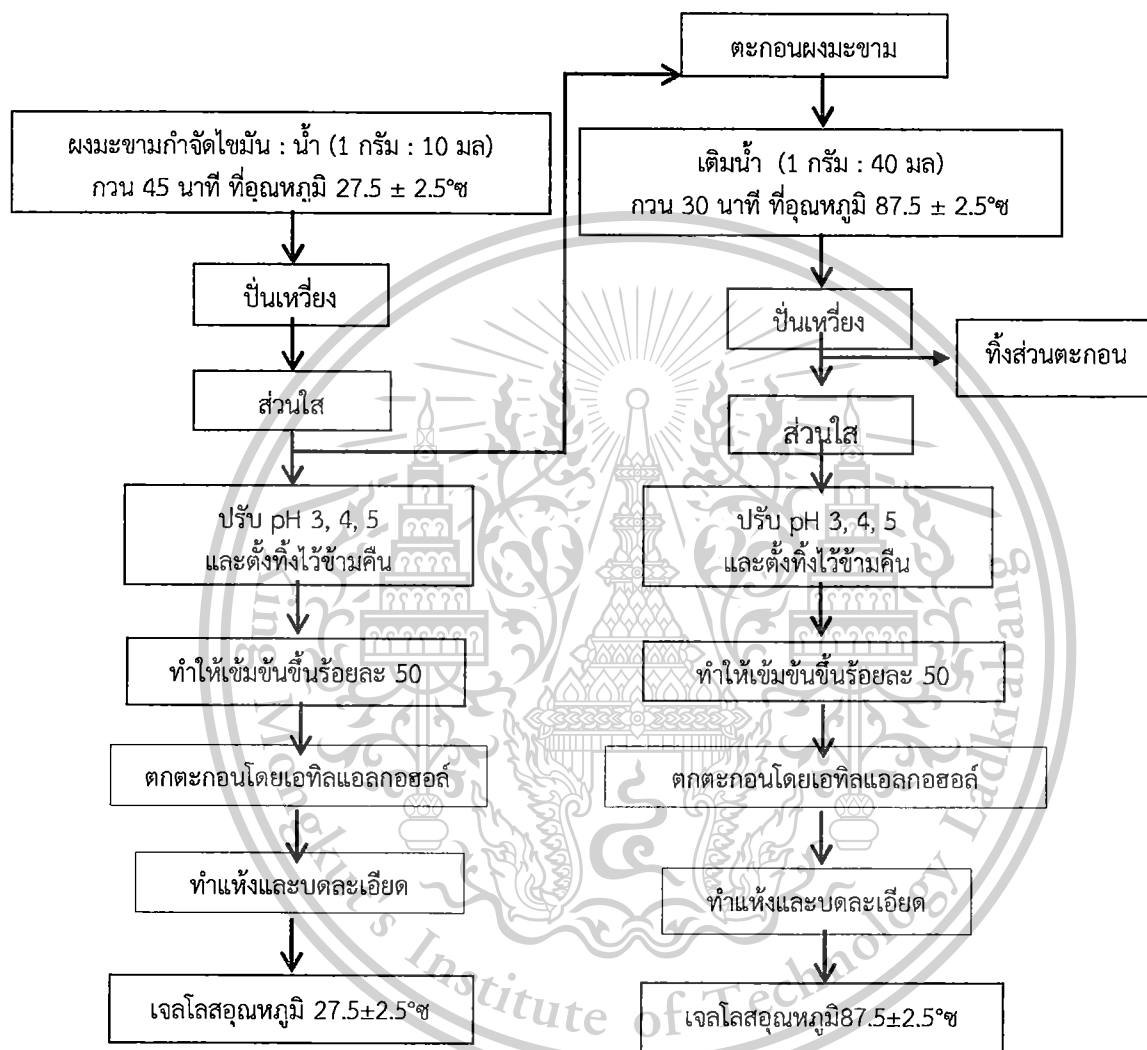
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นำส่วนของตะกอนผงเมล็ดมะขามจากการสกัดที่อุณหภูมิห้อง ในข้อ 3.5.2.1 มาเติมน้ำ 40 เท่า กวนนาน 30 นาที ที่อุณหภูมิ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส และสกัดเช่นเดียวกันกับข้อ 3.5.2.1

ขั้นตอนการสกัดเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูงแสดงรายละเอียด ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสกัดเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียสและอุณหภูมิ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส

### 3.5.2.3 ตรวจสอบสมบัติของสารสกัดเจลโลส

#### 3.5.2.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดเจลโลส

นำผงเจลโลสมาวิเคราะห์ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า (AOAC, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.4.3.2 ตรวจสอบสมบัติด้านการไหล (Rheological properties) (โดยดัดแปลงจากวิธีของ Pongsawatmanit *et al.*, 2006)

ใช้เจลโลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 วัดคุณสมบัติด้านการไหลของสารละลายที่อุณหภูมิ  $30 \pm 1$  องศาเซลเซียส โดยใช้ชุด small sample บันทึกค่าความเค้นเฉือน (Shear stress ( $N/m^2$ )) และอัตราเฉือน (Shear rate (1/sec)) จาก power law model ตามสมการ  $T = ky^n$  คำนวณหาค่า  $n$  = flow behavior และ  $k$  = consistency index (Pa.s) โดยวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นจาก  $\log T = \log k + n \log y$  โดย  $T$  = shear rate และ  $y$  = shear stress

### 3.5.3 ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเจลโลสต่อพฤติกรรมเกิดการเกิดเจล

ละลายผงเจลโลสความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ในสารละลายน้ำตาลร้อยละ 50 นำไปต้ม 20 - 30 นาที ให้ความเข้มข้นเป็น 50 องศาบริกซ์ ปรับ pH ด้วยกรดซิตริกเป็น pH = 3, 4, 5 และ 6 เทปรีมาตร 30 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เซตตัว 24 ชั่วโมง นำเจลที่ได้มาวัดความแข็งของเจลโดยเครื่อง Texture Analyzer (ดัดแปลงจาก Marathe *et al.*, 2002)

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองในแต่ละสิ่งทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลองโดยใช้วิธีของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยกำหนดปัจจัยในการทดลองคือ ความเข้มข้นของผงเจลโลสร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ที่ pH 3, 4, 5 และ 6

### 3.5.4 ศึกษาผลของสัดส่วนเจลโลสและเพกตินต่อพฤติกรรมเกิดการเกิดเจล

ผสมผงเจลโลสและเพกตินในสัดส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 นำไปละลายในสารละลายน้ำตาลที่ pH ได้จากข้อ 3.5.3 ในระดับความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ทำการทดลองเพื่อให้เกิดเจล เช่นเดียวกับข้อ 3.5.3 และนำเจลที่ได้มาวัดความแข็งเจลโดยเครื่อง Texture Analyzer (ดัดแปลงจาก Marathe *et al.*, 2002)

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in CRD เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองในแต่ละสิ่งทดลอง จำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำมาทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย จากนั้นทำการวิเคราะห์หาความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยในแต่ละสิ่งทดลองโดยใช้วิธีของ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) โดยกำหนดปัจจัยในการทดลองคือ ผงเจลโลสกับเพกติน ในสัดส่วน 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 กับระดับความเข้มข้นของสารละลายร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

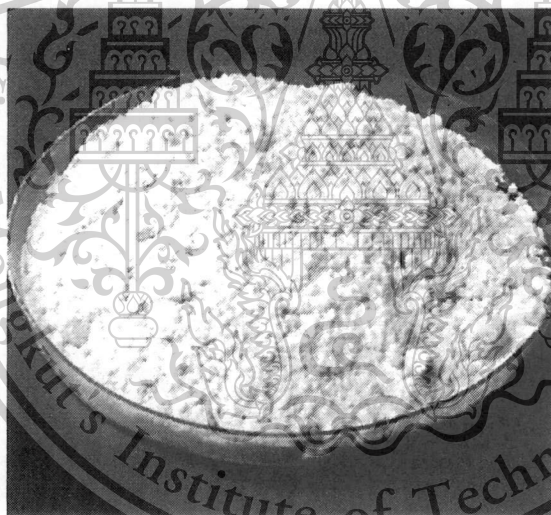
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 การเตรียมผงเมล็ดมะขาม

จากการคั่วเมล็ดมะขามด้วยความร้อนนาน 15 นาที และทำการลอกเปลือกเมล็ดมะขามออกโดยใช้เครื่องกะเทาะเปลือกออกและแยกเปลือกออกจากเมล็ด และแช่น้ำให้เมล็ดเกิดการพองตัวเนื่องจากการดูดน้ำเข้าไปเพื่อให้สามารถบดลดขนาดได้ง่ายขึ้น และนำเข้าสู่ตู้อบอีกครั้งเพื่อไล่ความชื้นออก และนำมาผ่านเครื่องบดแบบละเอียดจะทำให้ได้ผงเมล็ดมะขามที่มีลักษณะเป็นผงแบบละเอียด สีครีม ในรูปที่ 4.1

จากการทดลองปริมาณผงเมล็ดมะขามที่เตรียมได้เท่ากับร้อยละ  $60.91 \pm 3.39$  เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการลอกเปลือกของ ดวงสมร (2556) โดยใช้วิธีการต้มเมล็ดมะขามในน้ำเดือดและทำแห้งเมล็ดมะขาม 2 วิธี คือการใช้ไมโครเวฟและใช้ตู้อบลมร้อนแบบถาด ซึ่งได้ปริมาณผงเมล็ดมะขามเท่ากับร้อยละ 48.93 และ 51.43 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ผงมะขามจากการคั่วที่ 15 นาที

เมื่อนำผงเมล็ดมะขามมาศึกษาองค์ประกอบทางเคมี พบว่าผงเมล็ดมะขามมีความชื้น ร้อยละ  $8.17 \pm 0.06$  มีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน (ร้อยละ  $64.36 \pm 0.18$ ,  $16.07 \pm 0.22$  และร้อยละ  $8.69 \pm 0.04$ ) ตามลำดับ โดยมีปริมาณใกล้เคียงกับรายงานของ Pujja *et al.* (2008) ที่พบผงเมล็ดมะขามประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 17.1 - 20.1 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 65.1 - 72.2 และผงเมล็ดมะขามจากบริษัท Altrafine gums ประเทศอินเดีย ที่ตั้งลักษณะมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของผงเมล็ดมะขาม ดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรายงานของ Nishinari *et al.* (2000) พบว่าผงเมล็ดมะขามมีปริมาณเส้นใยอาหารอยู่ในช่วงร้อยละ 65.5 - 72.2 และจากการทดลองนี้ผงเมล็ดมะขามมีเส้นใยอาหารร้อยละ  $70.10 \pm 1.81$  ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะขามจากการทดลองและผงเมล็ดมะขามทางการค้า

องค์ประกอบ	ผงเมล็ดมะขามจากการทดลอง* (ร้อยละ)	ผงเมล็ดมะขามทางการค้า <sup>1</sup> (ร้อยละ)
ความชื้น	$8.17 \pm 0.06$	6 - 12
โปรตีน (% N $\times$ 6.25)	$16.07 \pm 0.22$	10 - 20
ไขมัน	$8.69 \pm 0.04$	6 - 10
เส้นใย	$1.18 \pm 0.04$	1 - 2
เถ้า	$1.53 \pm 0.02$	1 - 3
คาร์โบไฮเดรต (คำนวณความแตกต่าง)	$64.36 \pm 0.18$	55 - 65
เส้นใยอาหารทั้งหมด	$70.10 \pm 1.81$	65.5 - 72.2 <sup>2</sup>

หมายเหตุ : <sup>1</sup> <http://www.altrafine.com/tamarind-kernel-powder/>

<sup>2</sup> Nishinari *et al.*, 2000

\* ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ + ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.2 คุณสมบัติความหนืดของผงเมล็ดมะขาม

การนำผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออกเปรียบเทียบกับผงเมล็ดมะขามที่กำจัดไขมันออกมาวิเคราะห์อุณหภูมิการเกิดเพสต์และสมบัติความหนืด (pasting properties) ผ่านการให้ความร้อนในขณะที่มีการกวนด้วยเครื่องบราเวนเดอร์ วิสโคไซม์โลกราฟ ของผงเมล็ดมะขามที่มีความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยการเปลี่ยนแปลงความหนืดของของผสมในระหว่างการให้ความร้อนและการทำให้เย็น ติดตามผลระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปในหน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) แสดงความหนืดที่จุดต่างๆ (ตารางที่ 4.2) พบว่าอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดของผงเมล็ดมะขามที่กำจัดไขมันออกและผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออกที่ศึกษาอยู่ในช่วง  $51.10 \pm 0.56$  ถึง  $53.00 \pm 1.55$  องศาเซลเซียส ตามลำดับ ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ของผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออกและผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันออกเท่ากับ  $724.00 \pm 46.66$  และ  $959.50 \pm 3.53$  BU ตามลำดับ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของหนึ่งฤทัย (2552) ที่ใช้ผงเมล็ดมะขามที่ผ่านการทำแห้งโดยไม่โครเวฟ ความเข้มข้นร้อยละ 6 พบอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดเท่ากับ  $30.6 \pm 1.4$  องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิในการเกิดเจลที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับการเตรียมผงเมล็ดมะขามในการทดลองนี้ และมีความหนืดสูงสุดเท่ากับ  $2,272.3 \pm 232.4$  BU เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทซึ่งมีเนื้อหาเป็นข้อมูลเฉพาะทางวิชาการและข้อมูลเชิงพาณิชย์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การใช้ไมโครเวฟในการทำแห้งเมล็ดมะขามอุณหภูมิจากการทำแห้งสูงถึง 102.9 องศาเซลเซียส ซึ่งความร้อนสูงอาจทำให้เม็ดแป้งภายในเมล็ดมะขามบางส่วนเกิดการพรีเจลลิตไนซ์ขึ้นโดยไปทำลายโครงสร้างภายในบางส่วน

ค่าความหนืดการแตกสลายของเม็ดแป้ง (breakdown) พบผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันมีค่าสูงกว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมัน ( $184.50 \pm 21.92$  BU) แสดงว่าผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันออกมีความคงตัวของเม็ดแป้งในระหว่างการให้ความร้อนน้อยกว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออก เนื่องจากค่าความหนืดการแตกสลายของเม็ดแป้ง ถ้ามีค่าน้อยแสดงว่าเม็ดแป้งมีความคงตัวต่อความร้อนสูง (Agunbiade and Long, 1999)

ความคงตัวของน้ำแป้งหลังจากทำให้เย็น (consistency) ของผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออกและผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันออกเท่ากับ  $724.00 \pm 15.55$  และ  $891.50 \pm 9.19$  BU ตามลำดับ และค่าการคืนตัวของแป้งหลังทำให้เย็นตัวลง (setback) ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากความแตกต่างของความหนืดสุดท้ายที่ได้และค่าความหนืดสูงสุด พบว่าผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันออกมีค่าความหนืดสูงกว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออก ( $786.50 \pm 16.26$  และ  $663.50 \pm 7.77$  BU) ตามลำดับ เนื่องมาจากการกำจัดไขมันออกจากเม็ดแป้งเมื่อให้ความร้อนทำให้โมเลกุลอิสระของแป้งจัดกระจายออกมาและเมื่อลดอุณหภูมิลงโมเลกุลอะไมโลส ที่มีขนาดเหมาะสมจะสามารถเคลื่อนที่เข้ามาจับกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลและกักน้ำไว้ได้ทำให้ความหนืดของแป้งสูงขึ้น (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2550) โดยจากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมันออกมีค่าความหนืดสูงสุดสูงกว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมันออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

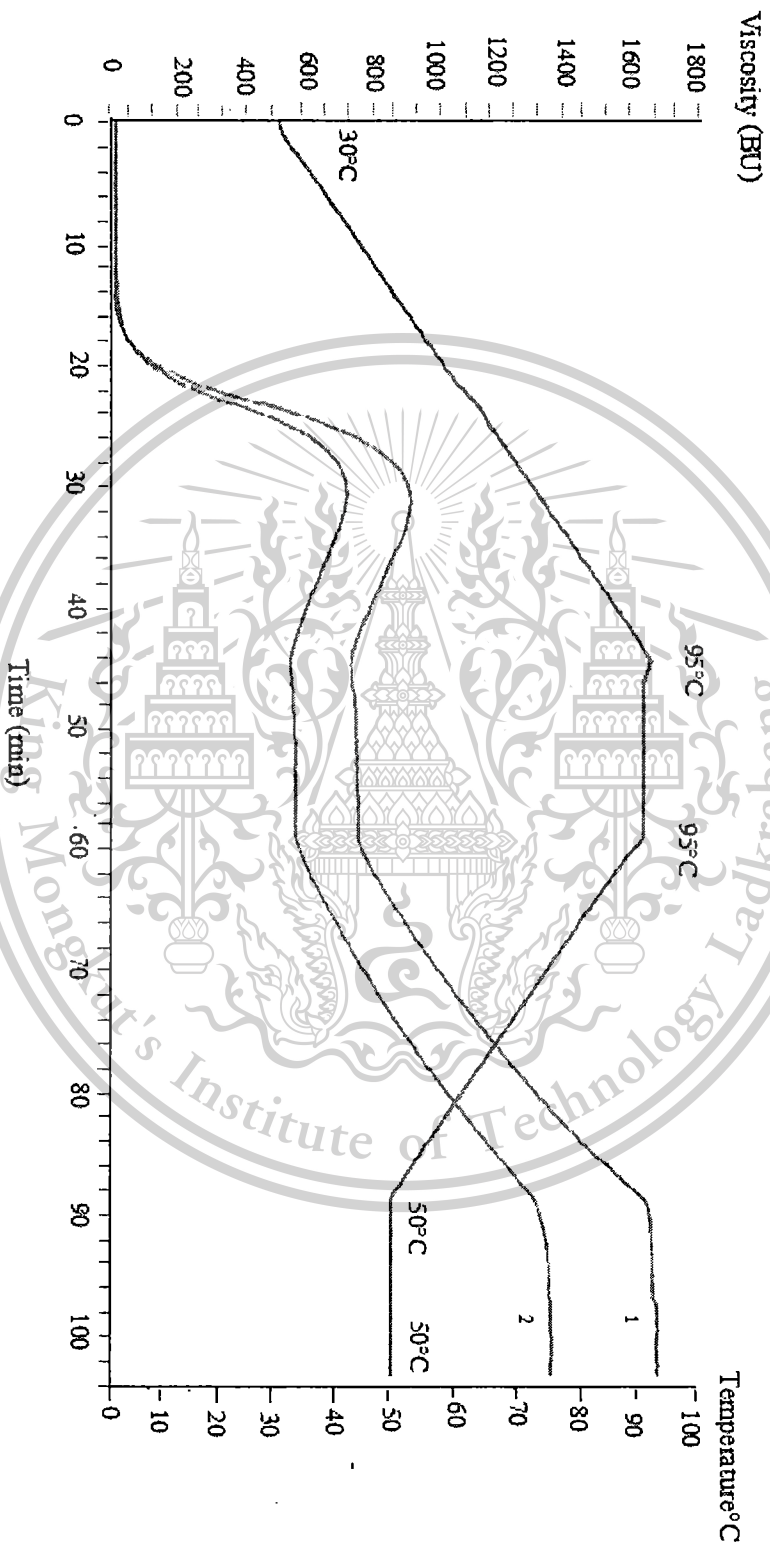
**ตารางที่ 4.2** อุณหภูมิการเกิดเพสท์และสมบัติความหนืดของผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่คั่วจัดไขมันและผงเมล็ดมะขามที่คั่วจัดไขมัน

วิธีการ	Pasting			Viscosity (BU) <sup>1</sup>		
	temperature (°C) <sup>ns</sup>	Peak viscosity	Breakdown <sup>ns</sup>	Consistency	Setback	
ผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่คั่วจัดไขมัน	53.00 ± 1.55	724.00 ± 46.66 <sup>b</sup>	151.50 ± 19.09	742.00 ± 15.55 <sup>b</sup>	663.50 ± 7.77 <sup>b</sup>	
ผงเมล็ดมะขามที่คั่วจัดไขมัน	51.10 ± 0.56	959.50 ± 3.53 <sup>a</sup>	184.50 ± 21.92	891.50 ± 9.19 <sup>a</sup>	786.50 ± 16.26 <sup>a</sup>	

หมายเหตุ : <sup>1</sup> ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<sup>a, b</sup> หมายถึง การเปรียบเทียบค่าความหนืดที่จุดต่างๆ ตัวอักษรที่กำกับกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

<sup>ns</sup> ค่าที่แสดงในคอลัมน์ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P > 0.05$ )



รูปที่ 4.2 กราฟการตรวจสอบความหนืดของผงมะขามที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 (น้ำหนัก/ปริมาตร, น้ำหนักแห้ง) โดยใช้เครื่อง Brabender Viscograph E  
 หมายเหตุ : 1 = ผงเมล็ดมะขามกำจัดไขมัน และ 2 = ผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าในรูปแบบใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ศึกษาสภาวะการสกัดเจลลอส

จากการสกัดเจลลอสโดยใช้ 2 สภาวะในการสกัด คือที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส และ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส ที่ระดับ pH = 3, 4 และ 5 เมื่อนำเจลลอสที่ตกตะกอนได้ไปทำแห้งและบดละเอียดจะได้ผงเจลลอส นำสารละลายเจลลอสมาศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีด้วยเครื่องวัดความหนืดแบบแกนหมุน (Brookfield viscometer DV III) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยนำค่าความเค้นเฉือน (Shear stress ( $\text{N/m}^2$ )) และอัตราเฉือน (Shear rate (1/sec)) ที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์สมการถดถอยเชิงยกกำลังซึ่งอยู่ในรูปของ Power Law Model เพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมการไหลของสารละลายเจลลอส ที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิและสภาวะต่างๆจากการทดลอง

จากรูปที่ 4.3 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) และความเค้นเฉือน (shear stress) ของเจลลอสสกัดที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส และเจลลอสสกัดที่อุณหภูมิ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส ที่ pH = 3, 4 และ 5 พบว่า สารละลายเจลลอสสกัดที่อุณหภูมิ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส จะมีค่าความหนืดที่สูงกว่าสารละลายเจลลอสสกัดที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส เนื่องจากค่าความหนืดคือค่าความชันของเส้นกราฟ โดยเส้นกราฟของสารละลายเจลลอสสกัดที่  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส ที่ pH = 4 มีค่าความชันสูงสุดเมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิและสภาวะการสกัดอื่น

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าดัชนีบ่งบอกพฤติกรรมการไหลของของไหล ( $n$  = flow behaviour index) และดัชนีความคงตัว ( $k$  = consistency index) ซึ่งเป็นสมบัติของสารละลายที่สามารถไหลได้ จาก Power Law Model สามารถที่จะอธิบายพฤติกรรมการไหลของสารละลายเจลลอสได้ โดยดัชนีความคงตัวของสารสกัดเจลลอสที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส ค่า  $k$  อยู่ในช่วง 0.68 - 0.84 Pa.s และ 11.65 - 14.57 Pa.s ตามลำดับ แสดงว่าเจลลอสที่สกัดได้ที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส มีความหนืดสูงกว่าที่สกัดอุณหภูมิ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส

จากการทดลองของอรรถวิทย์ (2540) ได้สกัดเจลลอสที่ 25 - 30 องศาเซลเซียส และ 85 - 90 องศาเซลเซียส วัดค่า Apparent viscosity ของสารละลายเจลลอสเข้มข้นร้อยละ 3 อยู่ในช่วง 0.7538 - 0.7662 Pa.s และ 1.5150 - 1.7570 Pa.s ตามลำดับ เนื่องจากเจลลอสเป็นโพลีแซคคาไรด์ที่อยู่ในเนื้อเมล็ดมะขาม และเป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นการให้ความร้อนในการสกัดจะทำให้เจลลอส ละลายออกมามากขึ้น ส่งผลให้ความหนืดสูงขึ้น

ค่า  $n$  (flow behavior index) ของสารละลายเจลลอสที่สกัดที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  และ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส มีค่า  $n = 0.99$  และ  $0.91$  ตามลำดับ ในทุก pH ของการสกัด และมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ  $P \leq 0.05$  แสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่ง  $n$  จากทั้ง 2 สภาวะการสกัดมีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าเจลลอสที่สกัดได้จากทั้ง 2 สภาวะมีแนวโน้มพฤติกรรมการไหลแบบนอนนิวโตเนียน ชนิดซูโดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อย่างไรก็ตามเจลโลสที่สกัดที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส แสดงพฤติกรรมใกล้เคียงกับสารละลายนิวโตเนียนมากเนื่องจากค่า  $n$  เข้าใกล้ 1

จากงานวิจัยของวันแข็ง (2553) กล่าวว่าที่ความเข้มข้นของเจลโลสเจือจางมาจาสารละลายจะแสดงพฤติกรรมการไหลแบบนิวโตเนียน  $n = 1$  แต่เมื่อความเข้มข้นของเจลโลส มากขึ้น สารละลายจะแสดงพฤติกรรมการไหลแบบนอนนิวโตเนียน ประเภทซูโดพลาสติก หรือ shear thinning ซึ่งขณะที่สารละลายมีการไหลความหนืดของสารละลายจะลดลงโดยพฤติกรรมแบบ shear thinning จะเด่นชัดมากขึ้นเมื่อสารละลายเจลโลสมีความเข้มข้นมากขึ้น และจากการทดลองของ Pongsawatmanit *et al.* (2006) ได้รายงานว่าสารละลายเจลโลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 วัดที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า  $n = 0.79$  และ  $K = 2.58$  Pa.s ซึ่ง  $n < 1$  จะแสดงสมบัติการไหลแบบนอนนิวโตเนียน ประเภทซูโดพลาสติกเช่นกัน

**ตารางที่ 4.3** ดัชนีบ่งบอกพฤติกรรมการไหลของของไหล ( $n$ ) และ ดัชนีความคงตัว ( $k$ ) ของเจลโลส สกัดที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส และเจลโลสสกัดที่อุณหภูมิ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส ที่ pH = 3, 4 และ 5

อุณหภูมิการสกัด	pH	$n$	$k$ (Pa.s)
$27.5 \pm 2.5$ (องศาเซลเซียส)	3	$0.99 \pm 0.00^a$	$0.84 \pm 0.04^a$
	4	$0.99 \pm 0.01^a$	$0.68 \pm 0.04^a$
	5	$0.99 \pm 0.04^a$	$0.77 \pm 0.05^a$
$87.5 \pm 2.5$ (องศาเซลเซียส)	3	$0.91 \pm 0.00^b$	$12.54 \pm 0.36^b$
	4	$0.91 \pm 0.00^b$	$14.57 \pm 1.41^c$
	5	$0.91 \pm 0.00^b$	$11.65 \pm 1.37^b$

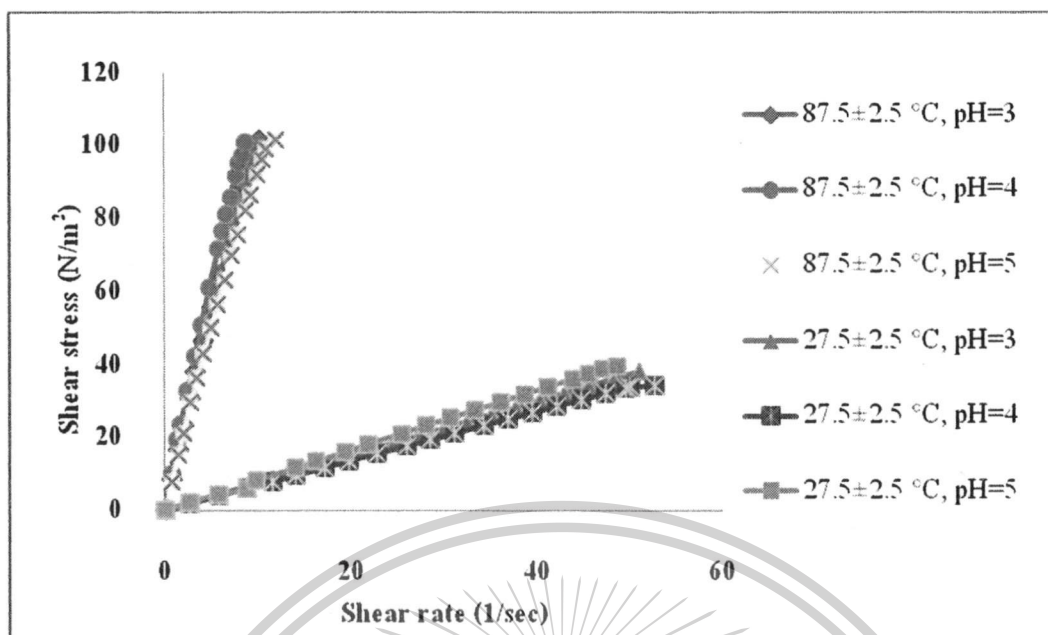
หมายเหตุ : ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ  $\pm$  ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เนื่องจากสภาวะในการสกัดที่อุณหภูมิ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส ที่ pH = 4 ได้สารละลายเจลโลสที่มีความหนืดสูงที่สุด จึงได้ทดลองศึกษาเจลโลสที่สกัด ณ สภาวะนี้ เจลโลสที่ได้มีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว มีความความเหนียว สามารถฉีกแยกออกจากกันได้ เมื่อทำแห้งจะมีลักษณะสีขาวขุ่น เชื่อมติดกันเป็นร่างแห และเมื่ออบเป็นผงละเอียดจะได้ผงเจลโลสที่มีลักษณะ ดังรูปที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ โดยปริมาณผลผลิตเจลโลสคิดเป็นร้อยละ  $48.37 \pm 1.56$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

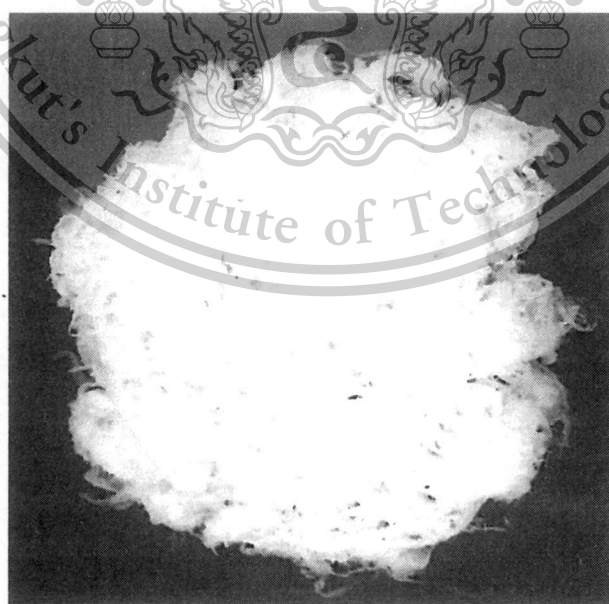
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) และความเค้นเฉือน (shear stress) ของ เจลโลสสกัดที่อุณหภูมิ  $27.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส และเจลโลสสกัดที่อุณหภูมิ  $87.5 \pm 2.5$  องศาเซลเซียส ที่ pH = 3, 4 และ 5

เมื่อนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ผงเจลโลสมีความชื้นร้อยละ  $9.62 \pm 1.63$  มีโปรตีนร้อยละ  $15.84 \pm 0.51$  มีไขมันและเถ้าปริมาณเล็กน้อย จากรายงานของ Marathe *et al.* (2002) พบโปรตีนร้อยละ  $8.05 \pm 0.18$  ที่ปริมาณความชื้นร้อยละ  $7.80 \pm 0.04$  แสดงในตารางที่ 4.4



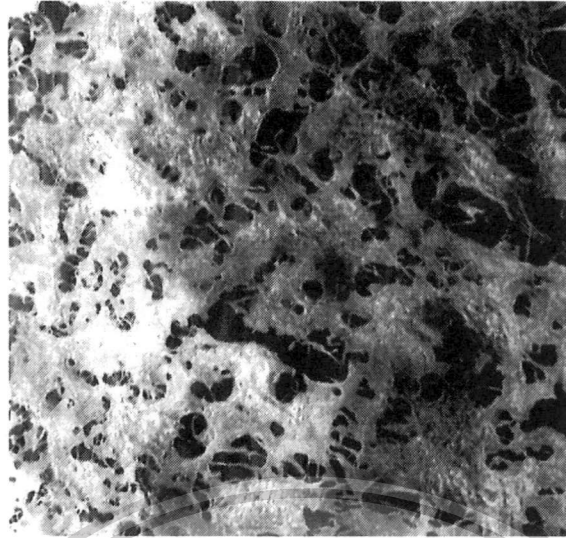
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.4 เส้นใยเจลโลสจากการตกตะกอนด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ที่ได้จากการทดลอง

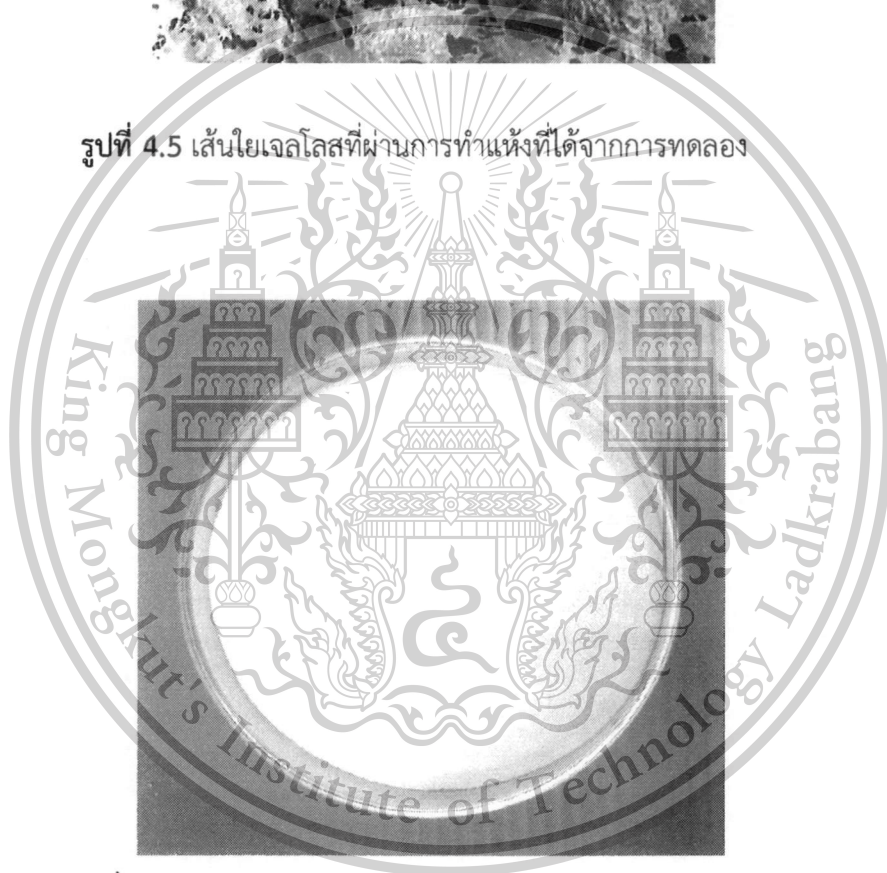
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 เส้นใยเจลโอสที่ผ่านการทำแห้งที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 4.6 ผงเจลโอสที่ผ่านการบดละเอียดที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของผงเจลโลส

องค์ประกอบ	เจลโลส <sup>1</sup> (ร้อยละ)	เจลโลส <sup>2</sup> (ร้อยละ)
ความชื้น	9.62 ± 1.63	7.80 ± 0.04
โปรตีน (% N × 6.25)	15.84 ± 0.51	8.05 ± 0.18
ไขมัน	0.17 ± 0.07	-
เถ้า	1.29 ± 0.17	2.25 ± 0.22

หมายเหตุ : <sup>1</sup> ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

<sup>2</sup> Marathe *et al.*, 2002

#### 4.4 ศึกษาผลของความเป็นกรด - ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจลโลสต่อพฤติกรรม

##### การเกิดเจล

จากการศึกษาสมบัติทางรีโอโลยีของสารละลายเจลโลสสามารถเลือกผงเจลโลสสกัดที่อุณหภูมิ 87.5 ± 2.5 องศาเซลเซียส ที่ pH = 4 เนื่องจากที่สภาวะนี้สารละลายเจลโลสที่ได้มีค่าดัชนีความคงตัวหรือความหนืดเท่ากับ 14.57 ± 1.41 Pa.s ซึ่งมีค่าสูงสุด จึงนำผงเจลโลสที่ได้มาศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจลโดยศึกษาระดับของ pH และความเข้มข้นของเจลโลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล จากการทดลอง พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเจลโลส จากร้อยละ 1 ไปจนถึง 3.5 ค่าความแข็งเจล มีค่าสูงขึ้นทุก pH ที่ทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และเมื่อระดับของ pH สูงขึ้นที่ร้อยละความเข้มข้นของเจลโลสเท่ากันผลของค่าความแข็งเจลจะลดลงตามลำดับ

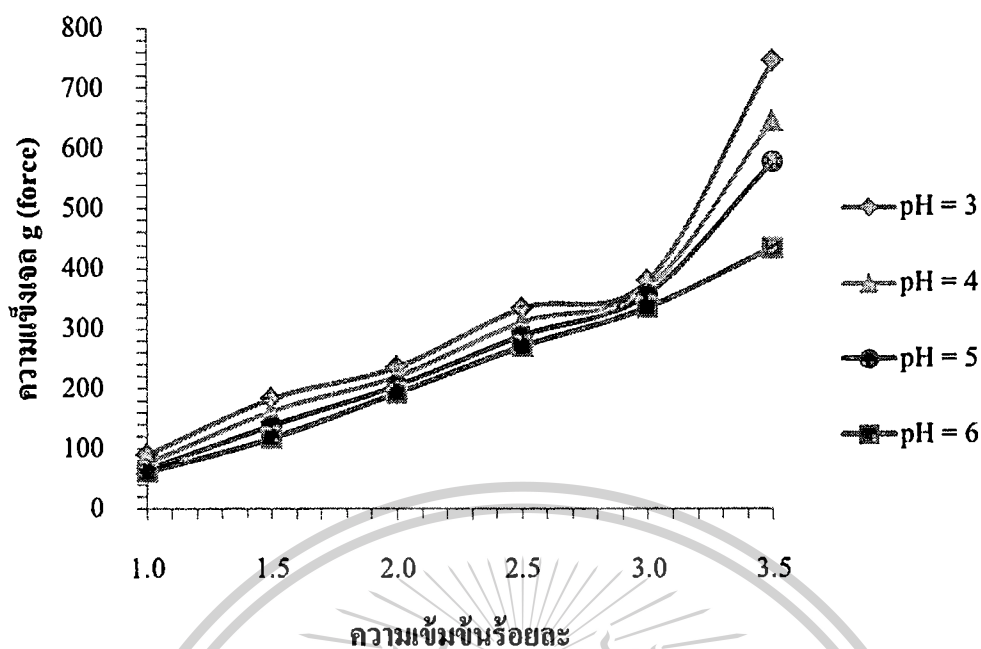
จากรายงานของ Marathe *et al.* (2002) กล่าวว่าสารละลายเจลโลส สามารถพอร์มตัวเป็นเจลได้เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลอยู่ที่ร้อยละ 40 - 70 และจะมีความคงตัวสูงแม้จะอยู่ในช่วงความเป็นกรด - ด่าง ที่กว้างและยังคงตัวต่อความร้อนได้ดี จากค่าความแข็งเจลที่ระดับ pH และร้อยละความเข้มข้นของเจลโลสที่แตกต่างกัน พบว่าที่ pH = 3 จะให้ค่าความแข็งเจลสูงที่สุดเมื่อร้อยละเจลโลสที่ใช้ในการทดลองเท่ากันกับที่ระดับ pH อื่นๆ

จากตารางที่ 4.6 ที่แสดงค่าทางสถิติของปัจจัยความเป็นกรด - ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจลโลส รวมถึงศึกษาอิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยในการทดลอง พบว่า ที่ปัจจัย pH ทำให้ค่าความแข็งเจลที่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อความเข้มข้นของเจลโลสเพิ่มสูงขึ้น จากร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 2.5, 3.0 และ 3.5 พบว่าระดับความเข้มข้นของเจลโลสมีผลทำให้ค่าความแข็งเจลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากรูปที่ 4.7 เมื่อศึกษาอิทธิพลร่วมของปัจจัย pH และความเข้มข้น พบว่า ที่ปัจจัย pH = 3, 4, 5 และ 6 เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 จะทำให้ค่าความแข็งเจลเพิ่มขึ้น และเมื่อปัจจัย pH เพิ่มสูงขึ้น ค่าความแข็งเจลจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ที่ปัจจัย pH = 3, 4, 5 และ 6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าทางสถิติของความเป็นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจลโอสที่มีผลต่อค่าความแข็งแรง

Source	df	F	Sig.
pH	3	95.777	.000
Concentration	5	1450.767	.000
pH * Concentration	15	21.275	.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นกรด-ด่าง (pH) และความเข้มข้นของเจลลอส ต่อค่าความแข็งของเจลที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน\*

pH	ค่าความแข็งเจล g (force) ที่ร้อยละความเข้มข้นแตกต่างกัน**					
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
3	<sup>A</sup> 89.70 ± 0.60 <sup>f</sup>	<sup>A</sup> 183.25 ± 3.43 <sup>e</sup>	<sup>A</sup> 236.17 ± 12.80 <sup>d</sup>	<sup>A</sup> 334.22 ± 5.08 <sup>c</sup>	<sup>A</sup> 380.40 ± 6.79 <sup>b</sup>	<sup>A</sup> 746.28 ± 46.24 <sup>a</sup>
4	<sup>B</sup> 75.86 ± 2.07 <sup>f</sup>	<sup>B</sup> 162.44 ± 4.51 <sup>e</sup>	<sup>B</sup> 220.64 ± 11.97 <sup>d</sup>	<sup>B</sup> 311.69 ± 11.60 <sup>c</sup>	<sup>B</sup> 367.94 ± 19.83 <sup>b</sup>	<sup>B</sup> 646.73 ± 29.46 <sup>a</sup>
5	<sup>C</sup> 66.14 ± 3.49 <sup>f</sup>	<sup>C</sup> 138.85 ± 8.37 <sup>e</sup>	<sup>C</sup> 205.18 ± 5.24 <sup>d</sup>	<sup>C</sup> 289.02 ± 10.96 <sup>c</sup>	<sup>C</sup> 358.35 ± 3.97 <sup>b</sup>	<sup>C</sup> 578.41 ± 44.18 <sup>a</sup>
6	<sup>D</sup> 61.48 ± 0.45 <sup>f</sup>	<sup>D</sup> 117.39 ± 5.00 <sup>e</sup>	<sup>D</sup> 193.15 ± 5.37 <sup>d</sup>	<sup>D</sup> 270.63 ± 11.30 <sup>c</sup>	<sup>D</sup> 336.19 ± 7.18 <sup>b</sup>	<sup>D</sup> 435.76 ± 23.25 <sup>a</sup>

หมายเหตุ : <sup>ABC</sup>... หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างความเข้มข้นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน ตัวอักษรที่กำกับข้างในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

<sup>abc</sup>... หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ตัวอักษรที่กำกับข้างในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

\* ในตารางละอายน้ำตาล 50 องศาปริกซ์

\*\* ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

#### 4.5 ศึกษาผลของสัดส่วนเพกตินและเจลาโลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล

จากระดับความเป็นกรด - ต่าง (pH) และความเข้มข้นของเจลาโลส พบว่าที่ pH = 3 จะให้ค่าความแข็งเจลสูงสุด และที่ pH นี้ยังมีการใช้กับอาหารที่เป็นกรดสูง เช่น แยม ซอส มายองเนส เป็นต้น ดังนั้นจึงเลือก pH = 3 เพื่อใช้ในการศึกษาผลของสัดส่วนเพกตินและเจลาโลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล โดยการเกิดเจลของเพกตินชนิดเมทอกซิลสูงจะต้องมีองค์ประกอบที่เหมาะสมคือ ปริมาณน้ำตาลร้อยละ 55 - 65 ค่าความเป็นกรด-ต่าง 2.9 - 3.1 เจลที่ได้จะไม่มีการผันกลับเมื่อได้รับความร้อนหรือแรงเฉือน เจลมีลักษณะนิ่ม แต่ไม่ละลายเมื่อให้ความร้อนและ เจลอาจมีการไหลซึมออกมาของของเหลวที่เป็นส่วนประกอบของเจล ซึ่งการเกิดลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การเกิดซินเนอริซิส (Oakenfull, 1991) โดยกำหนดค่าความเป็นกรดที่ pH = 3 มาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจล โดยศึกษาสัดส่วนของเพกตินต่อเจลาโลส และร้อยละความเข้มข้นโดยวัดค่าความแข็งของเจล

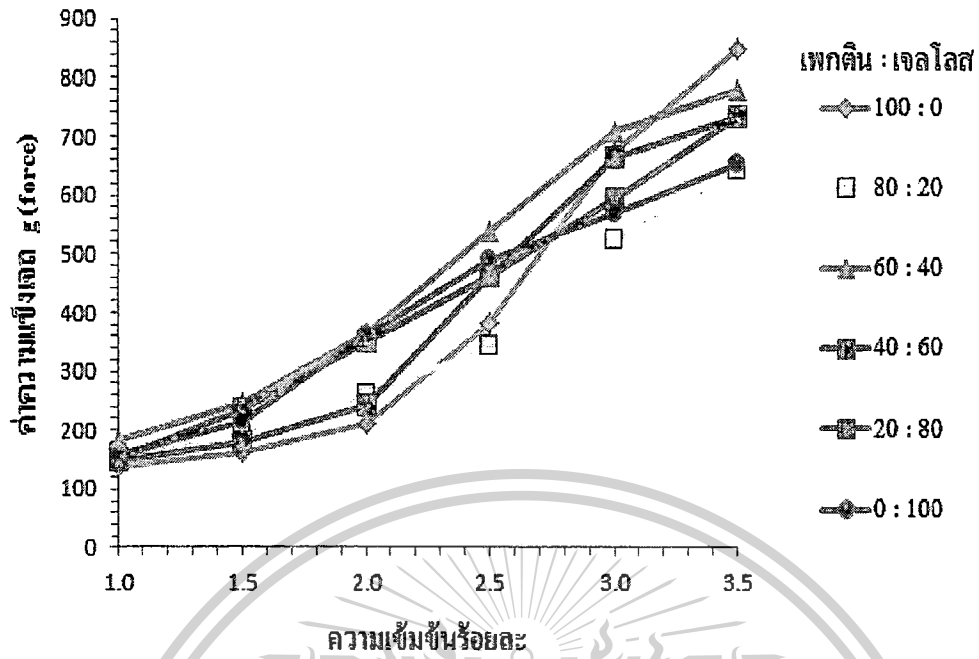
จากการทดลองในตารางที่ 4.7 เมื่อเพิ่มสัดส่วนปริมาณเจลาโลสถึงร้อยละ 60 ทำให้ค่าความแข็งเจลสูงขึ้น ยกเว้นที่ร้อยละความเข้มข้น 3.5 ในขณะที่การเพิ่มสัดส่วนเจลาโลสมากกว่าร้อยละ 60 กลับทำให้ค่าความแข็งเจลลดลง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 ถึง 2.5 และการใช้เจลาโลสทดแทนเพกตินทั้งหมดทำให้ค่าความแข็งเจลสูงกว่าการใช้เพกตินอย่างเดียว แต่ที่ความเข้มข้น 3.0 และ 3.5 การใช้เพกตินทั้งหมดจะให้ค่าความแข็งเจลสูงกว่า ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าหากผลิตภัณฑ์ต้องการเพิ่มความแข็งของเจลอาจสามารถใช้เจลาโลสทดแทนเพกตินเพื่อทดแทนการใช้เพกตินในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มปริมาณสารที่ทำให้เกิดเจล และถ้าสามารถผลิตผงเจลาโลสจากเมล็ดมะขามได้ซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมเนื้อเมล็ดมะขามด้วยต้นทุนที่ไม่แพง ก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้

จากตารางที่ 4.8 ที่แสดงค่าทางสถิติของสัดส่วนของเพกตินต่อเจลาโลส และความเข้มข้น รวมถึงศึกษาอิทธิพลร่วมของทั้ง 2 ปัจจัยในการทดลอง พบว่า สัดส่วนเพกตินต่อเจลาโลส ทำให้ค่าความแข็งเจลมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จะมีผลทำให้ค่าความแข็งเจลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อศึกษาอิทธิพลร่วมของสัดส่วนเพกตินต่อเจลาโลสและความเข้มข้น พบว่าค่าความแข็งเจลมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากรูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งเจล พบว่า ที่สัดส่วนเจลาโลสจนถึงร้อยละ 60 จะทำให้ค่าความแข็งของเจลนั้นสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเจลาโลสเป็นร้อยละ 80 ถึง 100 จะทำให้ค่าความแข็งของเจลนั้นลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงเจลที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ที่สัดส่วนของเพกตินต่อเจลโลส 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.7 ค่าความแข็งเจลต่อสัดส่วนของเพกตินต่อเจลลี่ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันที่ pH = 3\*

เพกติน/เจลลี่	ค่าความแข็งเจล (กรัม) ที่ร้อยละความเข้มข้นแตกต่างกัน**					
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
100:0	<sup>B</sup> 138.63 ± 16.21	<sup>E</sup> 162.85 ± 18.78	<sup>C</sup> 210.44 ± 18.10	<sup>D</sup> 380.93 ± 19.50	<sup>B</sup> 673.64 ± 17.80	<sup>A</sup> 848.78 ± 15.71
80:20	<sup>B</sup> 147.29 ± 19.95	<sup>C</sup> 178.05 ± 14.01	<sup>B</sup> 241.06 ± 16.11	<sup>C</sup> 460.80 ± 18.26	<sup>B</sup> 664.40 ± 22.92	<sup>C</sup> 735.13 ± 28.92
60:40	<sup>B</sup> 151.07 ± 15.57	<sup>AB</sup> 236.76 ± 18.14	<sup>A</sup> 350.24 ± 18.31	<sup>C</sup> 463.46 ± 24.41	<sup>C</sup> 596.21 ± 27.07	<sup>C</sup> 733.57 ± 28.81
40:60	<sup>A</sup> 182.66 ± 18.49	<sup>A</sup> 247.39 ± 25.30	<sup>A</sup> 364.18 ± 22.99	<sup>A</sup> 538.56 ± 24.41	<sup>A</sup> 708.68 ± 20.22	<sup>B</sup> 779.88 ± 17.49
20:80	<sup>B</sup> 159.40 ± 15.38	<sup>CD</sup> 194.04 ± 19.99	<sup>B</sup> 261.27 ± 18.40	<sup>C</sup> 345.03 ± 22.20	<sup>E</sup> 526.34 ± 19.38	<sup>D</sup> 643.46 ± 29.06
0:100	<sup>B</sup> 158.92 ± 24.57	<sup>BC</sup> 215.65 ± 16.55	<sup>A</sup> 362.74 ± 16.42	<sup>B</sup> 489.06 ± 10.79	<sup>D</sup> 571.38 ± 15.54	<sup>D</sup> 654.26 ± 23.86

หมายเหตุ : <sup>ABC...</sup> หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างสัดส่วนที่แตกต่างกันในแต่ละคอลัมน์โดยตัวอักษรที่กำกับกันมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

\* ในสารละลายน้ำตาล 50 องศาปริกซ์

\*\* ค่าในตารางคือค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 4.8 แสดงค่าทางสถิติสัดส่วนของเพกตินต่อเจลโลสและความเข้มข้นที่มีผลต่อค่าความแข็ง  
เจล

Source	df	F	Sig.
Concentration	5	4635.168	.000
Ratio	5	118.515	.000
Concentration *	25	39.247	.000
Ratio			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

1. ผงเมล็ดมะขามที่เตรียมได้จากการคั่วด้วยความร้อน 15 นาที ลอกเปลือก แช่น้ำ บดลดขนาด แล้วนำไปทำแห้งจะได้ ลักษณะที่เป็นผงละเอียด มีสีครีม ให้ปริมาณผงเมล็ดมะขามเท่ากับร้อยละ 60.91  $\pm$  3.39 มีความชื้นร้อยละ 8.17  $\pm$  0.60 เมื่อนำผงเมล็ดมะขามที่ได้มากำจัดไขมันออกแล้วศึกษาความหนืดด้วยเครื่องบราเบนเดอร์ วิสโคอะไมโลกราฟ ความเข้มข้นร้อยละ 4 พบว่า ผงเมล็ดมะขามที่กำจัดไขมัน แสดงความหนืดที่จุดต่างๆมีค่าสูงกว่าผงเมล็ดมะขามที่ยังไม่ได้กำจัดไขมัน

2. สารละลายเจลโลสที่ความเข้มข้นร้อยละ 2 มีแนวโน้มแสดงพฤติกรรมการไหลเป็นแบบนอนนิวโตเนียนชนิดซูโดพลาสติก และการสกัดที่อุณหภูมิ 87.5  $\pm$  2.5 องศาเซลเซียส จะให้ค่าดัชนีความคงตัวหรือความหนืดสูงกว่า การสกัดที่อุณหภูมิ 27.5  $\pm$  2.5 องศาเซลเซียส

3. การเพิ่มความเข้มข้นเจลโลสร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 ทำให้ค่าความแข็งเจลเพิ่มขึ้นในปัจจัย pH = 3, 4, 5 และ 6 และเมื่อค่า pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งเจลจะลดลง

4. ที่สัดส่วนพอกดินต่อเจลโลส 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80 และ 0:100 พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 ถึง 2.5, ทำให้ค่าความแข็งเจลเมื่อเพิ่มสัดส่วนปริมาณเจลโลส ถึงร้อยละ 60 ทำให้ค่าความแข็งเจลสูงขึ้น ยกเว้นที่ร้อยละความเข้มข้น 3.5 ในขณะที่การเพิ่มสัดส่วนเจลโลสมากกว่าร้อยละ 60 กลับทำให้ค่าความแข็งเจลลดลง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.0, 1.5, 2.0 ถึง 2.5 และการใช้เจลโลสทดแทนพอกดินทั้งหมดทำให้ความแข็งเจลสูงกว่าการใช้พอกดินอย่างเดียว แต่ที่ความเข้มข้น 3.0 และ 3.5 การใช้พอกดินทั้งหมดจะให้ค่าความแข็งเจลสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### บรรณานุกรม

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 303 น.

กิตติพงษ์ ห่วงรั้ง. 2555. ผักและผลไม้. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ.

ชวัญภูริ สิริพิลากรัตน์, พิลาณี ไฉนอมสัจย์, จิราพร เชื้ออยู่ และ ปรีศนา สิริอาษา. 2548. การผลิต เพกตินจากเปลือกและกากผลส้มเหลืองแห้ง. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร และอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชูศักดิ์ สัจจงพงษ์. 2550. มะขาม พืชสร้างอนาคต. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มติชน นิธิยา รัตนานพนธ์. 2539. เคมีอาหาร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีการอาหาร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นิภาวดี แสงยนต์. 2545. การแยกโปรตีนจากผงมะขามโดยใช้โปรตีนเอส. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นัยทัศน์ ภู่อรัมย์. 2543. รายงานการวิจัยการทำแยมสับปะรดเคลือบน้ำตาล. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 121. 2532. เรื่อง อาหารสำหรับผู้ต้องการควบคุม น้ำหนัก.

บัญชา ทิรัญพิสุทธิกุล. 2550. การใช้ประโยชน์จากเมล็ดมะขามในอุตสาหกรรมอาหาร. สัมมนา ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปริญษา โรจนการกุล และมงคล ตั้งศรีตระกูล. 2543. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด เพกตินจากกากฝรั่ง. ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

พวงเพชร นิธิยานนท์. 2522. การผลิตและการใช้ประโยชน์ของกัมจากเมล็ดมะขาม. วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณมา ตูลยธัญ. 2549. เคมีอาหารของคาร์โบไฮเดรต. ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วันแข็ง สิทธิกิจโยธิน และ ดวงฤดี เชิดวงศ์เจริญสุข. 2554. ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจาก เปลือกหุ้มเมล็ดมะขามหวานและมะขามเปรี้ยว. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 16, 47-55

วารี จารุวัฒนายนต์. 2543. การผลิตโพลีแซคคาไรด์ของเมล็ดมะขามจากผงเนื้อในเมล็ดมะขาม โดย การกรอง. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วุฒิชัย นาครักษา. 2555. คาร์โบไฮเดรตในอาหาร. คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

โสภณ มงคลวัจน์. 2550. การปลูกมะขามหวาน. ภาควิชาภูมิทัศน์และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม สถาบัน เทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. [Online]. Available.

พิมพ์วดี และ อนันต์ถิยา. 2551. การศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์เคมีของกัมทำดับส่วนต่างๆ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารวิชาการ. มหาวิทยาลัยบูรพา. ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หนึ่งฤทัย รงค์ทอง. 2551. อิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดมะขามและ  
ไซโลกลูแคน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

อรรถวิทย์ สมศิริ. 2540. การผลิตโพลีแซคคาไรด์จากเมล็ดมะขามในระดับอุตสาหกรรมนำร่อง.  
เภสัชศาสตร์มหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยมหิดล.

Adebowale, K.O. and Lawal, O.S. 2004. Comparative study of the functional  
properties of Bambarra groundnut (*Voandzeia subterranean*), jack bean  
(*Canavalia ensiformis*) and macuna bean (*Mucuna pruriens*) flours. Food  
Research international. 37, 355-365.

Agunbiade, S.O., and O.G., Longe. 1999. The physico-functional characteristics of  
starches from cowpea (*Vigna unguiculata*), pigeon pea (*Cajanus cajan*) and  
yambean (*Sphenostylis stenocarpa*). Food Chemistry 65, 469-474.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official Method of Analysis.  
15th ed. The Association of Official Agricultural Chemists.

Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official Method of Analysis  
(Method 2002.02, Method 996.11 and Method 985.29) The Association of  
Official Agricultural Chemists.

Axelos, m.A.V. and Thibault, J.F. (1991). The chemistry of low-methoxyl pectin  
gelation, in; *The Chemistry and Technology of Pectin* (Walter, R.H. Ed), New  
York: Academic Press. 109-117.

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.

Bhattacharya, S., Bal, S., Mukherjee, R.K. and Bhattacharya, S. 1994. Characterization  
of some product from Tamarind (*Tamaarind indica*) Kernel. J. Food Sci  
Technol. 31, 372-376.

Chaisakdanukull, C. and Ssiroth, K. 2005. Characterization of oligosaccharides from  
tamarind seed kernel power. Proceeding of the 2005 IFT Annual Meeting,  
New Orleans, USA.

Christensen, P.E. 1954. Methods of Grading pectin in relation to the molecular weight  
(intrinsic viscosity) of pectin. Food Research. 19,163.

Cpkelco. 2005. Pectin. Retrieved May, 16, 2005, from [http://www.cpkelco.com/pectin/  
applications.html](http://www.cpkelco.com/pectin/applications.html).

Dea, I. C. M., and Morrison. A. 1975. Chemistry and interactions of seed  
galactomannans. Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry. 31,

241-312.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- Freitas, R.A., Martin, S. Santos, G.L, Valenga, F., Buckeridge, M.S., Reicher, F. and Sierakowski, M.R. 2005. Physico-chemical properties of seed xyloglucans from Different sources. *Carbohydrate polymer*. 60, 507-514.
- Gibbon, D. and Pain, A. 1985. *Crop of drier regions of the tropics*, London and New York.
- Gidley, M.J., Lillford, P.J., Rowlands, D.W., Lang, P., Dentini, M., Crescenzi, V., Edwards, M., Fanutti, C. and Reid, JSG. 1991. Structure and solution properties of tamarind seed polysaccharide. *Carbohydrate Research*. 214, 299-314.
- Ikeda, S., Nitta, Y., Kim, B.s., Temsiripong, T., Pongsawatmanit, R. and Nishinari, K. 2004. single-phase mixed gels of xyloglucan and gellan. *Food Hydrocolloids*. 18, 669-675.
- 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.
- Kumar, C.S. and Bhattacharya. 2008. Tamarind sees : properties. *Processing and Utilization, Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 48(1), 1-20.
- Marathe, R.M., Annapure, U.S., Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R. 2002. Gelling behavior of polyose from tamarind kernel polysaccharide. *Food Hydrocolloids*. 16, 423-426.
- Marcus, S.M., Verhertbruggen, Y., Herve, C., Ordaz-Ortiz, J.J., Farkas, V., Pedersen, H.P., Willats, W.GT. and Knox, J.P. 2008. Pectic homogalacturonan masks abundant sets of xyloglucan epitopes in plant cell walls. *BMC Plant Biology*. 8(60).
- Michel, F., Doublier, J.L. and Thibault, J.F. 1982. Investigation of high methoxyl pectin by potentionmetry and viscometry. *Food Nutrient Science*. 6, 367.
- Miyasaki, K., Suisha, F., Kawasaki, N., Shirakawa, M., yamatoya. And Attwood, D. 1998. Thermally Reversible Xyloglucan Gels as vehicles for Rectal Drug Delivery. *J Control Release*. 56, 75-83.
- Nishinari, K., Yamatoya, K. and Shirakawa, M. 2000. Xyloglucan. In G.O. Phillips & P.A. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, UK. (247-267).
- Nishinari, K., Takemasa, M., Yamatoya, K. and Shirakawa, M. 2009. Xyloglucan. In G.O. Phillips & P.A. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids*, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, UK. (535-566).
- Oakenfull, D.G. (1991). In R. H. Walter (Ed.), *In the chemistry and technology of pectins*. San Diego, CA: Academic Press Inc. (87-118).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- Patel, T.R., Morris, G.A., Ebringerova, A., Vodenicarova, M. Velebny, V., Ortega, A., Torre, J.G. de la. and Harding, S.E. 2008. Global conformation analysis of irradiated xyloglucan. *Carbohydrate polymer*. 74, 845-851.
- Phillips, G.O.D.J., and Wedlock. P.A. 1986. *Gums and stabilizers for the food industry* 3. London.
- Puja, G., Vineet, K., and Pradeep, S. 2008. Cyanoethylation of tamarind kernel powder. *Starch/Starke*. 164, 699-703.
- Pongsawatmanit, R., Temsiripong, T., Ikeda, S. and Nishinari, K. 2006. Influence of tamarind seed xyloglucan on rheological properties and thermal stability of tapioca starch. *Journal of Food Engineering*. 77, 41-50.
- Ren, Y., Picout, D.R, Ellis, P.R., Ross-Murphy, S.B. and Reid, J.S.G. 2005. A novel xyloglucan from seed of *Azefia Africana* Se. Pers-Extraction, Characterization, and Conformational properties. *Carbohydrate Research*. 340, 997-1005.
- Shirakawa, M., Yamatoya, K., and Nishinari, K. 1998. Tailoring of xyloglucan properties using an enzyme. *Food Hydrocolloids*. 12, 25-28.
- Simon, Q. F. 2003. What's in the Stuff We Buy. September 13. Available : source <http://sci-toys.com/ingredients/ingredients.html>.
- Sriamornsai, P. 2003. Chemistry of pectin and Its Pharmaceutical Uses: A Review. *Journal of social science*. 3, 206-222.
- Strickland, F.M., Darvill, A., Eberhard, S., Pauly. M. and Pelley, R.P. 1999. Photochem. *Photobiol*. 69, 141.
- Temsiripong, T., Pongsawatmanit, R., Ikeda, S., and Nishinari, K. 2005. Influence of xyloglucan on gelatinization and retrogradation of tapioca starch. *Food Hydrocolloids*. 19, 1054-1063.
- Thakur, B.R.,Singh, R.K., and Handa, A. D. 1997. Chemistry and uses of pectin. *Critical Reviews in food science and Nutrition*. 37 (1), 47-73.
- Wang, Q., Ellis, P.R. Ross-Murphy, S.B. and Reid, J.S.G. 1996. A new polysaccharide from a traditional Nigerian plant food: *Deterium Senegulense* Gmelin. *Carbohydrate Research*. 284, 229-239.
- Yamanaka, S., Yuguchi, Y., Urakawa, H., Kajiwara, K., Shirakawa, M. and Yamatoya, K. 2000. Gelation of tamarind seed polysaccharide xyloglucan in the presence of alcohol. *Food Hydrocolloid*. 14, 125-128.
- Yuguchi, Y., Kumagai, T., Wu, M., Hirotsu, T. and Hosokawa, J. 2004. Gelation of xyloglucan in water/alcohol systems. *Cellulose*. 11, 203-208.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.