

ผลของการปอกเปลือกและเวลาในการนึ่งต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วยดิบ และด้านเนื้อสัมผัสของเจลแป้ง

สุภามาศ หาญเพิ่มชัย¹ ปิติพร ฤทธิเรืองเดช^{2*} มินตรา นักรธรรม¹ และ นันทวัน เทอดไทย²

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

* Corresponding Author : pitiporn@gmail.com

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร

ข้อมูลบทความ

บทคัดย่อ

ประวัติบทความ :

รับเพื่อพิจารณา : 11 กันยายน 2562

แก้ไข : 30 กรกฎาคม 2563

ตอบรับ : 19 สิงหาคม 2563

คำสำคัญ :

แป้งกล้วย / เวลาในการนึ่ง / การปอกเปลือก

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการปอกเปลือกและเวลาในการนึ่งกล้วยดิบที่มีต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วยดิบ และสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลแป้ง กล้วยดิบที่มีระยะการสุกที่ 1-2 และความชื้น 75-76% มาผลิตเป็นแป้งกล้วยดิบจำนวน 5 สิ่งทดลองที่มีสภาวะการผลิตแตกต่างกัน โดยใน 3 กลุ่มแรก นำกล้วยดิบมาล้างแล้วปอกเปลือก หั่นเป็นชิ้น (หนา 2 มิลลิเมตร) นำไปแช่ในสารละลายกรดซิตริกความเข้มข้น 0.5% (1:2 w/v) เป็นเวลา 1 นาที แล้วนึ่งเป็นเวลา 0 นาที (ตัวอย่างควบคุม) 5 นาที (ตัวอย่าง P5) และ 10 นาที (ตัวอย่าง P10) นำแต่ละตัวอย่างไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดแล้วร่อนเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง สำหรับใน 2 กลุ่มที่เหลือ นำกล้วยที่ไม่ปอกเปลือกมานึ่งเป็นเวลา 5 นาที (ตัวอย่าง U5) และ 10 นาที (ตัวอย่าง U10) จากนั้นผลิตเช่นเดียวกันกับตัวอย่างควบคุม นำแป้งกล้วยที่ได้ทั้ง 5 สิ่งทดลองมาวิเคราะห์พฤติกรรมความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) และวิเคราะห์เนื้อสัมผัสเจลแป้งกล้วยที่มีความเข้มข้น 30% (w/v) โดยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer ผลจากเครื่อง RVA แสดงให้เห็นว่า ค่า Peak viscosity, Trough viscosity, Final viscosity, Breakdown viscosity, Setback viscosity และ Pasting temperature ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเวลาการนึ่งเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การปอกเปลือกกล้วยก่อนการนึ่งยังส่งผลให้ความหนืดลดลง และจากผลของ TPA พบว่า เจลแป้งพรีเจลาคีโนซออ่อนตัวลงและค่าการเกาะติดกันน้อยกว่าเจลแป้งกล้วยตัวอย่างควบคุม ผลจากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าแป้งกล้วยพรีเจลาคีโนซอที่ผ่านการนึ่งมีความสามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็วและมีความหนืดลดลงที่อุณหภูมิห้อง

Effects of Peeling and Steaming Time on Pasting and Gel Textural Properties of Green Banana Flour

Supamas Hanpermchai¹, Pitiporn Ritthiruangdej^{2*}, Mintra Nugthum¹ and Nantawan Therdthai²

Kasetsart University, Ladyaow, Chatuchak, Bangkok 10900

* Corresponding Author : pitiporn@gmail.com

¹ Graduate Student, Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry.

² Associate Professor, Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry.

Article Info

Article History:

Received: September 11, 2019

Revised: July 30, 2020

Accepted: August 19, 2020

Keywords:

Banana Flour /

Steaming Time / Peeling

Abstract

This study aimed to evaluate the effects of peeling and steaming time of unripe banana on the pasting and gel textural properties of its flour. Green bananas (75-76% moisture, ripening stage 1 or 2) were divided into 5 groups and used for preparing 5 banana flour samples. In the first three groups, bananas were washed, peeled and sliced (2-mm thick). Slices were immersed in 0.5% citric acid solution (1:2 w/v) for 1 min and subsequently steamed for 0 min (control sample), 5 min (P5 sample) and 10 min (P10 sample). Each sample was drained to eliminate excess of water and dried at 70°C for 24 hours. Dried bananas were ground, sifted and then stored at room temperature. For the other 2 groups, unpeeled green bananas were steamed for 5 min (U5 sample) and 10 min (U10 sample) and subsequently processed in the same way as the control sample. Pasting properties of the obtained flour samples were tested using a Rapid Visco Analyzer (RVA), whereas the flour gel samples containing 30% total solids flour (w/v) were subject to Texture Profile Analysis (TPA) using a Texture Analyzer. Based on the RVA results, the peak, trough, final, breakdown, setback viscosities and pasting temperatures significantly ($p \leq 0.05$) decreased with an increase in the steaming time. Moreover, peeling the banana prior to steaming caused a decrease in all the pasting property values. Based on the TPA results, the pregelatinized flour gels became weaker and less cohesive than the native flour gel. Pregelatinized banana flour through steaming was able to rapidly absorb water and had decreased viscosity at ambient temperature.

1. บทนำ

กล้วย (*Musa spp.*) เป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคกันทั่วโลก และมีการปลูกกันอย่างแพร่หลายในเขตร้อนและกึ่งร้อน ถือเป็นพืชผลเศรษฐกิจที่สำคัญอันดับ 4 ของโลก [1] โดยการส่งออกกล้วยของไทยอยู่ในอันดับ 10 ของเอเชีย และอันดับที่ 41 ของโลก และส่วนมากนิยมนำกล้วยหอมทองและกล้วยไข่เพื่อส่งออกให้แก่ประเทศจีน สหรัฐอเมริกา และญี่ปุ่น [2] กล้วยเป็นแหล่งสารอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการต่อร่างกาย อาทิเช่น ในกล้วยหอมปริมาณ 100 กรัม มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต 31.4 กรัม วิตามินซี 7 มิลลิกรัม และยังมีวิตามินบี 1 วิตามินบี 2 และแคโรทีน รวมถึงแร่ธาตุต่างๆ เช่น แมกนีเซียม ไอโอดีน โพแทสเซียม และเหล็ก อีกทั้งยังมีปริมาณไขมัน และคอเลสเตอรอลต่ำ [3] โดยเฉพาะกล้วยดิบมีปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยของเอนไซม์ (Resistant Starch, RS) และปริมาณเส้นใยอาหาร (Dietary fiber) สูง [4] จากการรวบรวมงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับแป้งกล้วยดิบ พบว่า รูปร่างสัณฐานของแป้งกล้วยเป็นรูปไข่ ส่วนใหญ่มีขนาดอยู่ในช่วงประมาณ 20-60 ไมโครเมตร [5-6] แป้งกล้วยมีปริมาณแป้งเป็นองค์ประกอบหลักสูงถึงร้อยละ 73.4 มีปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ประเภทที่ 2 (RS2) ร้อยละ 17.5 และมีปริมาณเส้นใยอาหารร้อยละ 14.5 อีกทั้งยังมีค่าดัชนีน้ำตาล (Glycemic Index, GI) ต่ำ [7] ซึ่งปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์มีหน้าที่สำคัญในการทำให้ระบบขับถ่ายทำงานดีขึ้น ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคท้องผูก รวมทั้งยังช่วยลดปริมาณระดับคอเลสเตอรอลในเลือด โรคหัวใจ และเบาหวาน [8]

ในการผลิตแป้งกล้วยนิยมนำกล้วยดิบระยะที่ 1 (เปลือกสีเขียว ผลมีเหลี่ยมชัดเจน ไม่มีการสุก) และระยะที่ 2 (เปลือกสีเขียวออกเหลืองเล็กน้อย ผลมีเหลี่ยมเห็นชัด) เนื่องจากเป็นระยะที่มีปริมาณแป้ง รวมถึงมีแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สูงและมีสมบัติเชิงรีโอโลยี เช่น ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) และค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) สูง [9] มีงานวิจัยที่ศึกษาการใช้แป้งกล้วยแทนที่แป้งสาลีบางส่วน (ร้อยละ 30-50) ในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น พาสต้า [4] คุกกี้ [10] ขนมขบเคี้ยว [11] และเค้ก [12] โดยผลงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เมื่อเพิ่มปริมาณแป้งกล้วยในผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามยังพบข้อจำกัดในการใช้แป้งกล้วยที่ส่งผลต่อคุณภาพของ

ผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากแป้งกล้วยมีความสามารถในการละลายและกำลังการพองตัวต่ำ [13]

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแป้งกล้วยดิบโดยศึกษาสภาวะการผลิต 2 ปัจจัย ได้แก่ การปอกเปลือก (ปอกเปลือก และไม่ปอกเปลือก) และการนึ่ง (5 และ 10 นาที) เพื่อให้ได้แป้งกล้วยดิบที่มีความสามารถด้านการละลายน้ำและการพองตัวที่ดีขึ้น อีกทั้งยังมีการศึกษาความสามารถในการละลาย กำลังการพองตัว สมบัติด้านความหนืด ลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคของแป้งกล้วย และสมบัติด้านสีและด้านเนื้อสัมผัสของเจลแป้งกล้วย เพื่อเป็นแนวทางในการใช้เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์อาหารต่อไป

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ในงานวิจัยนี้ใช้กล้วยหอมดิบมีระยะการสุกที่ 1 (เปลือกสีเขียว ผลมีเหลี่ยมชัดเจน ไม่มีการสุก) และระยะที่ 2 (เปลือกสีเขียวออกเหลืองเล็กน้อย ผลมีเหลี่ยมเห็นชัด) ซื้อจากตลาดสี่มุมเมือง กรุงเทพมหานคร ในช่วง เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2561 วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD)

กระบวนการเตรียมแป้งกล้วย Control (ปอกเปลือกและไม่นึ่ง) เริ่มจากนำกล้วยดิบมาปอกเปลือก หั่นเป็นแว่นหนา 2 มิลลิเมตร และนำมาแช่ในสารละลายกรดซิตริกเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 1 นาที (ใช้อัตราส่วนกล้วย:สารละลาย เท่ากับ 1:2) หลังจากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำสะอาด สะเด็ดน้ำแล้วนำไปอบแห้งโดยตู้อบลมร้อน (BWS, Frecon, Germany) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาบดละเอียดด้วยเครื่องบดไฟฟ้า (ZT600, Zhen Tian, China) และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช เก็บในถุงสุญญากาศ

ขั้นตอนการเตรียมแป้งกล้วยที่ผ่านการปอกเปลือก (Peeled) และนึ่งเป็นเวลา 5 นาที (แป้งกล้วย P5) และ 10 นาที (แป้งกล้วย P10) ใช้วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับแป้งกล้วย Control แต่เพิ่มขั้นตอนการนึ่งหลังจากแช่กล้วยหั่นแว่นในสารละลายกรดซิตริกโดยใช้เวลาในการนึ่งตามที่กำหนด

ขั้นตอนการเตรียมแป้งกล้วยที่ไม่ปอกเปลือก (Unpeeled) และนำมานึ่งเป็นเวลา 5 นาที (แป้งกล้วย U5) และ 10 นาที (แป้งกล้วย U10) ใช้วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับ

แป้งกล้วย Control แต่เพิ่มขั้นตอนการนำกล้วยดิบที่ไม่ปอกเปลือกไปนึ่งตามเวลาที่กำหนดก่อน แล้วนำมาปอกเปลือก

2.2 การวิเคราะห์กำลังการพองตัวและ

ความสามารถในการละลาย

วิเคราะห์กำลังการพองตัว (Swelling capacity) และความสามารถในการละลาย (Solubility) ของแป้งกล้วยโดยดัดแปลงจากวิธีของ Schoch [14] เตรียมแป้งกล้วย (3% w/v) ลงในหลอดหมุนเหวี่ยง และให้ความร้อนโดยนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (WNB14, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยนำออกมาแช่ทุก 5 นาที แล้วนำหลอดไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง (Rotina 380R, Hettich, Germany) ที่ความเร็วรอบ 2,200 rpm เป็นเวลา 15 นาที แยกสารละลายส่วนใสใส่ถ้วยออลูมิเนียม แล้วชั่งน้ำหนักหลอดหมุนเหวี่ยง จากนั้นนำส่วนสารละลายใสไปอบด้วยตู้อบลมร้อน (Binder, Redline, Germany) ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมงจนได้น้ำหนักคงที่ และคำนวณค่ากำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้งกล้วย

2.3 การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืด

วิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วย ตามวิธีการของ Newport Scientific [15] โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA, Model 4D, Newport Scientific, Australia) ทำโดยชั่งแป้งกล้วยที่มีความชื้นเริ่มต้น 14% จำนวน 3 กรัม ให้มีความเข้มข้นของแป้งร้อยละ 11 ใส่ในถ้วยออลูมิเนียม ใช้โปรแกรมมาตรฐานเบอร์ 1 น้ำแป้งจะถูกให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที และให้ความร้อนเพิ่มขึ้นถึง 95 องศาเซลเซียส ในอัตราเร็ว 12 นาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในอัตราเร็ว 12 นาที นาน 2 นาที ความเร็วรอบของการหมุนใบพัด (Paddle) เท่ากับ 160 รอบต่อนาที ทำการบันทึกค่า ดังนี้ อุณหภูมิที่เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (Pasting temperature, องศาเซลเซียส), ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity, RVU), ความหนืดต่ำสุด (Trough, RVU),

ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity, RVU), ผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown = Peak viscosity – Trough, RVU) และผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (Setback from trough = Final viscosity – Trough, RVU)

2.4 การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคแป้งกล้วย

วิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคแป้งกล้วย 3 สิ่งทดลอง ได้แก่ แป้งกล้วย Control, P10 และ U10 ตามวิธีการของ Sahai และ Jackson [16] เพื่อสังเกตลักษณะรูปร่าง และขนาดของเม็ดแป้งกล้วยแบบ 3 มิติ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) (JEOL JSM-6610LV, OXFORD Instrument Co., Tokyo, Japan) ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า ควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรม Software SEM Control User Interface Version 3.12 เตรียมตัวอย่างแป้งกล้วยโดยใช้เครื่องฉาบผิว Sputter Coater (Balzers, SCD 040, TMAX BATTERY EQUIPMENT Co., Germany) ควบคุมความดันที่ 0.05 mbar และแรงดันไฟฟ้า 15 kV

2.5 การวิเคราะห์สมบัติด้านสีของเจลแป้งกล้วย

วิเคราะห์สมบัติด้านสีของเจลแป้งกล้วยโดยระบบ CIE $L^*a^*b^*$ ดัดแปลงจากวิธีของ Savlak และคณะ [17] และ Khoozani และคณะ [18] เตรียมเจลแป้งกล้วยโดยนำน้ำแป้งกล้วย (30% w/v) ไปนึ่งเป็นเวลา 30 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 องศาเซลเซียส) จากนั้นตัดเจลแป้งกล้วยที่ได้ให้มีขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ $20 \times 20 \times 15$ ลูกบาศก์ มิลลิเมตร แล้ววัดค่าสีโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer (Minolta, CM-3500d, Japan) แสงที่กำเนิดแสง D_{65} มุมในการวัด 10° ค่าที่วัด ได้แก่ L^* (แสดงค่าความสว่างมีค่า 0-100), a^* (เครื่องหมาย + หมายถึงสีแดง และเครื่องหมาย - หมายถึงสีเขียว) และ b^* (เครื่องหมาย + หมายถึงสีเหลือง และเครื่องหมาย - หมายถึงสีน้ำเงิน) และคำนวณค่าดัชนีสีน้ำตาล (Browning Index) จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Browning Index} = \frac{100 (X - 0.31)}{0.17}, \text{ ซึ่งค่า } X \text{ คำนวณได้จากสูตร } X = \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*}$$

2.6 การวิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของ เจลแบ่งกล้วย

วิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลแบ่งกล้วยด้วยวิธี Texture Profile Analysis (TPA) ดัดแปลงจากวิธีของ Nispa และคณะ [19] โดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (TA.XT plus, Stable Micro System, Surrey, UK) เตรียมตัวอย่างเจลแบ่งกล้วยโดยใช้สภาวะเช่นเดียวกันกับข้อ 2.5 เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ก่อนทำการวัดค่าเนื้อสัมผัส โดยใช้หัววัดชนิด P/50 และสภาวะการวัด ได้แก่ ระยะทางในการกดร้อยละ 50 ของความสูงตัวอย่าง ใช้ความเร็วก่อนวัด ความเร็วขณะวัด และความเร็วหลังวัด เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการวัดค่าสิ่งทดลองละ 10 ซ้ำ บันทึกค่าความแข็ง (Hardness, N), ค่าการยึดติด (Adhesiveness, N.s), ค่าความยืดหยุ่น (Springiness), ค่าการเกาะติดกันภายในโครงสร้างของเนื้ออาหาร (Cohesiveness), ค่าความเหนียว (Gumminess) และค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (Chewiness)

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำค่าสมบัติของแบ่งกล้วย ได้แก่ ค่าความสามารถในการละลาย ค่ากำลังการพองตัว สมบัติด้านความหนืดของแบ่งกล้วย และ สมบัติด้านสีและด้านเนื้อสัมผัสของเจลแบ่งกล้วยมาวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance, ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยใช้โปรแกรม SPSS for Windows (IBM Co., New York, United States)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการวิเคราะห์กำลังการพองตัวและ

ความสามารถในการละลาย

ค่ากำลังการพองตัวและค่าความสามารถในการละลายของแบ่งโดยทั่วไปแสดงถึงการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างส่วนอสัณฐาน

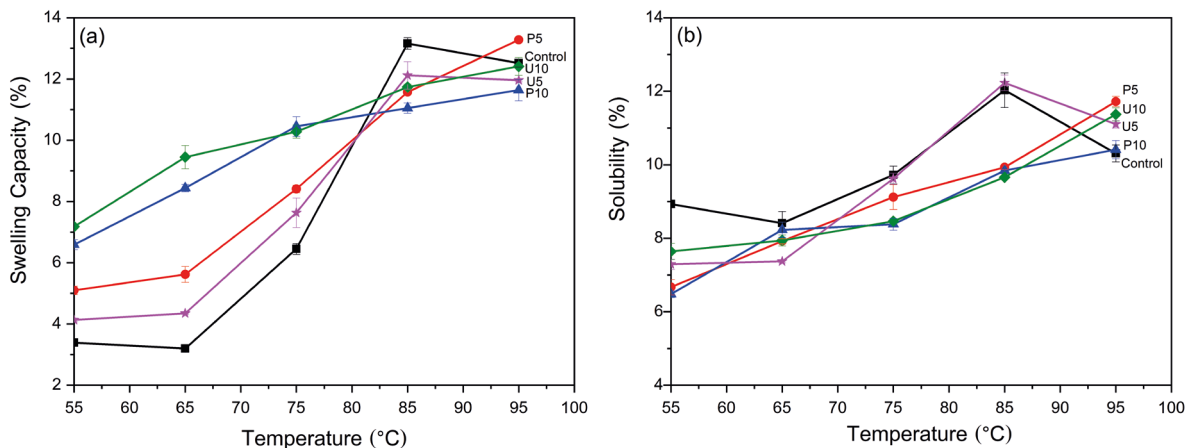
(Amorphous) และส่วนที่เป็นผลึก (Crystalline) บนสายโซ่ของเม็ดแป้ง เมื่อมีการให้ความร้อนในสภาวะที่มีปริมาณน้ำมากเกินพอจะทำให้โครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกเกิดการคลายตัวและพันธะไฮโดรเจนในกลุ่มของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินที่ยึดเหนี่ยวกันอ่อนแอลง ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำแพร่เข้าไปในเม็ดแป้ง เกิดการพองตัว และการละลาย ทำให้สมบัติต่างๆ ของแป้งชนิดนั้นๆ เปลี่ยนไป เช่น การเปลี่ยนแปลงความหนืด หรือกระบวนการเจลาติไนเซชันซึ่งเป็นผลมาจากโครงร่างผลึก และแรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลของแป้งมีการเปลี่ยนแปลง [6]

จากผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 1 พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่ากำลังการพองตัว (a) และค่าความสามารถในการละลาย (b) ของแบ่งกล้วยทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะแบ่งกล้วยที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่งทั้งปอกเปลือก (P) และไม่ปอกเปลือก (U) และแปรผันตามเวลาในการนึ่ง เนื่องจากแบ่งกล้วยที่ผ่านการนึ่งเกิดการเจลาติไนเซชันบางส่วนจากการให้ความร้อนในการนึ่งมาก่อน ดังนั้นเมื่อให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง ความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้งส่วนที่เป็นอสัณฐานและส่วนที่เป็นผลึกได้ง่ายกว่าแบ่งกล้วย Control ส่งผลให้มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระสามารถจับกับน้ำได้มากขึ้น [13] จึงเกิดการพองตัวได้ดีกว่าแบ่งกล้วย Control และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส พบค่ากำลังการพองตัวของแบ่งกล้วยที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่งทั้งปอกเปลือก (P) และไม่ปอกเปลือก (U) มีค่าน้อยกว่าแบ่งกล้วย Control เนื่องมาจากเกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดแป้งส่วนที่เป็นอสัณฐานมาอยู่ในรูปที่เป็นเกลียว (Helical form) ทำให้มีการเพิ่มปฏิสัมพันธ์ระหว่างสายโซ่แอมิโลสส่งผลทำให้ส่วนที่เป็นผลึกแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นค่ากำลังการพองตัวของแป้งจึงลดลง [20]

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการละลายน้ำจากรูปที่ 1(b) พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการละลายน้ำของแบ่งกล้วยทุกสิ่งทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยแบ่งกล้วยที่ผ่านการนึ่งทั้งปอกเปลือก (P) และไม่ปอกเปลือก (U) มีค่าความสามารถในการละลายน้ำน้อยกว่าแบ่งกล้วย Control เนื่องจากความ

แข็งแรงของพันธะระหว่างแอมิโลสและโมเลกุลแอมิโลเพกทินที่เพิ่มขึ้นจากการพรีเจลาไดไนซ์แป้งไปขัดขวางการหลุดออกมาของอนุภาคแป้ง (Leaching out of starch granules) จึงทำให้ความสามารถในการละลายลดลง [21] สอดคล้องกับงาน

วิจัยของ Sharma และคณะ [22] ที่พบว่าแป้งลูกเดี๋ยมีค่ากำลังการพองตัวสูงขึ้นและค่าการละลายลดลง หลังจากมีการดัดแปรแป้งด้วยวิธี Heat Moisture Treatment (HMT)



รูปที่ 1 ค่ากำลังการพองตัว (a) และ ค่าความสามารถในการละลาย (b) ของแป้งกล้วย Control (—■—, ปอกเปลือกและไม่นึ่ง), P5 (—●—, ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที), P10 (—▲—, ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที), U5 (—★—, ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที) และ U10 (—◆—, ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที)

3.2 ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วย

สมบัติด้านความหนืดเป็นหนึ่งในสมบัติที่สำคัญที่สุดของผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ (Starch-based) เนื่องจากมักถูกใช้ในการพิจารณาคุณภาพของแป้งในอุตสาหกรรมอาหาร [13] ผลของการวัดค่าสมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วย Control และแป้งกล้วยที่ผ่านการนึ่งทั้งปอกเปลือก (P) และไม่ปอกเปลือก (U) แสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 2 เมื่อพิจารณาพบว่าค่า Pasting temperature ของแป้งกล้วย Control มีค่าเท่ากับ 80.70 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าแป้งกล้วยที่ผ่านการนึ่งทั้งปอกเปลือก (P) และไม่ปอกเปลือก (U) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 63.23-79.80 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าแป้งที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่งมีแนวโน้มการพองตัวได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งกล้วย Control ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดจากการเจลาไดไนซ์เซชันบางส่วนของแป้งกล้วยในขั้นตอนการนึ่ง โดยทั่วไปการพองตัวของเม็ดแป้งจะเริ่มพองตัวในส่วนที่เป็น

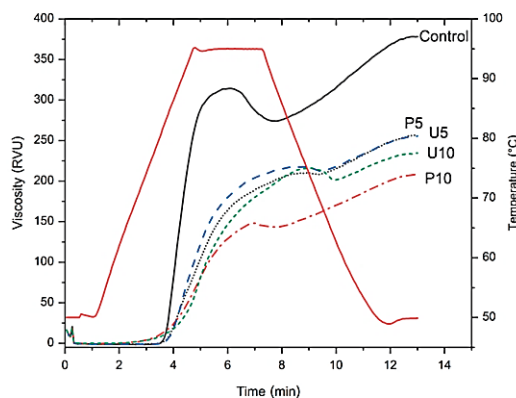
อณูฐานก่อน ซึ่งแป้งกล้วยที่ผ่านการนึ่งหรือการเจลาไดไนซ์จะมีพื้นที่ส่วนที่เป็นอณูฐานของเม็ดแป้งจำนวนมากจึงทำให้สามารถดูดซับน้ำได้อย่างรวดเร็วมากกว่าแป้งกล้วย Control ที่ไม่ผ่านการนึ่ง [23] และเมื่อเวลาในการนึ่งเพิ่มขึ้น (5 และ 10 นาที) มีผลทำให้ค่า Peak viscosity, Trough viscosity, Breakdown, Final viscosity และ Setback from trough ของแป้งกล้วยที่ผ่านการนึ่งทั้งปอกเปลือก (P) และไม่ปอกเปลือก (U) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งการลดลงของความหนืดเป็นผลมาจากการปรับตัวของโครงสร้างภายในเม็ดแป้งกล้วยที่ผ่านการนึ่งมีสายโซ่ของแป้งที่แข็งแรงคงทนต่ออุณหภูมิและแรงกวนมากขึ้น จึงทำให้เม็ดแป้งพองตัวน้อยลง [24] พิจารณาได้จากค่า Breakdown มีค่าลดลงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Poudel และคณะ [25] ที่พบว่าตัวอย่างแป้งข้าวสาลีมีค่า Peak viscosity, Trough viscosity และ Final viscosity ลดลง เมื่อให้ระยะเวลาในการนึ่งเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้ค่า Final viscosity ซึ่งเป็นค่าความหนืดสุดท้าย ทำให้เย็น พบว่าแป้งกล้วยทั้ง 5 สิ่งทดลองมีค่าความหนืดสุดท้าย ที่บ่งบอกถึงคุณภาพของแป้งและเป็นตัวบ่งชี้ลักษณะของแป้ง มากกว่าค่าความหนืดต่ำสุดแสดงว่าเมื่อผ่านการให้ความร้อน ว่ามีลักษณะเป็นแป้งเปียกหรือเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อนและ และทำให้เย็นจะมีลักษณะเป็นเจล

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งกล้วยที่ใช้สภาวะการผลิตแตกต่างกัน

สมบัติด้านความหนืด	สิ่งทดลอง				
	Control	P5	P10	U5	U10
Peak viscosity (RVU)	316.71±1.24a	192.58±1.41c	148.92±0.09d	209.54±3.59b	187.29±6.66c
Trough viscosity (RVU)	278.09±5.78a	170.21±0.41c	132.50±1.63e	188.04±4.54b	158.25±7.89d
Breakdown (RVU)	45.63±2.89a	21.17±0.71c	15.63±1.35d	21.42±0.69c	29.36±1.03b
Final viscosity (RVU)	377.04±2.18a	257.29±0.06b	206.46±1.24d	260.75±5.30b	240.21±3.83c
Setback from trough (RVU)	98.88±1.59a	87.08±0.35b	74.80±0.18d	72.33±0.85d	82.61±3.09c
Pasting temperature (°C)	80.70±0.00a	78.58±0.58c	70.20±0.00d	79.80±0.00b	63.23±0.49e

หมายเหตุ Control : ปอกเปลือกและไม่นึ่ง, P5 : ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที, P10 : ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที, U5 : ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที, U10 : ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที, a-e ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งกล้วย Control (—, ปอกเปลือกและไม่นึ่ง), P5 (....., ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที), P10 (- · -, ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที), U5 (- - -, ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที) และ U10 (----, ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที)

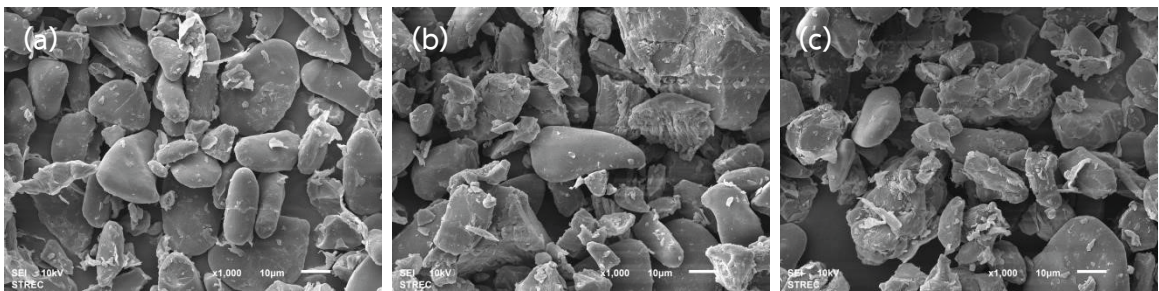
3.3 ลักษณะฐานวิทยาของอนุภาค (Microstructure)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาลักษณะของเม็ดแป้งซึ่งทำให้ได้เห็นขนาดและ

รูปร่างอนุภาคของเม็ดแป้งที่แตกต่างกัน จากรูปที่ 3a พบว่าแป้งกล้วย Control ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่ง มีลักษณะรูปร่างเป็นวงรี (Oval) และแบน (Flat) สอดคล้องกับการรวบรวมงานวิจัยอื่นที่พบว่าแป้งกล้วยมีลักษณะแบนและ

ส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นวงรีหรือรูปไข่ (Ellipsoidal) และมีขนาดที่ไม่สม่ำเสมอ (Irregular) [3, 6, 24] โดยจากงานวิจัยของ Bi และคณะ [3] พบว่าบนผิวที่ขรุขระของเม็ดแป้งกล้วยคือองค์ประกอบอื่นประเภทโปรตีนและไขมัน เมื่อพิจารณาผลของการนึ่งกล้วยดิบ พบว่าลักษณะรูปร่างวงรีของอนุภาคเม็ดแป้ง

กล้วยที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่งทั้งปอกเปลือก (P) และไม่ปอกเปลือก (U) เป็นเวลา 10 นาที (รูปที่ 3b และ 3c) เปลี่ยนแปลงไปโดยมีลักษณะเป็นแผ่น (Amorphous flake) มากขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องมาจากการรวมตัวกันของโปรตีนและแป้งจากกระบวนการพรีเจลลาคีไนซ์ [26]



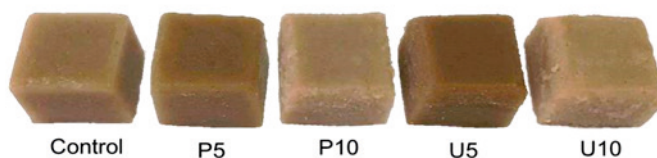
รูปที่ 3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคของแป้งกล้วย (กำลังขยาย 1,000 เท่า)

(a) Control : ปอกเปลือกและไม่นึ่ง, (b) P10 : ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที และ (c) U10 : ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที

3.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านสีของเจลแป้งกล้วย

ความใสและทึบของเจลแป้งมีความสัมพันธ์กับปริมาณแอมิโลสและการคืนตัวของแป้ง โดยแป้งกล้วยเป็นแป้งที่มีองค์ประกอบของโมเลกุลแอมิโลสสูง (30-37.1%) [7] และสามารถเกิดการคืนตัวได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการเรียงตัวของโครงสร้างแอมิโลสอย่างหนาแน่น ส่งผลให้แสงผ่านได้น้อย จึงเห็นเป็น

ลักษณะเจลที่ทึบแสงแสดงดังรูปที่ 4 นอกจากนี้การคืนตัวของแป้งยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกหลายประการ ได้แก่ ชนิดแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง การให้ความร้อน อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย ปริมาณและขนาดของแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน รวมถึงองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ของแป้ง [27]



รูปที่ 4 ลักษณะปรากฏของเจลแป้งกล้วยที่ใช้สภาวะการผลิตต่างกัน

(Control : ปอกเปลือกและไม่นึ่ง, P5 : ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที, P10 : ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที, U5 : ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที, U10 : ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที)

ค่าสีของเจลแป้งกล้วยที่ได้จากแป้งกล้วยที่มีสภาวะการผลิตแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 2 และลักษณะปรากฏของเจลแป้งกล้วยแสดงดังรูปที่ 4 พบว่าเจลแป้งกล้วยที่ใช้สภาวะในการผลิตแตกต่างกัน มีค่าความสว่าง (L^*), ค่าความเป็นสีแดง (a^*), สีเหลือง (b^*) และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning Index)

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งกล้วยที่ผ่านการนึ่ง P10 มีค่า L^* มากที่สุด และแป้งกล้วย U10 มีค่า Browning Index ต่ำที่สุด เนื่องจากการให้ความร้อนโดยการนึ่งมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase: PPO) ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล [28]

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Ciou และคณะ [29] ที่พบว่าปริมาณเอนไซม์ PPO ลดลง เมื่อให้ความร้อนเป็นเวลานานขึ้น และจากตารางที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าสีของเจลแ่งกล้วยที่มีระยะเวลาในการนึ่งเท่ากันที่ 5 นาที พบว่าเจลแ่งกล้วยที่ไม่ผ่านการปอกเปลือก (U5) มีค่า Browning Index สูงกว่าเจลแ่งกล้วยที่ผ่านการปอกเปลือก (P5) ทั้งนี้เป็นผลมาของความร้อนจากกระบวนการนึ่งกล้วยดิบ เนื่องจากการนึ่งกล้วยดิบโดยไม่

ปอกเปลือกส่งผลทำให้เกิดการย่อยสลายของสารฟีโอฟิติน (Pheophytin) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีเขียวเข้มหรือสีเขียวมะกอกในเปลือกกล้วยเปลี่ยนไปเป็นสารฟีโอฟิไบด์ (Pheophorbide) ที่มีสีน้ำตาล และแพร่ผ่านเข้าตัวเนื้อกล้วยจึงทำให้เนื้อกล้วยมีสีคล้ำ [13, 30] และอาจเนื่องมาจากการส่งผ่านความร้อนเพื่อยับยั้งเอนไซม์ PPO โดนขัดขวางโดยเปลือกกล้วย จึงทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ดังกล่าวลดลง

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านสีของเจลแ่งกล้วยที่ใช้สภาวะการผลิตแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	L^*	a^*	b^*	Browning Index
Control	33.93±0.04d	1.35±0.05a	4.00±0.44c	15.18±0.14c
P5	35.34±0.08c	1.38±0.09a	4.59±0.08b	16.48±0.08b
P10	39.66±0.10a	1.21±0.02b	2.84±0.16d	9.47±0.44d
U5	33.41±0.13e	1.33±0.11a	5.02±0.12a	18.87±0.61a
U10	39.18±0.31b	0.82±0.05c	2.71±0.12d	8.53±0.41e

หมายเหตุ Control : ปอกเปลือกและไม่นึ่ง, P5 : ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที, P10 : ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที, U5 : ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที, U10 : ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที, a-e ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวดิ่งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.5 ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลแ่งกล้วย

สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลแ่งมีอิทธิพลมาจากหลายปัจจัย เช่น การเกิดเจลาคิโนซิส ความหนาแน่นของเม็ดแ่งเจลาคิโนซิสที่เกิดปฏิกิริยาระหว่างส่วนที่เป็นแ่ง (Dispersed phase) และน้ำ (Continuous phase) ของเจล เป็นต้น [31] จากผลการวิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลแ่งกล้วยที่ใช้สภาวะการผลิตแตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 3 พบว่าเจลแ่งกล้วย Control มีค่าความแข็ง (Hardness) มากกว่าเจลแ่งที่ผ่านการนึ่งทั้งปอกเปลือก (P) และไม่ปอกเปลือก (U) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าการ

ละลายของแ่งกล้วย Control ที่มีค่ามากที่สุดเช่นกัน เนื่องจากโมเลกุลของแ่งที่ละลายออกมาจะจัดเรียงตัวใหม่เกิดเป็นเจลที่มีโครงสร้างแข็งแรง [32] ส่งผลให้เจลแ่งกล้วย Control ที่ได้มีค่าความแข็งสูงที่สุด และเมื่อพิจารณาเจลแ่งกล้วยที่ผ่านการให้ความร้อนโดยการนึ่ง พบว่ามีค่าการยึดติด (Adhesiveness), ความยืดหยุ่น (Springiness), ค่าการเกาะติดกันภายในโครงสร้างของเนื้ออาหาร (Cohesiveness), ค่าความเหนียว (Guminess) และค่าแรงที่ใช้ในการเคี้ยว (Chewiness) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเป็นแ่งที่ผ่านการเจลาคิโนซิสบางส่วนทำให้โครงสร้างส่วนผลึกถูกทำลายส่งผลให้ค่าเนื้อสัมผัสต่างๆ ลดลง [33]

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลแบ่งกล้วยที่ใช้สภาวะการผลิตแตกต่างกัน

สิ่งทดลอง	Hardness (N)	Adhesiveness (N.s)	Springiness	Cohesiveness	Gumminess (N)	Chewiness (N)
Control	20.61±0.28a	-0.78±0.07a	0.86±0.00a	0.54±0.01a	11.26±0.07a	9.59±0.10a
P5	14.02±0.14c	-0.81±0.16a	0.59±0.01d	0.43±0.00c	6.58±0.17c	3.59±0.05c
P10	9.85±0.08e	-0.86±0.12a	0.63±0.01c	0.45±0.00b	4.36±0.16e	3.39±0.06d
U5	17.09±0.14b	-1.46±0.07b	0.59±0.00d	0.41±0.00d	7.26±0.05b	4.45±0.07b
U10	10.44±0.25d	-1.40±0.06b	0.66±0.01b	0.42±0.00c	4.84±0.07d	3.60±0.15c

หมายเหตุ Control : ปอกเปลือกและไม่นึ่ง, P5 : ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที, P10 : ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที, U5 : ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 5 นาที, U10 : ไม่ปอกเปลือกและนึ่ง 10 นาที, a-e ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาผลของการผลิตแบ่งกล้วยโดยใช้สภาวะที่ต่างกัน ได้แก่ การปอกเปลือก (ปอกเปลือก และไม่ปอกเปลือก) และการนึ่ง (5 และ 10 นาที) พบว่าการนึ่งส่งผลให้ลักษณะสีฐานวิทยาศาสตร์ของอนุภาคเม็ดแบ่งกล้วยมีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปและมีการเกาะกลุ่มกันมากขึ้น รวมทั้งยังส่งผลต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้ง และสมบัติของเจลแบ่งด้านสีและเนื้อสัมผัส โดยพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการนึ่งมีผลทำให้ค่า Peak viscosity, Trough viscosity, Breakdown, Final viscosity และ Setback from trough และค่าความสามารถในการละลายลดลง ในขณะที่ค่ากำลังการพองตัวสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเนื้อสัมผัสของเจลแบ่งกล้วย พบว่าเจลแบ่งที่เจลาติไนซ์ที่ได้จากการนึ่งกล้วยมีความแข็งและความยืดหยุ่นน้อยกว่าเจลแบ่งกล้วย Control นอกจากนี้การปอกเปลือกกล้วยก่อนนึ่งเป็นเวลา 10 นาที มีผลทำให้ค่า L^* ของเจลแบ่งกล้วยสูงขึ้นและมีค่า Browning Index ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเจลแบ่งกล้วย Control เนื่องจากความร้อนมีผลต่อการยับยั้งเอนไซม์ที่ทำให้เกิดสีน้ำตาล

5. เอกสารอ้างอิง

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006, Banana Statistics [Online], Available: www.fao.org. [15 July 2019]
2. Biodiversity-based Economy Development

Office (Public Organization), 2017, Banana Export [Online], Available: <http://bedolib.bedo.or.th>. [15 July 2019] (In Thai)

3. Bi, Y., Zhang, Y., Jiang, H., Hong, Y., Gu, Z., Cheng, L., Li, Z. and Li, C., 2017, "Molecular Structure and Digestibility of Banana Flour and Starch," *Food Hydrocolloids*, 72, pp. 219-227.
4. Ovando-Martinez, M., Sáyago-Ayerdi, S., Agama-Acevedo, E., Goñi, I. and Bello-Pérez, L.A., 2009, "Unripe Banana Flour as an Ingredient to Increase the Undigestible Carbohydrates of Pasta," *Food Chemistry*, 113, pp. 121-126.
5. Utrilla-Coello, R.G., Rodríguez-Huezoc, M.G., Carrillo-Navas, H., Hernández-Jaimes, C., Vernon-Carter, E.J. and Alvarez-Ramirez, J., 2014, "In vitro Digestibility, Physicochemical, Thermal and Rheological Properties of Banana Starches," *Carbohydrate Polymers*, 101, pp. 154-162.
6. Zhang, P., Whistler R.L., BeMiller, J.N. and Hamaker, B.R., 2005, "Banana Starch: Production, Physicochemical Properties, and Digestibility-A Review," *Carbohydrate Polymers*, 59, pp. 443-458.
7. Vatanasuchart, N., Niyomwit, B. and Narasri, W., 2012, "Resistant Starch, Physicochemical and

- Structural Properties of Bananas from Different Cultivars with an Effect of Ripening,” *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 46 (3), pp. 461-472.
8. Sajilata, M.G., Singhal, R.S. and Kulkarni, P.R., 2006, “Resistant Starch – A Review,” *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*, 5, pp. 1-17.
 9. Campuzano, A., Rosell, R.S. and Cornejo, F., 2018, “Physicochemical and Nutritional Characteristics of Banana Flour during Ripening,” *Food Chemistry*, 256, pp. 11-17.
 10. Agama-Acevedo, E., Islas-Hernández, J.J., Pacheco-Vargas, G., Osorio-Díaz, P. and Bello-Pérez, L.A., 2012, “Starch Digestibility and Glycemic Index of Cookies Partially Substituted with Unripe Banana Flour,” *LWT-Food Science and Technology*, 46, pp. 177-182.
 11. Wang, Y., Zhang, M. and Mujumdar, A.S., 2012, “Influence of Green Banana Flour Substitution for Cassava Starch on the Nutrition, Color, Texture and Sensory Quality in Two Types of Snacks,” *LWT - Food Science and Technology*, 47, pp. 175-182.
 12. Segundo, C., Román, L., Gómez, M. and Martínez, M.M., 2017, “Mechanically Fractionated Flour Isolated from Green Bananas (*M.cavendishii* var.*nanica*) as a Tool to Increase the Dietary Fiber and Phytochemical Bioactivity of Layer and Sponge Cakes,” *Food Chemistry*, 219, pp. 240-248.
 13. Bezerra, C.V., Amante, E.R., de Oliveira, D.C., Rodrigues, A.M.C. and da Silva, L.H.M., 2013, “Green Banana (*Musa cavendishii*) Flour Obtained in Spouted Bed – Effect of Drying on Physico-chemical, Functional and Morphological Characteristics of the Starch,” *Industrial Crops and Products*, 41, pp. 241-249.
 14. Schoch, T.J., 1964, “Swelling Power and Solubility of Granular Starches,” pp. 106-108, in R.L. Whistler (Ed.) *Methods in Carbohydrate Chemistry*, Vol. 4, Academic Press, New York.
 15. Newport Scientific, 1997, “RVA World the New Standard,” *RVA World*, 11, pp. 1-4.
 16. Sahai, D. and Jackson, D.S., 1996, “Structural and Chemical Properties of Native Corn Starch Granules,” *Starch/Stärke*, 48 (7-8), pp. 249-255.
 17. Savlak, N., Türker, B. and Yesilkanat, N., 2016, “Effects of Particle Size Distribution on Some Physical, Chemical and Functional Properties of Unripe Banana Flour,” *Food Chemistry*, 213, pp. 180-186.
 18. Khoozani, A.A., El-Din Ahmed Bekhit, A. and Birch, J., 2019, “Effects of Different Drying Conditions on the Starch Content, Thermal Properties and Some of the Physicochemical Parameters of Whole Green Banana Flour,” *International Journal of Biological Macromolecules*, 130, pp. 938-946.
 19. Nispa, S., Limpanyoon N., Gamonpilas, C., Methacanon, P. and Fuongfuchat, F., 2015, “Effect of Cryogenic Freezing on Textural Properties and Microstructure of Rice Flour/Tapioca Starch Blend Gel,” *Journal of Food Engineering*, 151, pp. 51-59.
 20. Yadav, B.S., Guleria, P. and Yadav, R.B., 2013, “Hydrothermal Modification of Indian Water Chestnut Starch Influence of Heat-Moisture Treatment and Annealing on the Physicochemical, Gelatinization and Pasting,” *LWT-Food Science and Technology*, 53, pp. 211-217.
 21. Zavareze, E. Da, R., Storck, C.R., de Castro, L.A.S., Schirmer, M.A. and Dias, A.R.G., 2010, “Effect of Heat-Moisture Treatment on Rice Starch of Varying Amylose Content,” *Food Chemistry*, 121, pp. 358–365.
 22. Sharma, M., Yadav, D.N., Singh, A.K. and Tomar, S.K., 2015, “Effect of Heat-Moisture Treatment on Resistant Starch Content as well as Heat and Shear Stability of Pearl Millet Starch,” *Agricultural Research*, 4 (4), pp. 411-419.
 23. Hu, Y., Wang, L., Zhu H. and Li, Z., 2017, “Modification of Physicochemical Properties and in vitro Digestibility of Wheat Flour through Superheated

- Steam Processing,” *Journal of Cereal Science*, 74, pp. 231-237.
24. Cahyana, Y., Wijaya, E., Halimah, T.S., Marta, H., Suryadi, E. and Kurniati, D., 2019, “The Effect of Different Thermal Modifications on Slowly Digestible Starch and Physicochemical Properties of Green Banana Flour (*Musa acuminata* colla),” *Food Chemistry*, 274, pp. 274-280.
25. Poudel, R. and Rose, D.J., 2018, “Changes in Enzymatic Activities and Functionality of Whole Wheat Flour due to Steaming of Wheat Kernels,” *Food Chemistry*, 263, pp. 315-320.
26. Sun, X., Li, W., Hu, Y., Zhou, X., Ji, M., Yu, D., Fujita, K., Tatsumi, E. and Luan, G., 2018, “Comparison of Pregelatinization Method on Physicochemical, Functional and Structural Properties of Tartary Buckwheat Flour and Noodle Quality,” *Journal of Cereal Science*, 80, pp. 63-71.
27. Adebawale, K.O., Olu-Owolabi, B.I., Olawumi, E.K. and Lawal, O.S., 2005, “Functional Properties of Native, Physically and Chemically Modified Breadfruit (*Artocarpus artilis*) Starch,” *Industrial Crops and Products*, 21, pp. 343-351.
28. Deylami, M.Z., Rahman, R.A., Tan, C.P., Bakar, J. and Olusegun, L., 2016, “Effect of Blanching on Enzyme Activity, Color Changes, Anthocyanin Stability and Extractability of Mango-steen Pericarp: A Kinetic Study,” *Journal of Food Engineering*, 178, pp. 12-19.
29. Ciou, J.Y., Lin, H.H., Chiang, P.Y., Wang, C.C. and Charles, A.L., 2011, “The Role of Polyphenol Oxidase and Peroxidase in the Browning of Water Caltrop Pericarp during Heat Treatment,” *Food Chemistry*, 127, pp. 523-527.
30. Vu, H.T., Scarlett, C.J. and Vuong, Q.V., 2019, “Changes of Phytochemicals and Antioxidant Capacity of Banana Peel during the Ripening Process; with and without Ethylene Treatment,” *Scientia Horticulturae*, 253, pp. 255-262.
31. Odejobi, O.J., Ige, M.M. and Adeniyi K.A., 2014, “Pasting, Thermal and Gel Texture Properties of Three Varieties of Nigeria Rice Flours and Starches,” *British Journal of Applied Science and Technology*, 4, pp. 4304-4315.
32. Hormdok, R. and Noomhorm, A., 2007, “Hydrothermal Treatments of Rice Starch for Improvement of Rice Noodle Quality,” *LWT- Food Science and Technology*, 40, pp. 1723-1731.
33. Zhang, Y., Li, G., Wu, Y., Yang, Z. and Ouyang, J., 2019, “Influence of Amylose on the Pasting and Gel Texture Properties of Chestnut Starch during Thermal Processing,” *Food Chemistry*, 294, pp. 378-383.