

การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความหนืด, พฤติกรรมการไหล และคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ ของแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยวของประเทศไทย

พรรณวดี จุลภักดิ์^{1*} วุฒิชัย นาครักษา^{1*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความหนืด, พฤติกรรมการไหล และคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ ของแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) โดยจากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3 % ด้วยเครื่องบราเวนเดอร์วิสโคสไมโครกราฟ พบว่า แป้งเมล็ดมะขามหวานมีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด, ค่าความหนืดสูงสุด และค่า setback แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ กับแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว เมื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3 % ด้วยรูคฟิลด์วิสโคมิเตอร์ ที่อุณหภูมิ 25 ± 1 °ซ พบว่า แป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าความหนืดปรากฏน้อยกว่าแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยแป้งเมล็ดมะขามทั้งสองสายพันธุ์ แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic ในด้านคุณสมบัติทางด้านอิมันชัน พบว่า ค่า Emulsifying activity (EA) และ Emulsion stability (ES) ของแป้งเมล็ดมะขามทั้งสองสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และในด้านคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย พบว่า แป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ในขณะที่มีค่าการการละลายมากกว่า

คำสำคัญ : แป้งเมล็ดมะขาม การเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืด พฤติกรรมการไหล มะขามหวาน มะขามเปรี้ยว

¹ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร

* ผู้นิพนธ์หลักและผู้ร่วมนิพนธ์ e-mail: woatthichai.na@kmitl.ac.th, 60608009@kmitl.ac.th

COMPARISON OF PASTING CHARACTERISTICS, FLOW BEHAVIOR AND SOME PHYSICAL PROPERTIES OF TAMARIND KERNEL POWDER FROM SWEET AND SOUR TAMARIND VARIETIES OF THAILAND

Punwadee Julapuk^{1*} Woatthichai Narkrugs^{1*}

Abstract

This research aims to comparison of pasting characteristics, flow behavior and some physical properties of Tamarind kernel powder (TKP) from sweet (Sri Chom Phu variety) and sour (Grà Daan variety) Tamarind seed. From the study the pasting characteristics of TKP at 3 % concentration, the results showed that sweet TKP had the Pasting temperature, maximum viscosity and setback were significantly different at $p < 0.05$ level with sour TKP. When study the flow behavior of TKP at 3 % concentration by Brookfield viscometer at $25 \pm 1^\circ \text{C}$, it reviewed that sweet TKP showed less apparent viscosity ($2463.67 \pm 105.99 \text{ mPa.s}$) than sour TKP ($3297.00 \pm 172.50 \text{ mPa.s}$) statistically significant ($p < 0.05$). Both TKP showed non-newtonian flow behavior and pseudoplastic fluid type. In terms of emulsifying properties, it showed that the emulsifying activity (EA) and emulsion stability (ES) of both TKP showed no statistically significant difference ($p > 0.05$). Water absorption index (WAI) and water solubility index (WSI) of sweet TKP had significantly less WAI than sour TKP, while WSI greater statistically significant ($p < 0.05$).

Keywords : Tamarind kernel powder, Pasting characteristic, Flow behavior, Sweet tamarind, Sour tamarind

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

* Corresponding author, e-mail: woatthichai.na@kmitl.com และ 60608029@kmitl.com

บทนำ

มะขาม (Tamarind) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Tamarindus indica* L. เป็นไม้ยืนต้นตระกูลถั่วที่มีขนาดใหญ่ ปัจจุบันมีปลูกกันมากโดยเฉพาะในเอเชีย เช่น อินเดีย บังคลาเทศ ศรีลังกา ไทย และอินโดนีเซีย (Kumar and Bhattacharya, 2008) ฝักมะขามเป็นแบบผลเดี่ยวแต่มีหลายเมล็ด เมล็ดมะขามเมื่อฝักแก่จะมีสีน้ำตาลเข้มเป็นมันเงา ลักษณะรูปร่างแบนเป็นรูปสี่เหลี่ยมด้านไม่เท่า ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร มีเมล็ด 1–10 เมล็ดต่อฝักซึ่งจะขึ้นอยู่กับความยาวของฝักแต่ละสายพันธุ์ (ชูศักดิ์, 2550) เมล็ดมะขามเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเนื้อมะขาม (Marathe *et al.*, 2002)

เมล็ดมะขามประกอบด้วยเปลือก (seed coat) ซึ่งมีสีน้ำตาลแดง 20 – 30 % และเนื้อในเมล็ดที่มีสีขาวนวล 70 – 80 % (Kaur *et al.*, 2011) เนื้อในเมล็ดมะขามถูกใช้ในการผลิตแป้งเมล็ดมะขาม (Tamarind kernel polysaccharide : TKP, Tamarind seed polysaccharide : TSP, Tamarind kernel flour : TKF, Tamarind kernel powder : TKP) และเจลาตัส (Jello) หรือ กัมจากเมล็ดมะขาม (Tamarind seed gum : TSG, Tamarind seed xyloglucan : TSX) (Marathe *et al.*, 2002)

แป้งเมล็ดมะขามมีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต 65.1–72.2 %, โปรตีน 17.1–20.1 %, ไขมัน 6.0–8.5 %, เส้นใยร้อยละ 0.7–4.3 % และเถ้า 2.3–3.2 % โดยประมาณ (Kumar and Bhattacharya, 2008) โครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายหลัก β -1,4 เชื่อมกับ D-glucan มีสายกิ่งเป็นน้ำตาลไซโลส โดยที่ตำแหน่ง O-6 ของ glucopyranosyl residue ถูกแทนที่ด้วย α -D-xylopyranose และมีกิ่งของน้ำตาลกลาลักโตสจับกับกิ่งของน้ำตาลไซโลส (York *et al.*, 1990 ; Nisbet *et al.*, 2006) ปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารในญี่ปุ่นอนุญาตให้ใช้แป้งเมล็ดมะขามและเจลาตัส สำหรับใช้เป็น สารให้ความข้นหนืด (thickening), สารให้ความคงตัว (stabilizing) และสารที่ทำให้เกิดเจล (gelling agents) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้านการไหลและความคงตัวของผลิตภัณฑ์ (Marathe *et al.*, 2002)

จากการสืบค้นไม่พบการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความหนืดและพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากแป้งเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยว แต่พบว่า Chaisakdanugull และ Sriroth (2005) ได้ทำการศึกษาผลของการกำจัดเปลือกต่อคุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากวิธี 1. เมล็ดมะขามที่ผ่านการลอกเปลือกโดยไม่ใช้ความร้อน 2. ลอกเปลือกเมล็ดมะขามโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °ซ นาน 15 นาที และ 3. ลอกเปลือกเมล็ดมะขามโดยการคั่วที่อุณหภูมิ 200 °ซ นาน 2 นาที นำมาศึกษาพฤติกรรมการไหลและการเปลี่ยนแปลงความหนืดพบว่า แป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3% ของแต่ละวิธี แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ non-newtonian ชนิด pseudoplastic โดยแป้งเมล็ดมะขามจากวิธี 1. มีค่า flow behavior index (n) น้อยกว่า ขณะที่ค่า k ค่ามากกว่า แป้งเมล็ดมะขามจากวิธีที่ 2 และ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p > 0.05$ และ แป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3% จากวิธีที่ 1. ให้ค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายมากกว่า วิธีที่ 2. และ 3. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p > 0.05$ หนึ่งฤทัย (2552) ทำการศึกษาอิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณสมบัติของแป้งเมล็ดมะขาม โดยต้มเมล็ดมะขามในน้ำที่อุณหภูมิ 80 °ซ นาน 60 นาที นำไปอบแห้งด้วยตู้อบไมโครเวฟด้วยกำลังไฟฟ้า 900 วัตต์ นาน 8 นาที เอาเปลือกหุ้มเมล็ดออก บดและร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 6 % พบว่า แป้งเมล็ดมะขามมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดที่ 30.6 °ซ, ค่าความหนืดสูงสุดเท่ากับ $2,272.3 \pm 232.4$ BU, breakdown เท่ากับ 404 ± 77.6 BU และ setback เท่ากับ $1,488.3 \pm 36.7$ BU และจากการศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3 % พบว่าแป้งเมล็ดมะขามมีค่า flow behavior index (n) เท่ากับ 0.88 ซึ่งแสดงพฤติกรรมการไหลแบบ non-newtonian ชนิด

pseudoplastic โดย มีค่าความหนืดปรากฏ เท่ากับ 2698.33 ± 4.04 cps Eiamsaard และ Narkrugs (2012) ทำการศึกษาคุณสมบัติด้านการไหลของแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากวิธีการให้ความร้อนที่ต่างกัน โดยนำเมล็ดมะขามที่ผ่านการกำจัดเปลือก > 80 % มาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 45 นาที จากนั้นบดและทำให้แห้ง โดยวิธีที่ 1. ให้ความร้อนในอุโมงค์ไมโครเวฟ (400 วัตต์ เป็นเวลา 15 นาที, TKF1) และ วิธีที่ 2. ให้ความร้อนในตูบความร้อนแบบถาด (70 °ซ เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมง, TKF2) พบว่า การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 6 % ให้ค่า setback ของ TKF1 เท่ากับ 1481.50 ± 9.19 BU และ TKF2 เท่ากับ 1422.00 ± 14.14 BU ค่าความหนืดสูงสุด และ breakdown ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ $p > 0.05$ และจากการศึกษาพฤติกรรมการไหลแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3% พบว่า ค่า flow behavior index (n) ของ TKF1 เท่ากับ 0.95 ± 0.01 และ TKF2 เท่ากับ 0.93 ± 0.01 แป้งเมล็ดมะขามทั้งสองวิธี แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ non-newtonian ชนิด pseudoplastic โดย TKF1 มีค่าความหนืดปรากฏ เท่ากับ 2698.33 ± 4.04 cps และ TKF2 เท่ากับ 2634.00 ± 3.00 cps

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพบางประการ การเปลี่ยนแปลงความหนืดและพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขามที่ได้จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)
2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

1. วัตถุดิบ
แป้งเมล็ดมะขาม จากเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทปันเพชรจำกัด จังหวัดเพชรบูรณ์, ประเทศไทย
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขาม (Pasting characteristic)
นำตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแป้ง 3 % (dry basis) มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทางด้านความหนืดของน้ำแป้ง ด้วยเครื่องบราเบนเดอร์วิคโคโสมิโกลาฟ (Brabender viscograph E, ประเทศเยอรมัน) ตามวิธีการของ Chaisakdanukull and Sriroth, (2005) โดยนำตัวอย่างแป้งเมล็ดมะขามมาละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 500 มิลลิลิตร น้ำแป้งจะถูกให้ความร้อนที่ 25 °ซ โดยใช้อัตราเร็ว 1.5 °ซ/นาที จนถึง 95 °ซ และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 50 °ซ โดยใช้อัตราเร็ว 1.5 °ซ/นาที โดยมีความเร็วรอบของการหมุน paddle เท่ากับ 160 รอบ/นาที บันทึกค่า Pasting temperature, Peak viscosity, Breakdown และ Setback
3. ศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขาม (Flow Behavior) ดัดแปลงจากวิธีการของ Chaisakdanukull and Sriroth, (2005)
เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแป้ง 3 % (dry basis) โดยนำแป้งเมล็ดมะขามมาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิมากกว่า 85 °ซ คงไว้ที่อุณหภูมิช่วงนี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง(คนตัวอย่างเรื่อยๆด้วยแท่งแก้ว) จากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างจะถูกวัดที่อุณหภูมิ 25 ± 1 °ซ ด้วยเครื่องบรูคฟิลด์ วิสโคมิเตอร์ (Brookfield viscometer DV – III, ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยใช้หัววัดเบอร์ 34 นำตัวอย่างใส่ลงใน sample cup และรอให้ตัวอย่างปรับสมดุล 20 นาที จากนั้นให้อัตราเฉือน (shear rate) ตั้งแต่ 0.5 – 8.0 rpm ภายในเวลา 3 นาที และคงไว้ที่อัตราเฉือนนี้เป็นเวลา 5 นาที แล้วลดอัตราเฉือนลงจาก

8.0 – 0.5 rpm ภายในเวลา 3 นาที บันทึกค่า ความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) ความเค้นเฉือน (Shear stress, N/m²) และอัตราเฉือน (Shear rate, 1/sec)

จาก power law model ตามสมการ $\eta = ky^{n-1}$ คำนวณหาค่า n = flow behavior index และ k = consistency index โดยวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นจาก $\log \eta = \log k + (n-1) \log y$ โดย η = apparent viscosity และ y = shear stress

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

Emulsifying activity เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแป้งเมล็ดมะขาม 3 % (dry basis) โดยนำแป้งเมล็ดมะขามมาละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำตัวอย่างมาให้ความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิมากกว่า 85 °ซ 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

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

Emulsion stability เตรียมตัวอย่างที่มีความเข้มข้นของแป้งเมล็ดมะขาม 3 % (dry basis) โดยนำแป้งเมล็ดมะขามมาละลายในน้ำกลั่น 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

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

5. ศึกษาคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย (Water absorption index; WAI and Water solubility index; WSI) (ดัดแปลงจาก Narkrugsa, 1996)

เตรียมตัวอย่างแป้งเมล็ดมะขาม โดยนำแต่ละตัวอย่างมาชั่งประมาณ 2.5 กรัม (dry basis) (W₀) ผสมกับน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ในหลอดหมุนเหวี่ยงและปิดฝาให้สนิท นำไปแช่ใน water bath ที่มีอุณหภูมิ 30 °ซ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำของผสมมาชั่งน้ำหนัก (W₁) แล้วนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge Hettich Universal 320, ประเทศเยอรมัน) ที่ความเร็วรอบ 8000 rpm เป็นเวลา 10 นาที ชั่งน้ำหนักส่วนที่เป็นของแข็งที่เหลืออยู่ในหลอดหมุนเหวี่ยง (W₂) หลักจากแยกส่วนที่เป็นของเหลวออก นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าความสามารถในการดูดซับน้ำ จากนั้นนำส่วนที่เป็นของเหลว 10 มิลลิลิตร ที่ได้จากการแยกในหลอดหมุนเหวี่ยงใส่ลงใน aluminum can ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปอบที่อุณหภูมิ 130 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ใน aluminum can (W₃) นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าความสามารถในการละลายน้ำ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{Water absorption index} = (W_1 - W_2) / W_0$$

$$\text{Water solubility index (\%)} = (W_3 \div W_0) \times 100$$

หมายเหตุ W_0 = น้ำหนักของแป้งเริ่มต้น

W_1 = น้ำหนักของของผสม

W_2 = น้ำหนักของของแข็งที่เหลืออยู่ในหลอดหมุนเหวี่ยง

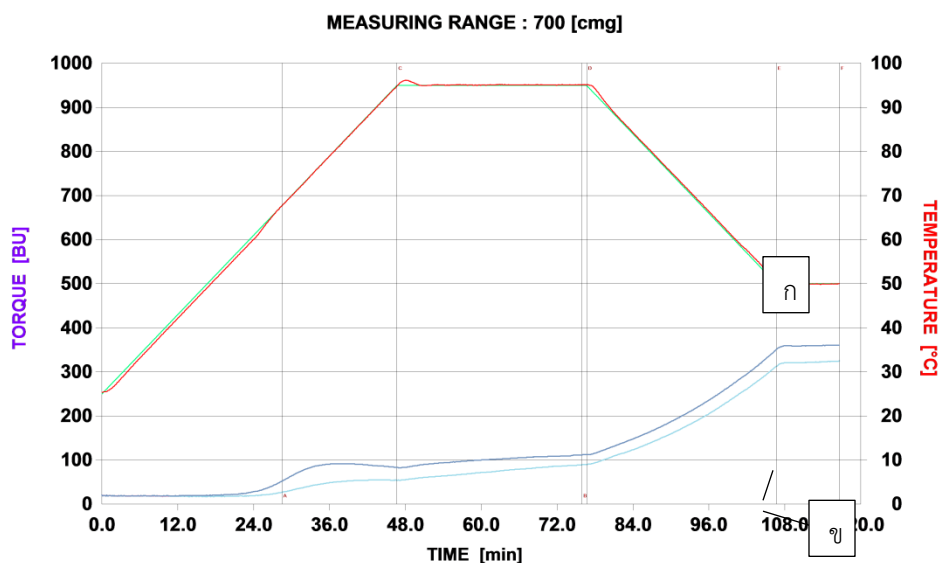
W_3 = น้ำหนักของแข็งที่เหลืออยู่ใน aluminum can

6. วิเคราะห์ผลทางสถิติ

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และใช้การทดสอบที (T-test) เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ย 2 กลุ่ม ที่เป็นอิสระจากกัน ด้วยโปรแกรม SPSS

ผลการวิจัย

1. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขาม (Pasting characteristic)



ภาพที่ 1 อะไมโลแกรมแสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3 % เมื่อให้ความร้อน
ก : แป้งเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และ ข : แป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)

จากภาพอะไมโลแกรมและตารางที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยวที่ความเข้มข้น 3 % พบว่าอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด, ค่าความหนืดสูงสุด และค่า setback ของแป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าเฉลี่ย 60.03 ± 0.31 องศาเซลเซียส, 104.67 ± 1.53 BU และ 239.00 ± 2.00 BU ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ กับแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่มีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด, ค่าความหนืดสูงสุด และค่า setback เฉลี่ย 66.96 ± 0.64 องศาเซลเซียส

, 88.00 ± 1.73 BU และ 218.00 ± 4.58 BU ตามลำดับ ไม่พบค่า break down ของแป้งเมล็ดมะขามทั้งสองสายพันธุ์

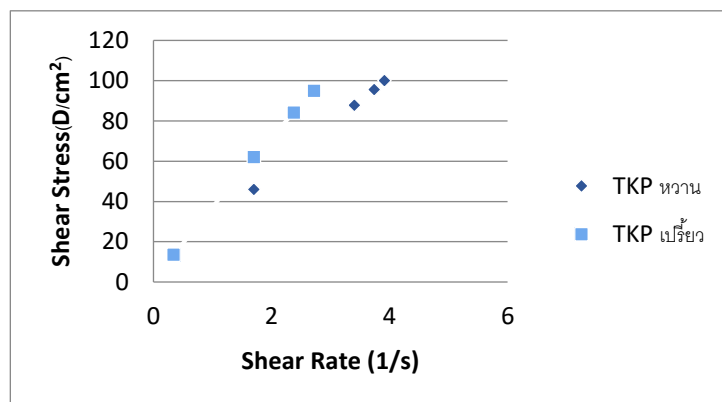
ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3 % (dry basis)

แป้งเมล็ดมะขาม	Pasting Temperature (C°)	ความหนืด (BU)		
		Peak viscosity	Break down	Setback
หวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	60.03 ± 0.31^a	104.67 ± 1.53^a	–	239.00 ± 2.00^a
เปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	66.96 ± 0.64^b	88.00 ± 1.73^b	–	218.00 ± 4.58^b

หมายเหตุ 1. ^{abc}... หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวดิ่งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ศึกษาพฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขาม (Flow Behavior)



ภาพที่ 2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) และความเค้นเฉือน (shear stress) ของแป้งเมล็ดมะขามหวาน (พันธุ์ศรีชมภู) และแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเฉือน (shear rate) และความเค้นเฉือน (shear stress) ของแป้งเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยวแสดงในภาพที่ 2 กราฟที่มีความชันมากแสดงให้เห็นว่าสารละลายมีความหนืดสูง จากภาพจะเห็นว่าแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีความชันของกราฟมากกว่าแสดงว่ามีความหนืดมากกว่าแป้งเมล็ดมะขามหวาน ซึ่งแป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าความหนืดปรากฏ (Apparent viscosity) 2463.67 ± 105.99 mPa.s และแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าความหนืดปรากฏ 3297.00 ± 172.50 mPa.s ซึ่งค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ หนึ่งฤทัย (2552) ซึ่งมีค่าความหนืดปรากฏ เท่ากับ 2698.33 ± 4.04 cps และงานวิจัยของ Eiamsaard และ Narkrugsa (2012)

ตารางที่ 2 พฤติกรรมการไหลของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3 % (dry basis) โดยศึกษาค่า % Torque > 90%

แป้งเมล็ดมะขาม	Apparent viscosity (mPa.s)	ค่า k	ค่า n
หวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	2463.67±105.99 ^a	3.43±0.02 ^a	0.92±0.00 ^a
เปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	3297.00±172.50 ^b	3.54±0.02 ^b	0.94±0.01 ^b

หมายเหตุ 1. abc...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวดิ่งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สมการ power law ได้อธิบายค่า n และ ค่า k ของของเหลวไว้ว่า ค่า n ขึ้นอยู่กับลักษณะของของเหลว ถ้าหาก n=1 แสดงว่าของเหลวมีพฤติกรรมการไหลแบบ Newtonian แต่ถ้า n≠1 แสดงว่าของเหลวมีพฤติกรรมการไหลแบบ Non-newtonian ซึ่งหาก n<1 จะเป็นชนิด pseudoplastic และหาก n>1 จะเป็นชนิด dilatant

จากตารางที่ 2 พบว่าค่าตัวแปรจากสมการ power law ได้แก่ ค่าความหนืดปรากฏ (apparent viscosity), consistency coefficient (k) และ flow behavior index (n) ของแป้งเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ p<0.05 และจะเห็นได้ว่าค่า n ของแป้งเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยวมีค่า 0.92±0.00 และ 0.94±0.01 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นพฤติกรรมการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic สอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaisakdanugull และ Sriroth (2005), หนึ่งฤทัย (2552) และ Eiamsaard และ Narkruga (2012)

3. ศึกษาคุณสมบัติทางด้านอิมันชัน (Emulsifying properties)

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางด้านอิมันชันของแป้งเมล็ดมะขาม

แป้งเมล็ดมะขาม	Emulsifying activity	Emulsion stability
หวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	85.06±0.76 ^a	88.44±0.82 ^a
เปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	84.50±0.80 ^a	87.41±0.74 ^a

หมายเหตุ 1. abc...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวดิ่งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05)

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 3 แสดงค่า Emulsifying activity (EA) และ Emulsion stability (ES) ของแป้งเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยว พบว่า ค่า EA และ ES ของแป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าเท่ากับ 85.06±0.76 และ 88.44±0.82 ตามลำดับ ส่วนแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวมีค่าเท่ากับ 84.50±0.80 และ 87.41±0.74 ตามลำดับ ซึ่งแป้งเมล็ดมะขามทั้งสองสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ p<0.05

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

ตารางที่ 4 คุณสมบัติในการดูดซับน้ำ (WAI) และคุณสมบัติในการละลายของแป้งเมล็ดมะขาม (WSI)

แป้งเมล็ดมะขาม	WAI	WSI
หวาน (พันธุ์ศรีชมภู)	8.54 ± 0.08^a	6.55 ± 0.05^a
เปรี้ยว (พันธุ์กระดาน)	8.91 ± 0.03^b	5.60 ± 0.22^b

หมายเหตุ 1. ^{abc}...หมายถึง ตัวอักษรที่กำกับในแนวดิ่งเดียวกัน เมื่อมีตัวอักษรที่เหมือนกันแสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

2. ค่าในตารางแสดงค่าเฉลี่ยจากการวัด 3 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากตารางที่ 4 แสดงค่าการดูดซับน้ำ (WAI) และการละลายน้ำ (WSI) ของแป้งเมล็ดมะขามหวานและเปรี้ยว พบว่า แป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าการดูดซับน้ำและการละลายน้ำ 8.54 ± 0.08 และ 6.55 ± 0.05 ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ กับแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวที่มีค่าการดูดซับน้ำและการละลายน้ำ 8.91 ± 0.03 และ 5.60 ± 0.22 ตามลำดับ

ค่าที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของหนึ่งฤทัย (2552) และมีค่าเคียงใกล้เคียงกับงานวิจัยของ วรจกณาและคณะ (2559) ซึ่งได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกัมเมล็ดมะขามด้วยไมโครเวฟ โดยใช้กำลังแมกนีตรอน 2 ระดับ คือ 480 และ 640 วัตต์ และใช้ระยะเวลาในการสกัด 2 ระดับ คือ 4 และ 6 นาที พบว่ากัมที่ได้จากกำลังแมกนีตรอน 640 วัตต์ ที่ใช้ระยะเวลา 4 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง โดยมีค่าการดูดซับน้ำ (WAI) เท่ากับ 8.89 ± 0.45 และการละลายน้ำ (WSI) เท่ากับ 9.35 ± 0.10

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงทางด้านความหนืดของแป้งเมล็ดมะขามที่ความเข้มข้น 3 % พบว่า แป้งเมล็ดมะขามหวานมีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด, ค่าความหนืดสูงสุด และค่า setback แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < 0.05$ กับแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยว จากการศึกษาพฤติกรรมด้านการไหล พบว่า แป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าความหนืดน้อยกว่าแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยแป้งเมล็ดมะขามทั้งสองสายพันธุ์ที่ความเข้มข้น 3 % แสดงพฤติกรรมการไหลแบบ Non-newtonian ชนิด pseudoplastic ด้านคุณสมบัติทางด้านอิมันชัน พบว่า แป้งเมล็ดมะขามทั้งสองสายพันธุ์ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ ด้านคุณสมบัติในการดูดซับน้ำและคุณสมบัติในการละลาย พบว่า แป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าการดูดซับน้ำน้อยกว่าแป้งเมล็ดมะขามเปรี้ยวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่แป้งเมล็ดมะขามหวานมีค่าการการละลายมากกว่า

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทปันเพชรจำกัดที่ได้ให้การสนับสนุนแป้งเมล็ดมะขามในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

ชูศักดิ์ สัจจงพงษ์. (2550). มะขาม พืชสร้างอนาคต. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มติชน.

- วรางคณา สมพงษ์, ภาสกร อีระศิลป์วิสุกุล และคณิน ศรีสาสิกุลรัตน์. (2559). การสกัดกัมเมลิตมะขาม (*Tamarindus indica* L.) ด้วยไมโครเวฟและการใช้ในผลิตภัณฑ์แยมสตอร์วเบอร์รี่. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. ปีที่ 24 ฉบับที่ 2 เมษายน – มิถุนายน 2559. หน้า 288–298
- หนึ่งฤทัย รงค์ทอง. (2552). อิทธิพลของการทำแห้งด้วยไมโครเวฟต่อคุณภาพของแป้งเมล็ดมะขามและไซโลกลูแคน. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.
- Chaisakdanakul, C., & Siroth, K. (2005). Characterization of oligosaccharides from tamarind seed kernel powder. **Proceeding of the 2005 IFT Annual Meeting**, New Orleans, USA.
- Eiamsaard, D. and Narkruga, W. (2012). Rheological Properties of Tamarind Kernel Flour Drying with Two Different Methods. **Proceeding of International Conference on Food and Applied Bioscience 2012**, Chiang Mai, Thailand.
- 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.
- Narkruga, 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
- 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 ^1H NMR spectroscopy and fast bombardment mass spectrometry**. Carbohydrate Research, 200, 9–31.