

การเปรียบเทียบพฤติกรรมการเกิดเจล คุณสมบัติด้านการไหล และคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของเจลโลสที่ได้จากเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยวของประเทศไทย

พรรณวดี จุลภักดี¹ วุฒิชัย นาครักษา^{1*}

Received : July 26, 2019

Revised : October 20, 2019

Accepted : December 23, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการเกิดเจล คุณสมบัติด้านการไหล และคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ ของแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) โดยจากการตรวจสอบขนาดโมเลกุลของเจลโลส พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 4×10^5 Daltons ประมาณ 70% มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน ซึ่งมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง $< 4 \times 10^5$ Daltons ประมาณ 35% และในช่วง 4×10^5 Daltons ประมาณ 49% ในด้านคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีค่าการดูดซับน้ำและค่าการละลายน้อยกว่าเจลโลสเมล็ดมะขามเปรี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากการศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจลของเจลโลสโดยศึกษาปัจจัย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่ 1 คือ ความเข้มข้นของสารละลายเจลโลส มี 3 ระดับดังนี้ 1%, 1.5% และ 2% ปัจจัยที่ 2 คือ ค่าพีเอชมี 3 ระดับดังนี้ 3, 4 และ 5 โดยวางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design (CRD) พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่าเจลโลส จากเมล็ดมะขามหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เจลโลสทั้งสองสายพันธุ์ที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH3 ให้ค่าความแข็งแรงเจลมากที่สุด โดยการเพิ่มความเข้มข้นจะเพิ่มความแข็งแรงของเจล ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่า pH ส่งผลให้เจลอ่อนตัวและความแข็งแรงของเจลลดลง เมื่อศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลของเจลโลส ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ พบว่าพฤติกรรมด้านการไหลของเจลโลสทั้งสองสายพันธุ์ที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH3 แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic และเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าความหนืดมากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน และจากการศึกษาคุณสมบัติการเป็นวิสโคอิลาสติก พบว่าเจลโลสทั้งสองสายพันธุ์มีค่าโมดูลัสสะสม (G') มากกว่าค่าโมดูลัสสูญเสีย (G'') ซึ่งแสดงถึงสถานะของอีลาสติก (elastic) หรือลักษณะคล้ายของแข็ง (solid-like) ในด้านคุณสมบัติทางด้านอิมันชัน พบว่าค่า Emulsifying activity (EA) และ Emulsion stability (ES) ของเจลโลสทั้งสองสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

คำสำคัญ : เจลโลส พฤติกรรมการเกิดเจล คุณสมบัติด้านการไหล มะขามหวาน มะขามเปรี้ยว

¹ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

* ผู้นิพนธ์หลัก e-mail: wootthichai.na@kmitl.ac.th

COMPARISON GEL BEHAVIOR, RHEOLOGY PROPERTIES AND SOME PHYSICO PROPERTIES OF JELLOSE FROM SWEET AND SOUR TAMARIND VARIETIES OF THAILAND

Punwadee Julapuk¹ Woatthichai Narkrugs^{1*}

Abstract

This research aims to comparison of Gel Behavior, Rheology Properties and some Physico Properties of Jellose from sweet (Sri Chom Phu variety) and sour (Grà Daan variety) Tamarind seed. The molecular weight of the gellose found that sour Jellose had a molecular weight of 4×10^5 Daltons, about 70% more than sweet Jellose, which has a molecular weight in Range $< 4 \times 10^5$ Daltons, approximately 35% and Daltons in the range of 4×10^5 , approximately 49%. In terms of Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) found that sweet Jellose had water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) more than sour Jellose with statistical significance at 95% confidence level. And the study of gel characteristic of Jellose from by a factorial experiment plan in complete random design (CRD). The factors used in the study are 2 factors. The factor one is the concentration of gellose with 3 levels as follows: 1%, 1.5% and 2%. The factor two is the pH value with 3 levels as follows: 3, 4 and 5. Found that sour gellose had higher gel strength than sweet gellose with statistical significance at 95% confidence level. Both gellose at 2% concentration at pH3 gives the highest gel strength. By increasing the concentration will increase the gel strength while the increase in pH results in a weak gel and decreased gel strength. When study the rheology properties of Jellose with rheometer. Found that the flow behavior of both gellose at 2% concentration at pH3 showed the flow behavior Non-newtonian pseudoplastic type and sour Jellose has a viscosity greater than sweet Jellose. And when study the viscoelastic properties of Jellose found that both Jellose have a storage modulus (G'), more than loss modulus (G'') which indicates the state of elastic or the characteristics of solid-like. In terms of emulsifying properties, it showed that the emulsifying activity (EA) and emulsion stability (ES) of both Jellose showed no statistically significant difference at 95% confidence level.

Keywords : Jellose, Gel Behavior, Rheology Properties, Sweet tamarind, Sour tamarind

¹ Faculty of Agro-Industry King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Bangkok

* Corresponding author, e-mail: woatthichai.na@kmitl.ac.th

บทนำ

มะขาม (Tamarind) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica* L. เป็นไม้ยืนต้นตระกูลถั่วที่มีขนาดใหญ่ ปัจจุบันมีปลูกกันมากโดยเฉพาะในเอเชีย เช่น อินเดีย บังคลาเทศ ศรีลังกา ไทย และอินโดนีเซีย (Kumar and Bhattacharya, 2008) ในประเทศไทยมีการปลูกมะขามหวานและมะขามเปรี้ยวตามจังหวัดต่างๆ ได้แก่ เพชรบูรณ์ เลย ลำปาง เชียงใหม่ นครราชสีมา ขอนแก่น และอุบลราชธานี (ชูศักดิ์, 2550) ในอุตสาหกรรมเมล็ดมะขามเป็นผลพลอยได้จากการแปรรูปเนื้อมะขาม (Marathe *et al.*, 2002) เนื่องจากผลิตภัณฑ์จากมะขามจะใช้เฉพาะส่วนของเนื้อมะขาม ส่วนของเมล็ดมะขามจะเป็นของเหลือทิ้ง เมล็ดมะขามประกอบด้วยเปลือก (seed coat) ซึ่งมีสีน้ำตาลแดง 20–30 % และเนื้อในเมล็ดที่มีสีขาวนวล 70–80 % (Kaur *et al.*, 2011) เนื้อในเมล็ดมะขามถูกใช้ในการผลิตแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel powder : TKP) และเจลาติน (Jellose) หรือไซโลกลูแคน (Xyloglucan) หรือกัมจากเมล็ดมะขาม (Tamarind seed gum : TSG, Tamarind seed xyloglucan : TSX) (Marathe *et al.*, 2002)

เนื้อในเมล็ดมะขามประกอบไปด้วยไซโลกลูแคน (Xyloglucan) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ ไซโลกลูแคนเป็นเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็นกัมที่ได้จากเมล็ดพืชชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้ทั่วไปในผนังเซลล์ของพืช โครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 ชนิดคือ น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลไซโลส และน้ำตาลกาแลกโทส ต่อกันเป็นสายโซ่ยาว (Nisbet *et al.*, 2006; Nishinari *et al.*, 2007) โดยโครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายหลัก β -1,4 เชื่อมกับ D-glucan มีสายกิ่งเป็นน้ำตาลไซโลส โดยที่ตำแหน่ง O-6 ของ glucopyranosyl residue ถูกแทนที่ด้วย α -D-xylapyranose และมีกิ่งของน้ำตาลกาแลคโตสจับกับกิ่งของน้ำตาลไซโลส (York *et al.*, 1990 ; Nisbet *et al.*, 2006) ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารในญี่ปุ่นอนุญาตให้ใช้แป้งเมล็ดมะขามและเจลาติน สำหรับใช้เป็น สารเพิ่มความข้นหนืด (thickening), สารให้ความคงตัว (stabilizing) และสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agents) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการไหลและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ (Marathe *et al.*, 2002)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเจลาตินที่ได้จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) เนื่องจากในประเทศไทยอุตสาหกรรมแปรรูปเนื้อมะขามวัตถุดิบส่วนใหญ่เกือบทั้งหมดได้มาจากมะขามหวานสายพันธุ์ศรีชมภูและปัจจุบันเริ่มมีคนรู้จักแป้งเมล็ดมะขามและเจลาตินมากขึ้น ทราบว่ามีโรงงานรับซื้อเมล็ดมะขามเพื่อนำไปผลิตแป้งเมล็ดมะขามและเจลาติน ทำให้คนนำเมล็ดมะขามทั้งเมล็ดมะขามหวาน และเมล็ดมะขามเปรี้ยวสายพันธุ์กระดานไปขายที่โรงงาน จึงเกิดวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการเกิดเจล, คุณสมบัติด้านการไหล และคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของเจลาตินที่ได้จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการเกิดเจล คุณสมบัติด้านการไหล และคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ ของแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ

เจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทปิ่นเพชรจำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์, ประเทศไทย

2. ตรวจสอบหาขนาดโมเลกุล

นำตัวอย่างเจลโลส มาหาค่าน้ำหนักโมเลกุลโดยใช้เทคนิค Gel permeation chromatography โดยใช้ DI เป็นตัวทำละลาย และใช้สาร Polyethylene เป็นสารละลายมาตรฐาน ปรับอัตราการไหลเท่ากับ 1.0 มิลลิลิตร/นาที่ และควบคุมอุณหภูมิที่ 40°C

3. ศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย (Water absorption index; WAI and Water solubility index; WSI) (ดัดแปลงจาก Narkrgsa, 1996)

4. ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจล (Gel characteristic) (ดัดแปลงจาก ลิ้นินา, 2557)

เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นเจลโลส 1%, 1.5% และ 2% (dry basis) โดยนำเจลโลสมาละลายในสารละลายน้ำตาล 50% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 85°C เป็นเวลา 30 นาที (คนตัวอย่างเรื่อยๆด้วยแท่งแก้ว) ให้ได้ความเข้มข้นเป็น 50°บริกซ์ ปรับ pH ของตัวอย่างเป็น pH 3, 4 และ 5 ด้วยกรดซิตริก ตั้งทิ้งไว้ให้เซตตัว นำเจลที่ได้มาวัดค่าความแข็งแรงเจลด้วยเครื่อง Texture analyser โดยใช้หัววัด P/0.5R กดลงบนตัวอย่างเป็นระยะทาง 15 มิลลิเมตร ที่ความเร็ว 2 มม./วินาที จนสัมผัสเนื้อเจล

5. ศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลของเจลโลส (Rheology properties)

นำเจลโลสที่มีความเข้มข้นเจลโลส 2% (dry basis) มาศึกษาคุณสมบัติด้านการไหล ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (Rheometer) (MCR 102, Anton Paar GmbH, ประเทศออสเตรีย) เพื่อดูพฤติกรรมการไหล และความเป็นวิสโคอิลาสติก (liquid-like หรือ solid-like) ของเจลโลส โดยนำเจลโลสมาละลายในสารละลายน้ำตาล 50% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิมากกว่า 85°C เป็นเวลา 30 นาที (คนตัวอย่างเรื่อยๆด้วยแท่งแก้ว) ให้ได้ความเข้มข้นเป็น 50°บริกซ์ ปรับ pH ของตัวอย่างเป็น pH=3 ด้วยกรดซิตริก ตัวอย่างจะถูกวัดที่อุณหภูมิ 25±1°C โดยใช้หัววัด PP50/TG

6. ศึกษาคุณสมบัติทางด้านอิมัลชัน (Emulsifying properties) (ดัดแปลงจาก Yasumatsu *et al.*, 1972)

Emulsifying activity เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของเจลโลส 2 % (dry basis) โดยนำเจลโลสมาละลายในสารละลายน้ำตาล 50% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำตัวอย่างมาให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิมากกว่า 85 °C คงไว้ที่อุณหภูมิช่วงนี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (คนตัวอย่างเรื่อยๆด้วยแท่งแก้ว) ทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง เติมน้ำมันถั่วเหลือง 100 มิลลิลิตรลงในแต่ละตัวอย่าง แล้วทำให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เครื่องโฮโมจีไนส์เซอร์ (Homogenizer, ประเทศเยอรมัน) ที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา 1 นาที แบ่งของผสมใส่ใน centrifugal tubes นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Thermo Legend mach 1.6R, ประเทศเยอรมัน) ที่ 1300 g เป็นเวลา 5 นาที

ค่า Emulsifying activity สามารถคำนวณได้จาก

$$EA = (\text{ความสูงของ emulsified layer}) / (\text{ความสูงทั้งหมด}) = 100\%$$

Emulsion stability เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของเจลโลส 2 % (dry basis) โดยนำเจลโลสมาละลายในสารละลายน้ำตาล 50% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร นำตัวอย่างมาให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิมากกว่า 85 °ซ คงไว้ที่อุณหภูมิช่วงนี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง(คนตัวอย่างเรื่อยๆด้วยแท่งแก้ว) จากนั้นเติมน้ำมันถั่วเหลือง 100 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °ซ เป็นเวลา 30 นาที ทำให้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้องแบ่งของผสมใส่ใน centrifugal tubes นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Thermo Legend mach 1.6R, ประเทศเยอรมัน) ที่ 1300 g เป็นเวลา 5 นาที

ค่า Emulsion stability สามารถคำนวณได้จาก

$$ES = (\text{ความสูงของ emulsified layer}) / (\text{ความสูงทั้งหมด}) = 100\%$$

7. วิเคราะห์ผลทางสถิติ

นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS โดยใช้การทดสอบที (T-test) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย 2 กลุ่มที่เป็นอิสระจากกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ตรวจสอบหาขนาดโมเลกุล

จากการตรวจสอบหาน้ำหนักโมเลกุลของเจลโลส โดยใช้เทคนิค Gel permeation chromatography พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีน้ำหนักโมเลกุล $\sim 3.49 \times 10^5$ Daltons (34.95%), $\sim 4.02 \times 10^5$ Daltons (48.79%) และ $\sim 10.39 \times 10^5$ Daltons (16.26%) ขณะที่เจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีน้ำหนักโมเลกุล $\sim 3.84 \times 10^5$ Daltons (15.77%), $\sim 4.03 \times 10^5$ Daltons (70.46%) และ $\sim 9.95 \times 10^5$ Daltons (13.77%) ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 4×10^5 Daltons ประมาณ 70% มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานซึ่งมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง $< 4 \times 10^5$ Daltons ประมาณ 35% และในช่วง 4×10^5 Daltons ประมาณ 49% เจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวจึงมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าเจลโลส จากเมล็ดมะขามหวาน

ตารางที่ 1 ขนาดมวลโมเลกุลของเจลโลส

	ขนาดมวลโมเลกุล (Daltons)		
	$< 4 \times 10^5$	4×10^5	$> 4 \times 10^5$
เจลโลสหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	$\sim 3.49 \times 10^5$ (34.95%)	$\sim 4.02 \times 10^5$ (48.79%)	$\sim 10.39 \times 10^5$ (16.26%)
เจลโลสเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	$\sim 3.84 \times 10^5$ (15.77%)	$\sim 4.03 \times 10^5$ (70.46%)	9.95×10^5 (13.77%)

2. ศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย (Water absorption index; WAI and Water solubility index; WSI)

จากการศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลายของเจลโลสพบว่า เจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีการดูดซับน้ำและค่าการละลายมากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากตารางที่ 2 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (WAI) และการละลายน้ำ

(WSI) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว พบว่าเมื่อละลายเจลโลสด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 30 °ซ เจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าการดูดซับน้ำ 465.45 ± 0.18 และ 398.81 ± 7.01 เท่าของน้ำหนักเจลโลส ตามลำดับ และจากการตรวจสอบความสามารถในการละลายน้ำของเจลโลส คิดเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ที่อุณหภูมิ 30 °ซ เจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าการละลายน้ำ 5.62 ± 0.62 และ $4.81 \pm 0.57\%$ ตามลำดับ

ซึ่งสอดคล้องกับขนาดมวลโมเลกุลของเจลโลส โดยเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีมวลโมเลกุลขนาดเล็กอยู่ในช่วง $3.49\text{--}4.02 \times 10^5$ Daltons มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวซึ่งมีขนาดมวลโมเลกุลส่วนใหญ่อยู่ที่ 4.03×10^5 Daltons ทำให้เจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานสามารถละลายและดูดซับน้ำ (ให้น้ำเกาะกับโครงสร้าง) ได้ดีกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่มีขนาดมวลโมเลกุลใหญ่กว่า (ซึ่งโครงสร้างของมันจะเกาะกันเอง)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติในการดูดซับน้ำ (WAI) และคุณสมบัติในการละลายของเจลโลส (WSI)

	การดูดซับน้ำ (WAI)	การละลาย (WSI) (%)
เจลโลสหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	475.02 ± 9.91^a	5.62 ± 0.62^a
เจลโลสเปรี้ยว (พันธุ์กระดาง)	398.81 ± 7.01^b	4.81 ± 0.57^b

หมายเหตุ: 1. ^{abc}... หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวดิ่งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. ศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจล (Gel characteristic)

จากการศึกษาระดับความเข้มข้นของเจลโลส และค่า pH ต่อพฤติกรรมการเกิดเจล จากตารางที่ 3 แสดงผลของค่าพีเอช (pH) และความเข้มข้นของเจลโลสต่อค่าความแข็งแรงของเจล พบว่า ค่า pH และความเข้มข้นมีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจลที่ได้ เมื่อ pH เพิ่มขึ้นที่ระดับความเข้มข้นของเจลโลสเท่ากัน มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และ ความเข้มข้นของเจลโลสที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นจะเพิ่มความแข็งแรงของเจล ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชส่งผลให้เจลอ่อนตัวและความแข็งแรงของเจลลดลง

จากตารางพบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH3 ให้ค่าความแข็งแรงเจลมากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Marathe (2002) ที่ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเจลโลสต่อค่าความแข็งแรงเจล เมื่อความเข้มข้นของเจลโลสเท่ากันที่ระดับ pH ต่างกัน พบว่าที่ pH3 ให้ค่าความแข็งแรงเจลมากที่สุด และจากงานวิจัยของสินีนานู (2557) ได้ศึกษาผลของ pH และความเข้มข้นของเจลโลสต่อพฤติกรรมการเกิดเจล พบว่า pH และระดับความเข้มข้นของเจลโลส มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงเจลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเจลโลสจาก 1.0% ไปจนถึง 3.5% ค่าความแข็งแรงเจลมีค่าสูงขึ้นในทุกๆ pH ที่ทำการทดลอง และเมื่อ pH สูงขึ้นที่ระดับความเข้มข้นเจลโลสเท่ากันค่าความแข็งแรงเจลมีค่าลดลงตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลของพีเอช (pH) และความเข้มข้นของเจลโลส ต่อค่าความแข็งของเจล (Gel strength)

pH	Gel strength (g) ของเจลโลสที่ความเข้มข้นต่างๆ (%)					
	¹ เจลโลสหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)			² เจลโลสเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)		
	1	1.5	2	1	1.5	2
3	^A 18.23 ± 0.88 ^a	^A 29.33 ± 0.96 ^b	^A 55.59 ± 1.45 ^c	^A 20.85 ± 1.60 ^a	^A 30.32 ± 5.79 ^b	^A 62.28 ± 1.60 ^c
4	^B 15.36 ± 0.95 ^a	^B 18.56 ± 1.73 ^b	^B 43.68 ± 1.11 ^c	^B 16.75 ± 0.49 ^a	^B 21.07 ± 0.83 ^b	^B 46.00 ± 2.44 ^c
5	^C 5.93 ± 0.43 ^a	^C 12.87 ± 2.25 ^b	^C 27.45 ± 2.11 ^c	^C 7.71 ± 1.13 ^a	^C 15.42 ± 0.58 ^b	^C 23.08 ± 2.51 ^c

หมายเหตุ: 1. ^{abc}... หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างค่าความเข้มข้นที่ต่างกัน ตัวอักษรที่กำกับในแนวนอนเดียวกันเมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

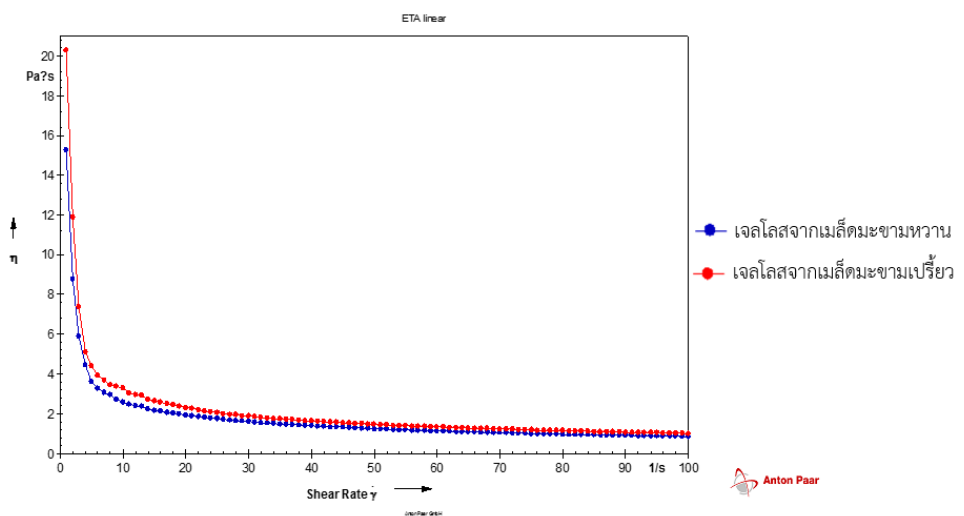
2. ^{ABC}... หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างค่าพีเอชที่ต่างกัน ตัวอักษรที่กำกับในแนวตั้งเดียวกันเมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3. ¹²³... หมายถึง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสายพันธุ์ที่ต่างกัน ตัวอักษรที่กำกับในแนวนอนเดียวกันเมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4. ศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลของเจลโลส (Rheology properties)

4.1 ศึกษาพฤติกรรมการไหล

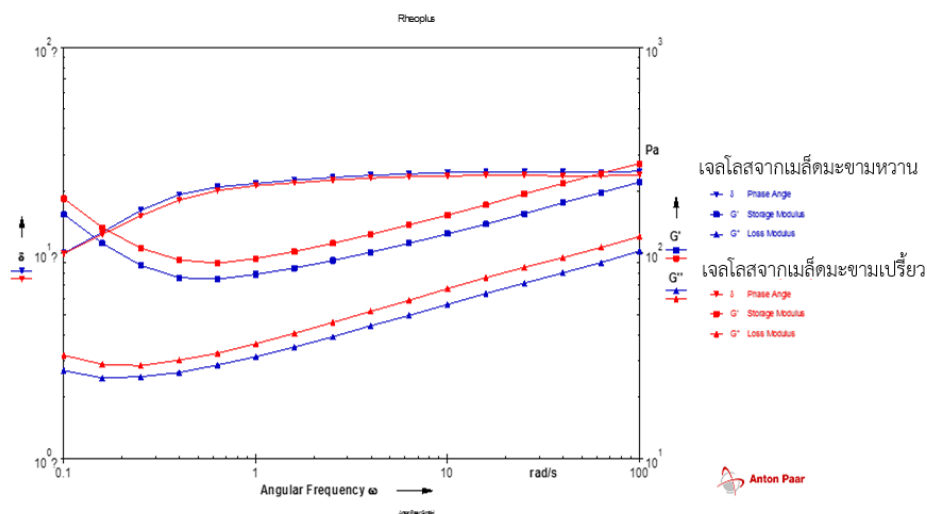


รูปที่ 1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) และอัตราเฉือน (shear rate) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) ที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH3

โดยนำเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH3 มาศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์ (Rheometer) จากรูปที่ 1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดปรากฏและอัตราเฉือน พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic เนื่องจากกราฟแสดงให้เห็นค่าความหนืดลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น จากกราฟจะเห็นว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีความหนืดมากกว่าเจล โลสจากเมล็ดมะขามหวาน โดยเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) เท่ากับ 0.869 Pa.s และ 1.02 Pa.s ตามลำดับ

ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Somsiri (1997) ที่ได้สกัดเจลโลสโดยใช้สัดส่วนของแป้งเมล็ดมะขาม : น้ำ 1 : 40 (น้ำหนัก/ปริมาตร) โดยสกัดที่อุณหภูมิ 25-30°C และ 85-90°C ใช้เครื่องปั่นเหวี่ยงแยกตะกอน จากนั้นทำการแยกเจลโลสโดยตกตะกอนด้วย 95% ethanol 1-1.5 เท่าตัว กรองเก็บตะกอนด้วยผ้าแล้วนำไปอบที่ 60°C เจลโลสที่สกัดที่อุณหภูมิ 25-30°C และเจลโลสที่สกัดที่ 85-90°C มีค่า Apparent viscosity ของสารละลายที่ความเข้มข้น 3% อยู่ในช่วง หรือสูงกว่า 0.7538–0.7662 Pa.s และ 1.5150–1.7570 ตามลำดับ และเจลโลสที่สกัดที่อุณหภูมิ 25-30°C เข้มข้นตั้งแต่ 2% ขึ้นไปแสดงให้เห็นพฤติกรรมการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic เช่นเดียวกันกับเจลโลสที่สกัดที่ 85-90°C ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1.5% ขึ้นไป

4.2 ศึกษาคุณสมบัติการเป็นวิสโคอิลาสติก



รูปที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่, ค่าโมดูลัสสะสมและค่าโมดูลัสสูญเสีย และค่าPhase angle(δ) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) ที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH3

จากรูปที่ 2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่, ค่าโมดูลัสสะสมและค่าโมดูลัสสูญเสีย และค่าPhase angle (δ) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH3 โดยจากการทดลองพบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีค่าโมดูลัสสะสม(storage modulus ; G') และมีค่าโมดูลัสสูญเสีย (loss modulus ; G'') เท่ากับ 153 (Pa) และ 26.8 (Pa) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่มีค่าเท่ากับ 182 (Pa) และ 31.8 (Pa) ตามลำดับ ที่ความถี่เดียวกัน (Angular Frequency = 0.1 rad/s) เมื่อค่าโมดูลัสสะสมมีค่ามากกว่าค่าโมดูลัสสูญเสีย ($G' > G''$) จะแสดงถึงสถานะของอีลาสติก (elastic)หรือลักษณะคล้ายของแข็ง (solid like) ดังนั้นจึงสามารถบ่งบอกถึงสถานะได้ว่าสารละลายของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีลักษณะคล้ายของแข็ง (solid-like) โดยสารละลายของเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีลักษณะคล้ายของแข็ง มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน

5. ศึกษาคุณสมบัติทางด้านอิมันชัน (Emulsifying properties)

จากตารางที่ 4 แสดงค่า Emulsifying activity (EA) และ Emulsion stability (ES) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว พบว่า ค่า EA และ ES ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94.87 ± 0.44 และ $98.71 \pm 0.44\%$ ตามลำดับ ส่วนเจลโลส จากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.58 ± 0.89 และ $97.94 \pm 0.44\%$ ตามลำดับ ซึ่งเจลโลส จากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4 คุณสมบัติทางด้านอิมันชันของเจลโลส

	Emulsifying activity (%)	Emulsion stability (%)
เจลโลสหวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	94.87 ± 0.44^a	98.71 ± 0.44^a
เจลโลสเปรี้ยว (พันธุ์กระตาน)	93.58 ± 0.89^a	97.94 ± 0.44^a

หมายเหตุ: 1. abc...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวดิ่งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สรุปผลการวิจัย

จากการตรวจสอบหาขนาดมวลโมเลกุลของเจลโลส พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีขนาดโมเลกุลใหญ่มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวาน โดยเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 4×10^5 Daltons ประมาณ 70% มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานซึ่งมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง $< 4 \times 10^5$ Daltons ประมาณ 35% และในช่วง 4×10^5 Daltons ประมาณ 49%

ส่งผลให้เมื่อศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าการดูดซับน้ำและค่าการการละลาย 465.45 ± 0.18 และ 5.62 ± 0.62 ตามลำดับ มากกว่าแบ่งเมล็ดมะขามหวานซึ่งมี 398.81 ± 7.01 และ $4.81 \pm 0.57\%$ ตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อศึกษาพฤติกรรมการเกิดเจลพบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าความแข็งแรงของเจลมากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ที่ความเข้มข้นของเจลโลสและค่า pH เท่ากัน และพบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 2% ที่

pH3 ให้ความแข็งแรงเจลมากที่สุด การเพิ่มความเข้มข้นจะเพิ่มความแข็งแรงของเจล ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชส่งผลให้เจลอ่อนตัวและความแข็งแรงของเจลลดลง และจากการศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 2% ที่ pH3 ด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์พบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic เจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีความหนืดเท่ากับ 1.02 Pa.s มากกว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานที่มีค่าความหนืด 0.869 Pa.s และพบว่าเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าโมดูลัสสะสม (G') มากกว่าค่าโมดูลัสสูญเสีย (G'') ซึ่งแสดงถึงสถานะของอีลาสติคหรือลักษณะคล้ายของแข็ง ในด้านคุณสมบัติทางด้านอิมันชัน พบว่าค่า Emulsifying activity (EA) และ Emulsion stability (ES) ของเจลโลสจากเมล็ดมะขามหวานและเจลโลสจากเมล็ดมะขามเปรี้ยว ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทปิ่นเพชรจำกัดที่ได้ให้การสนับสนุนเจลโลสจากเมล็ดมะขามในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- ชูศักดิ์ สัจจงพงษ์. (2550). *มะขาม พืชสร้างอนาคต*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มติชน.
- สินีนาม สุชะวลี. (2557). *สมบัติของเจลโลสจากผงเมล็ดมะขามต่อพฤติกรรมการเกิดเจล*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.
- สิริกร หนูสิงห์ และวรางคณา สมพงษ์. (2558). *ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลของกัมเมล็ดมะขาม (Tamarindus indica L.)*. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 53.
- Kumar, C.S., & Bhattacharya, S. (2008). *Tamarind Seed : Properties , Processing and Utilization*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 48, 1–20.
- Kaur, P., Sandhu, K.S., & Kaur, J. (2011). Pasting properties of Tamarind (Tamarindus indica) kernel powder in the presence of Xanthan, Carboxymethyl cellulose and Locust bean gum in comparison to Rice and Potato flour. *J. Food Sci. Tech*, 69, 251–255.
- Marathe, R.M., Annapure, U.S., Singhal, R.S., & Kulkarni, P.R. (2002). Gelling behavior of polyose from tamarind kernel polysaccharide. *Food Hydrocolloids*, 16, 423–426.
- Narkrugsa, W. (1996). Change in some Physiochemical Properties of Tapioca and Glutinous rice Starches After Microwave Heating. *Kasertsart Journal (Nat.Sci.)*, 30, 532–538.
- Nisbet, D.R., Crompton, K.E., Hamilton, S.D., Shirakawa, S., Prankerd, R.J., Finkelstein, D.I., Horne, M.K., & Forsythe, J.S. (2006). Morphology and gelation of thermosensitive xyloglucan hydrogel. *Biophysical Chemistry*, 121, 14–20.
- Nishinari, K., Takemasa, M., Zhang, H., & Takahashi, R. (2007). Storage plant polysaccharides : Xyloglucan, galactomannans, glucomannans. In Kamerling, J.P. *et al.* (eds), *Comprehensive Glycoscience*. Elsevier, Amsterdam, 614–652
- Somsiri, A. (1997). *Pilot scale production of tamarind seed polysaccharide*. Faculty of graduate studies mahidol university.

- Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Misaki, M., Toda, J., Wada, T., & Ishii, K. (1972). Whipping and Emulsifying Properties of Soybean Products. *Agricultural and Biological Chemistry*, 36(5), 719–727.
- York, W.S., Halbeek, H.V., Darvill, A.G. and Albersheim, P. (1990). Structural analysis of xyloglucan oligosaccharides by H^1 NMR spectroscopy and fast bombardment mass spectrometry. *Carbohydrate Research*, 200, 9–31.