**บทความวิจัย**

# การศึกษาเปรียบเทียบผลของการลวกน้ำร้อน และการนึ่งต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ

# Comparative Study of Effects of Hot Water and Steaming Blanching on Crisp Banana Qualities

สุวิทย์ แพงกันยา[1] สุรพิชญ์ ทับเที่ยง[2*] สมเกียรติ ปรัชญาวรากร[3] และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์[4]

Suwit Paengkanya[1], Surapit Tabtiang[2*], Somkiat Prachayawarakorn[3] and Somchart Soponronnarit[4]

## บทคัดย่อ

กล้วยกรอบที่แปรรูปด้วยการอบแห้งร่วมกับการทำให้พองมีการหดตัวน้อยและมีเนื้อสัมผัสกรอบ แต่ผลิตภัณฑ์มีสีน้ำตาลคล้ำมาก การเตรียมตัวอย่างโดยการลวกน้ำร้อนและการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลได้อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานเปรียบเทียบผลของการลวกและการนึ่งต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเปรียบเทียบผลของการลวกน้ำร้อนและการนึ่งต่อคุณภาพกล้วยกรอบ การทดลองนำกล้วยน้ำว้าสดมาหั่นให้มีความหนา 2.5 mm จากนั้นนำกล้วยแผ่นมาลวกด้วยน้ำร้อนหรือนึ่งด้วยไอน้ำร้อน แล้วนำกล้วยแผ่นมาแปรรูปด้วย การอบแห้งร่วมกับการทำให้พองด้วยลมร้อน ผลการทดลองพบว่าการลวกและการนึ่งช่วยลดความแน่นเนื้อของโครงสร้างกล้วยสด จึงส่งผลให้กล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีปริมาตรมากกว่าและมีความแข็งน้อยกว่ากล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยกรอบเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง กล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีมีคุณภาพไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มระดับอุณหภูมิของการทำให้พองช่วยให้เนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบที่มีความแข็งลดลง แต่กล้วยกรอบมีสีน้ำตาลคล้ำมากขึ้น ดังนั้นก่อนแปรรูปกล้วยควรเตรียมตัวอย่างด้วยการลวกด้วยน้ำร้อนหรือการนึ่งและใช้อุณหภูมิการพองไม่เกิน 170 °C

คำสำคัญ: การลวกน้ำร้อน การนึ่ง การทำให้พอง สี เนื้อสัมผัส

---

[1] อ.ดร., คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ 10800

[2] ผศ.ดร., วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

[3] รศ.ดร., คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

[4] ศ.ดร., คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

[1] Lecturer, Dr., Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10800, Thailand

[2] Asst. Prof. Dr., College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800, Thailand

[3] Assoc. Prof. Dr., Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10400, Thailand

[4] Prof., Dr., Faculty of Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10400, Thailand

[*] Corresponding author: E-mail address: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

## Abstract

Crisp banana processed by hot air drying combined puffing provides low volumetric shrinkage and high crisp texture, but crisp product has more brown colour. The hot water blanching and steaming pretreatments could reduce brown colour of puffed product. From previous reports, the comparative study of effects of hot water blanching and steaming pretreatments on crisp banana qualities were limited. Therefore, this work was interested in a comparative study of the effects of hot water blanching and steaming pretreatments on crisp banana. The fresh bananas were cross sectional sliced to 2.5 mm and then they were pretreated by hot water or steaming. After that, it was dried by hot air and puffed by hot air. The experimental results showed that both pretreatments by hot water and steaming could reduce the firmness of raw material structure, resulting in the larger volumetric and lower hardness of pretretment product than that of the non-pretreatment banana product. In addition, the both pretreatment also retarded browning reaction of crisp banana product as compared to non-pretreatment product. However, it was not observed the difference in qualities of both pretreatment crisp banana methods. Increasing puffing temperature provided lower hardness of product, however, the color of puffed banana was more browning. Therefore, the banana should be pretreated by hot water blanching or steaming before processing and using of puffing temperature not exceeding 170 $^{o}$C.

**Keywords***:* Hot Water Blanching, Steaming, Puffing, Colour, Texture

## บทนำ

ผลิตภัณฑ์กล้วยแปรรูปที่วางขายตามท้องตลาดมีหลายรูปแบบ เช่น กล้วยอบกรอบ กล้วยทอดกรอบ กล้วยตากแห้ง กล้วยอบกรอบเป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์แปรรูปที่ได้รับความนิยมบริโภค ซึ่งสามารถแปรรูปด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (70-90 °C) อย่างไรก็ตามกล้วยกรอบที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำมีระดับการหดตัวสูงจึงทำให้มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง เทคนิคการทำให้พองด้วยอุณหภูมิสูง (150-220 $^{o}$C) เป็นระยะเวลาสั้นร่วมกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (70-90 °C) ช่วยให้มีการขยายตัวของปริมาตรกล้วยระหว่างการแปรรูป จึงส่งผลให้กล้วยกรอบมีการหดตัวน้อยกว่ากล้วยกรอบที่อบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิต่ำ [1-2] ปริมาตรที่มากขึ้นของผลิตภัณฑ์ทำให้โครงสร้างภายในมีความพรุนสูงส่งผลให้เนื้อสัมผัสกรอบมากขึ้น อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิการทำให้พองที่สูงก่อให้เกิดสีน้ำตาลเข้มบนผิวผลิตภัณฑ์กรอบ [2-3] ซึ่งสีที่ไม่พึงประสงค์นำไปสู่การลดมูลค่าของผลิตภัณฑ์

การเตรียมตัวอย่างก่อนการอบแห้งช่วยปรับปรุงคุณภาพสีของอาหารกรอบ วิธีการเตรียมตัวอย่างที่นิยมใช้มีหลายวิธี เช่น การลวกด้วยน้ำร้อน การนึ่งด้วยไอน้ำร้อน การลวกด้วยไมโครเวฟ การเตรียมตัวอย่างอาหารด้วยความร้อนช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในระหว่างการอบแห้งเนื่องจากความร้อนช่วยยับยั้งกิจกรรมของเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล [4] การเตรียมตัวอย่างไม่เพียงส่งผลต่อสีของอาหารแต่ยังได้รับผลกระทบต่อการหดตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารอบแห้ง Varnalis *et al*. [5] รายงานว่าการลวกมันฝรั่งด้วยน้ำร้อนก่อนแปรรูปด้วยการอบแห้งช่วยให้มันฝรั่งมีการพองขยายตัวได้ดีขึ้นในขั้นตอน

การทำให้พองเมื่อเปรียบเทียบกับมันฝรั่งที่ไม่ได้ลวกน้ำร้อน ผลของการขยายตัวที่มากขึ้นช่วยให้มันฝรั่งอบแห้งมีความสามารถในการดูดซับน้ำกลับมากขึ้น Tabtiang *et al*. [2] รายงานว่าการลวกกล้วยน้ำว้าด้วยน้ำร้อนก่อนแปรรูปด้วยการอบแห้งช่วยให้ผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบมีการหดตัวลดลง อย่างไรก็ตาม Prachayawarakorn *et al*. [3] รายงานว่าการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนส่งผลให้กล้วยหอมกรอบที่มีความสุกระดับ 16-17 °Brix มีการหดตัวสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยที่ไม่ผ่านการนึ่ง การหดตัวที่สูงของกล้วยกรอบทำให้กล้วยมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากขึ้นและมีความกรอบลดลง

จากรายงานที่กล่าวมาพบว่าการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนส่งผลต่อคุณภาพของอาหารอบแห้งแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามรายงานวิจัยที่กล่าวถึงการเปรียบเทียบผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอาหารและคุณภาพของผลิตภัณฑ์กรอบมีอย่างจำกัด ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาเปรียบเทียบผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยการลวกน้ำร้อนและการนึ่งด้วยไอน้ำ รวมทั้งระดับอุณหภูมิการทำให้พองต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้ากรอบในเทอมของสีอัตราส่วนปริมาตรและเนื้อสัมผัสและโครงสร้างระดับจุลภาค

## วัสดุและวิธีดำเนินการ

**1. การเตรียมตัวอย่างกล้วยแผ่น**

นำกล้วยน้ำว้าสด (*Musasapientum* Linn. (ABB group)) ที่สีเปลือกเป็นสีเหลืองอมเขียวเล็กน้อยและมีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในช่วง 21-22 °Brix การหาปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ทำโดยนำเนื้อกล้วยมาสับให้ละเอียด แล้ววางบนผ้าขาวบาง จากนั้นบีบเอาของเหลวมาวัดค่าด้วยเครื่อง Hand-held Refractometer (ATAGO, Tokyo, Japan) การเตรียมกล้วยแผ่นสดให้นำกล้วยมาปอกเปลือกและหั่นโดยใช้เครื่องหั่น (Savioli, 250S, Bangkok, Thailand) ให้ได้ความหนา 2.5 mm แล้วแบ่งกล้วยแผ่นออกเป็นสามกลุ่ม กลุ่มแรกกล้วยแผ่นที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง กลุ่มที่สองนำกล้วยแผ่น 100 g มานึ่งด้วยไอน้ำร้อนที่อุณหภูมิไอน้ำ 95 °C ที่ความดันบรรยากาศ เป็นเวลา 2 min กลุ่มที่สามนำกล้วยแผ่น 100 g มาลวกน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 30 s นำกล้วยแผ่นวางพักบนตะแกรงเพื่อให้สะเด็ดน้ำประมาณ 5 min แล้วใช้กระดาษชำระซับน้ำที่เกาะบริเวณผิวของกล้วยออก การเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีใช้กล้วยในสัดส่วน 100 g ต่อน้ำ 2.5 L จากนั้นนำกล้วยแผ่นมาหาความชื้นเริ่มต้นโดยอบในตู้อบลมร้อนที่ 103 °C เป็นเวลา 3 hours [2-3]

**2. การอบแห้ง**

การอบแห้งกล้วยแผ่นใช้กระบวนการอบแห้งแบบหลายขั้นตอน ขั้นตอนแรกนำกล้วยแผ่นมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนโดยเครื่องอบแห้งนี้ประกอบด้วย ห้องอบแห้ง ขนาด 52 x 52 x 52 $cm^3$ พัดลม ขนาด 2.2 kW โดยใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วลม และฮีตเตอร์ ขนาด 3,000 kW ควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบ A Proportional–integral–derivative Controller (HITACHI, Model J100, Tokyo, Japan) อบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 90 °C ความเร็วลม 2 $ms^{-1}$ อบแห้งจนกระทั่งกล้วยแผ่นมีความชื้นเหลือ 35 % d.b. นำกล้วยแผ่นมาทำให้พองด้วยเครื่องอบแห้งเดิม โดยใช้อุณหภูมิลมร้อนที่ 150 170 และ 190 °C เป็นเวลา 2 min ขั้นตอนสุดท้ายนำกล้วยมาอบแห้งอีกครั้งโดยใช้เงื่อนไขเดียวกันกับขั้นตอนแรก จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 4 % d.b. จากนั้นนำกล้วยอบแห้งมาบรรจุถุงอลูมิเนียมแล้วปิดผนึกด้วยเครื่องซีลสุญญากาศ

แบบตั้งโต๊ะ (Master Shef, Model DZ260, Bangkok, Thailand) แล้วเก็บในตู้ดูดความชื้น (WEIFO, DRY-100T, Taiwan) เพื่อรอการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ

**3. การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค**

นำตัวอย่างเนื้อกล้วยสดที่มีขนาด 2 × 3 × 1 mm ซึ่งได้มาจากด้านในที่ระยะห่างจากผิวกล้วยสดประมาณ 2-3 mm ตัวอย่างเนื้อเยื่อของกล้วยถูกแช่ด้วย 2.5 % (v/v) Glutaradehyde ในสารละลาย Phosphate เข้มข้น 0.1 M (pH 7.2) ทิ้งค้างคืนที่อุณหภูมิ 4 °C แล้วจึงแช่ตัวอย่างในสารละลาย 2 % (w/v) Osmium Tetroxide เป็นเวลา 2 hours ที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างถูกล้างด้วยน้ำกลั่นและกำจัดความชื้นด้วย Acetone ที่ความเข้มข้น 30-100 % (v/v) จากนั้นเนื้อเยื่อกล้วยจะถูกทำ Polymerize ใน Spurr's Resin เป็นเวลา 7 hours ที่อุณหภูมิ 80 °C ตัวอย่างถูกตัดเป็นชิ้นโดยใช้เครื่อง Ultramicrotome (Leica Ultracut UC7, Vienna, Austria) ที่ความหนา 1 µm และย้อมด้วย 1 % (w/v) Totudine Blue และ 1 % (w/v) Basic Fuchsin แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Axio Star Plus, Zeiss, Göttingen, Germany)

**4. การวิเคราะห์อัตราส่วนปริมาตร**

การหาปริมาตรของกล้วยแผ่นในแต่ละสภาวะใช้กล้วยแผ่นจำนวน 20 ชิ้น การวัดอัตราส่วนของปริมาตรของกล้วยน้ำว้ากรอบใช้วิธีการแทนที่ด้วยของแข็ง การหาปริมาตรเริ่มจากเท Glass Beads ลงในกระป๋องอะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm และสูง 4 cm ประมาณครึ่งหนึ่งของกระป๋อง จากนั้นวางกล้วยแผ่นจำนวน 3 ชิ้น ลงในกระป๋องอะลูมิเนียม แล้วจึงเท Glass Beads ลงในกระป๋องอะลูมิเนียมอีกครั้งจนเต็มกระป๋อง แล้วชั่งน้ำหนักของตัวอย่างพร้อมบันทึกผล โดยปริมาตรของกล้วยแผ่นสามารถหาได้จากสมการการหาปริมาตรซึ่งรายงานโดย Tabtiang *et al*. [2] จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาอัตราส่วนปริมาตรจากสมการการหาอัตราส่วนปริมาตรซึ่งรายงานโดย Prachayawarakorn *et al*. [3]

**5. การวิเคราะห์เนื้อสัมผัส**

เนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบอบแห้งพิจารณาในเทอมค่าความแข็งและค่าจำนวนยอดเนื้อสัมผัสของตัวอย่างกล้วยอบแห้งทดสอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro System, TA.XT. Plus, Surrey, UK) การทดสอบคุณภาพเริ่มจากนำกล้วยอบแห้งวางลงบนฐานวางตัวอย่างโดยใช้หัวกดทดสอบแบบหัวตัด (HDP-BSK) ใช้ความเร็วขณะกดชิ้นตัวอย่างที่ 2 $mms^{-1}$ ซึ่งเป็นไปตามวิธีการทดสอบกล้วยกรอบของ Raikham *et al*. [6] การทดสอบเลือกใช้หัวทดสอบ HDP/BSK เพราะการกดเพื่อตัดชิ้นอาหารมีลักษณะคล้ายกับการกัดชิ้นอาหารของมนุษย์ ค่าความแข็งและค่าจำนวนยอดของกล้วยอบแห้งวิเคราะห์จาก Force-deformation Curve ซึ่งการพิจารณาพารามิเตอร์ทั้ง 2 สามารถพิจารณาจาก Tabtiang *et al*. [2] การทดสอบใช้ตัวอย่างกล้วยแผ่นจำนวน 20 ชิ้น ในแต่ละสภาวะการทดลอง และทำซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย

**6. การวิเคราะห์สี**

นำกล้วยกรอบจำนวน 20 ชิ้น ในแต่ละสภาวะการอบแห้งมาวัดค่าสี การวัดสีใช้เครื่อง Colorimeter (HunterLab Reston, ColorFlex, VA, USA) ที่แหล่งของแสง D65 และมุมมอง $10^{o}$ การวัดสีของแผ่นกล้วยแสดงอยู่ในค่าของ L (ความสว่าง/ความมืด), a (+แดง/-เขียว) และ b (สีเหลือง/สีน้ำเงิน) ก่อนการวัดสีของกล้วยอบแห้งต้องปรับเทียบเครื่องวัดสีด้วยแผ่นสีขาวและแผ่นสีดำมาตรฐานก่อนเสมอ นำค่าสีที่วัดได้มา

คำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงค่าสี ($\Delta E$) และค่าโทนสี (Hue Angle) ของกล้วยอบแห้งแต่ละสภาวะจากสมการการซึ่งรายงานโดย Tabtiang *et al*. [7] และ Tabtiang *et al*. [15]

**7. การวิเคราะห์ Enzyme Activity**

การหา Enzyme Activity ของกล้วยประกอบด้วย Polyphenol Oxidase (PPO) และ Polyphenol Peroxidase (POD) ดำเนินการตามงานวิจัยของ Kuljarachanan *et al*. [8] นำเนื้อกล้วยที่ผ่านและไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างบดให้ละเอียดจำนวน 25 g เติม Phosphate Buffer ความเข้มข้น 0.05 M (pH 6.2) และ 0.1 M Sodium Chloride ปริมาตร 10 L จากนั้นบดเนื้อกล้วยผสมกับสารละลาย 1 min และปรับปริมาตรของสารละลายเป็น 10 mL แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ความเร็ว 3,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 $^{o}$C เป็นเวลา 30 min จะได้สารละลายเอนไซม์และนำไปวัดหาค่า PPO สำหรับการหา POD Activity นำส่วนผสมที่ได้จากการสกัดเอนไซม์ 250 µL ซึ่งประกอบด้วย 2.5 mL Guaiacol 0.4 % (v/v) และ $H_2O_2$ in Phosphate Buffer 0.05 M (pH 6.2) จากนั้นใช้ Phosphate Buffer 250 µL เป็นส่วนผสมอ้างอิงแทนการสกัดจากเอนไซม์ โดยค่า POD Activity หาได้จากความชันของกราฟระหว่างการดูดซับและเวลาของปฏิกิริยา

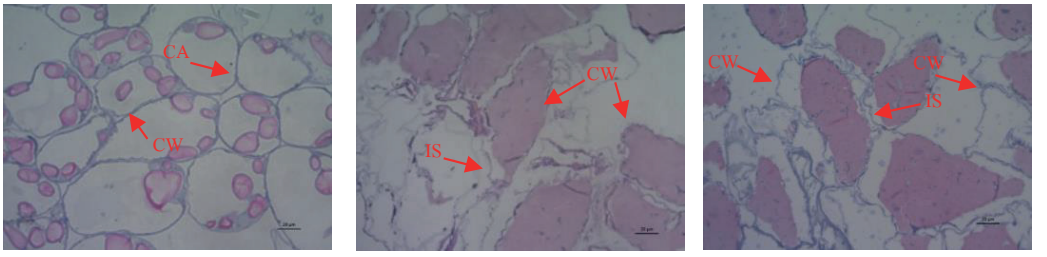
**8. การวิเคราะห์ทางสถิติ**

ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคุณภาพทางด้านสี อัตราส่วนปริมาตร ค่าความแข็ง และจำนวนยอดนำมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และทดสอบด้วย Tukey's Multi Range Tests โดยใช้โปรแกรม SPSS (SPSS, Version 13, Inc., Chicago, IL) โดยค่าเฉลี่ยของข้อมูลการทดลองนำมาพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ($p<0.05$)

## ผลการวิจัยและอภิปรายผล

**1. โครงสร้างระดับจุลภาคของกล้วยก่อนอบแห้ง**

ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างระดับจุลภาคของกล้วยน้ำว้าที่สภาวะต่างๆ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของกล้วยน้ำว้าแผ่นที่ไม่ผ่านการลวกพบว่าเซลล์มีรูปร่างค่อนข้างกลม (Round Shape) เนื่องจากผนังเซลล์ยังมีความสมบูรณ์ ดังนั้นผนังเซลล์จึงย้อมติดสีและปรากฏชัดเจนดังแสดงในภาพที่ 1 (a) นอกจากนี้ภายในโครงสร้างกล้วยสดยังมีการยึดติดกันระหว่างเซลล์ได้ดี เนื่องจากชั้น Middle Lamellar ยังมีความสมบูรณ์จึงเป็นตัวประสานให้เซลล์ยึดติดกัน [9] อย่างไรก็ตามเมื่อนำกล้วยแผ่นมาลวกด้วยน้ำร้อนหรือนึ่งด้วยไอน้ำร้อนส่งผลให้ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์ของกล้วยน้ำว้าที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง เซลล์ของกล้วยที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีมีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular Shape) นอกจากนี้ผนังเซลล์ยังปรากฏไม่ชัดเจนและมีลักษณะไม่เรียบ ลักษณะปรากฏเช่นนี้เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนทั้งสองวิธีทำให้องค์ประกอบทางเคมีภายในผนังเซลล์ เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และเพคติน เกิดการเสื่อมสลายและมีขนาดโมเลกุลเล็กลง [10] การเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนทั้งสองวิธีนอกจากจะส่งผลต่อโครงสร้างเซลล์แล้วยังส่งผลต่อการยึดติดกันระหว่างเซลล์ โดยเซลล์ที่ผ่านการลวกทั้งสองวิธีเกิดการสูญเสียการเชื่อมยึดติดกันระหว่างเซลล์เนื่องจากการสลายตัวของเพคตินในชั้น Middle Lamellar จากความร้อนในการเตรียมตัวอย่าง ส่งผลให้ชั้น Middle Lamellar สูญเสียความสามารถในการเชื่อมยึดเซลล์ [11-13] มีงานวิจัยผลที่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ ซึ่งรายงานโดย Llano *et al*. [12] และ Latorre *et al*. [14]




(a) (b) (c)

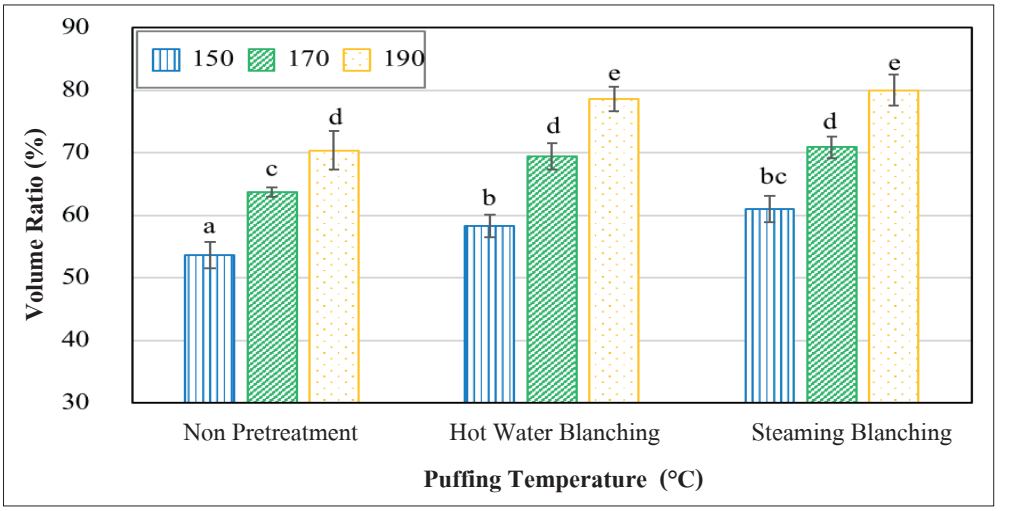
**ภาพที่ 1** ภาพถ่ายระดับจุลภาคของกล้วยน้ำว้าที่สภาวะต่างๆ (40x): (a) ไม่ผ่านการลวก; (b) ลวกน้ำร้อน; (c) นึ่งไอน้ำร้อน [CW คือ ผนังเซลล์; CA คือ บริเวณผนังเซลล์ที่ติดกัน; IS คือ ช่องว่างระหว่างเซลล์]

**2. อัตราส่วนปริมาตร**

การวิเคราะห์การหดตัวของกล้วยกรอบพิจารณาในเทอมของอัตราส่วนปริมาตร (Volume Ratio) กล้วยกรอบที่มีการหดตัวต่ำจะมีอัตราส่วนปริมาตรสูง [7] ภาพที่ 2 แสดงผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิการพองต่ออัตราส่วนปริมาตร กล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวกมีอัตราส่วนปริมาตรอยู่ระหว่าง 53.6-69.4 % โดยกล้วยกรอบที่ผ่านการทำให้พองด้วยอุณหภูมิ 150 °C มีอัตราส่วนปริมาตรต่ำที่สุด ส่วนกล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีมีอัตราส่วนปริมาตร 58.5-60.2 % ที่อุณหภูมิการพอง 150 °C การเตรียมตัวอย่างกล้วยด้วยความร้อนทั้งสองวิธีช่วยลดการหดตัวของกล้วยกรอบเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างในระดับอุณหภูมิเดียวกัน เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนทำให้โครงสร้างของเซลล์สูญเสียความแข็งแรง และทำให้ Middle Lamellar ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมยึดเซลล์เข้าด้วยกันเสื่อมสภาพ ดังนั้นเซลล์จึงเคลื่อนตัวออกห่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 1 (b) - (c) ด้วยสาเหตุนี้ทำให้โครงสร้างภายในของกล้วยมีความแน่นเนื้อลดลง ดังนั้นเมื่อนำกล้วยแผ่นมาทำให้พองด้วยอุณหภูมิสูงจึงเกิดการพองตัวได้ดีขึ้น มีงานวิจัยที่ให้ผลการทดลองสอดคล้องกันซึ่งรายงานโดย Varnalis *et al.* [5] อย่างไรก็ตาม Prachayawarakorn *et al.* [3] พบว่ากล้วยหอมกรอบที่เตรียมจากกล้วยสดที่มีความสุกระหว่าง 16-17 °Brix มีการหดตัวสูงเมื่อผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนก่อนอบแห้ง ผลการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนต่ออัตราส่วนปริมาตรที่แตกต่างกันระหว่างกล้วยหอมกรอบและกล้วยน้ำว้ากรอบอาจเนื่องจากกล้วยทั้งสองสายพันธุ์มีโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาที่แตกต่างกัน จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาแตกต่างกันหลังการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อน ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้กล้วยกรอบทั้งสองสายพันธุ์มีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปริมาตรแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิการพองต่ออัตราส่วนปริมาตร พบว่าเมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิช่วยให้กล้วยกรอบมีอัตราส่วนปริมาตรเพิ่มขึ้นเนื่องจากกล้วยกรอบมีการหดตัวลดลง การหดตัวที่ลดลงเนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิช่วยให้อุณหภูมิภายในกล้วยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ความชื้นในกล้วยมีอัตราการระเหยสูงขึ้นและก่อให้เกิดแรงดันไอน้ำมากขึ้น ซึ่งจะดันโครงสร้างภายในกล้วยให้เกิดการขยายตัวมากขึ้น [1, 6] เมื่อเปรียบเทียบผลของการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีต่อปริมาตรกล้วยกรอบพบว่ากล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียม

ตัวอย่างทั้งสองวิธีมีอัตราส่วนปริมาตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน อย่างไรก็ตาม การเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนทั้งสองวิธีช่วยให้กล้วยแผ่นมีการขยายตัวได้ดีขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจากระดับต่ำที่สุดไปถึงอุณหภูมิที่ 190 °C พบว่ากล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวก กล้วยที่ผ่านการลวกด้วยน้ำร้อน และนึ่งด้วยไอน้ำร้อนมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 29.3 36.3 และ 34.0 % ตามลำดับ



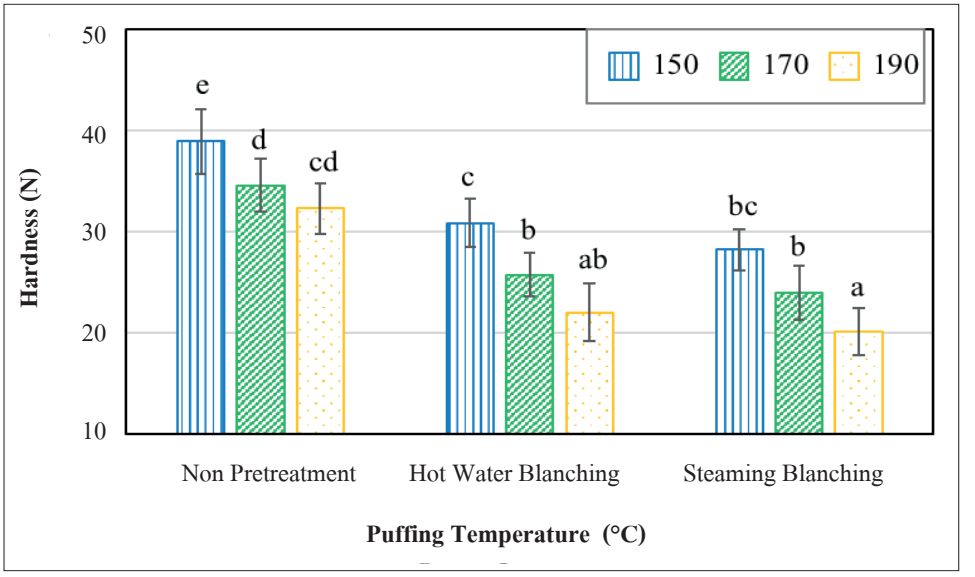

**ภาพที่ 2** ผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิการทำให้พองต่ออัตราส่วนปริมาตร

**3. เนื้อสัมผัส**

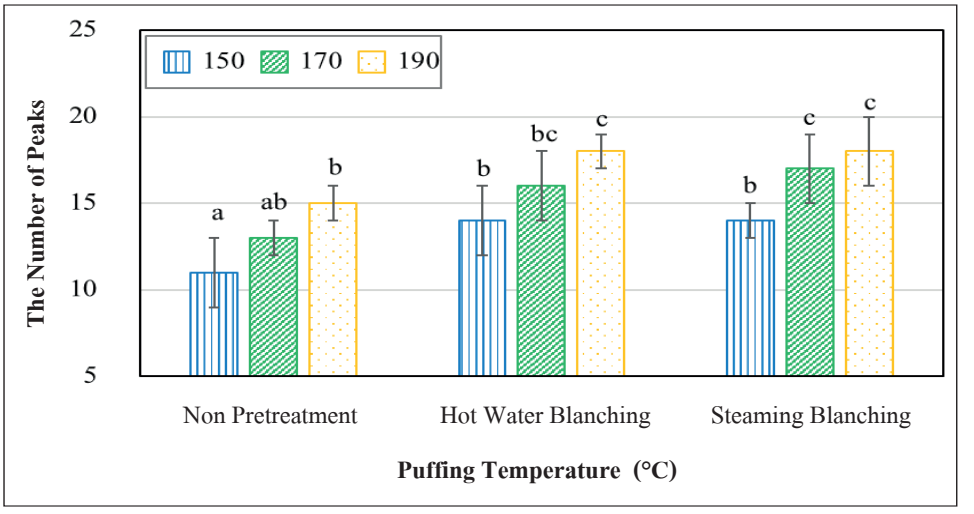
เนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบแสดงในเทอมของความแข็ง (Hardness) และจำนวนยอด (Number of Peaks) กล้วยกรอบจะมีความกรอบมากขึ้นเมื่อเนื้อสัมผัสมีความแข็งลดลงและจำนวนยอดสูงขึ้น [2, 15] ภาพที่ 3 a) และ ภาพที่ 3 b) แสดงผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิการพองต่อความแข็งและจำนวนยอดของกล้วยกรอบ ตามลำดับ กล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวกมีความแข็งของเนื้อสัมผัสระหว่าง 32.3–38.9 N และจำนวนยอดระหว่าง 11-15 ขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิการพอง เมื่อนำกล้วยแผ่นมาลวกหรือนึ่งสามารถช่วยลดความแข็งและเพิ่มจำนวนยอดของกล้วยกรอบได้อย่างมีนัยสำคัญ ค่าความแข็งที่ลดลงของกล้วยกรอบที่ผ่านการลวกเนื่องจากกล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีมีอัตราส่วนปริมาตรมากกว่ากล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง การหดตัวที่ลดลงทำให้โครงสร้างภายในของกล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีความพรุนตัวสูงขึ้นสอดคล้องกับรายงานของ Raikham *et al*. [6] พบว่ากล้วยกรอบที่มีอัตราส่วนปริมาตรสูงจะมีความพรุนตัวของโครงสร้างภายในกล้วยสูง เมื่อเปรียบเทียบวิธีการเตรียมตัวอย่างต่อเนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบพบว่าค่าความแข็งและจำนวนยอดของกล้วยกรอบทั้งสองวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน พารามิเตอร์ของเนื้อสัมผัสมีค่าไม่แตกต่างกันเนื่องจากกล้วยกรอบทั้งสองกลุ่มมีอัตราส่วนปริมาตรไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งกล้วยทั้งสองกลุ่มมีลักษณะทางสัณฐานวิทยาภายหลังการเตรียมตัวอย่างที่คล้ายคลึงกัน

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิต่อความแข็งและจำนวนยอดของกล้วยกรอบ พบว่ากล้วยกรอบทุกกลุ่มมีความแข็งสูงสุดและจำนวนยอดต่ำสุดเมื่อที่อุณหภูมิ 150 °C เมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิเป็น 190 °C ทำให้กล้วยกรอบมีความแข็งที่ลดลงและจำนวนยอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเนื่องจาก

กล้วยกรอบที่ด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีการหดตัวลดลงและมีความพรุนตัวสูงขึ้น เป็นที่สังเกตว่าการเพิ่มระดับอุณหภูมิการทำให้พองตัวส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์เนื้อสัมผัสของกล้วยที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมากกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง กล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง กล้วยที่ผ่านการลวกและการนึ่งมีความแข็งลดลง 17.0 28.7 และ 28.9 % ตามลำดับ ส่วนจำนวนยอดพบว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการลวก กล้วยที่ผ่านการลวกและการนึ่งมีจำนวนยอดเพิ่มขึ้น 36.3 42.8 และ 42.8 % ตามลำดับ

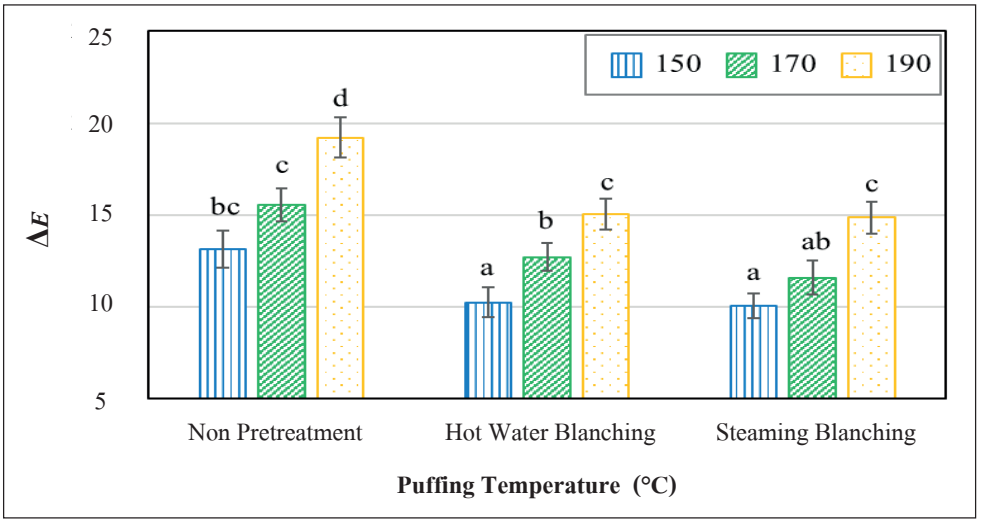



(a)

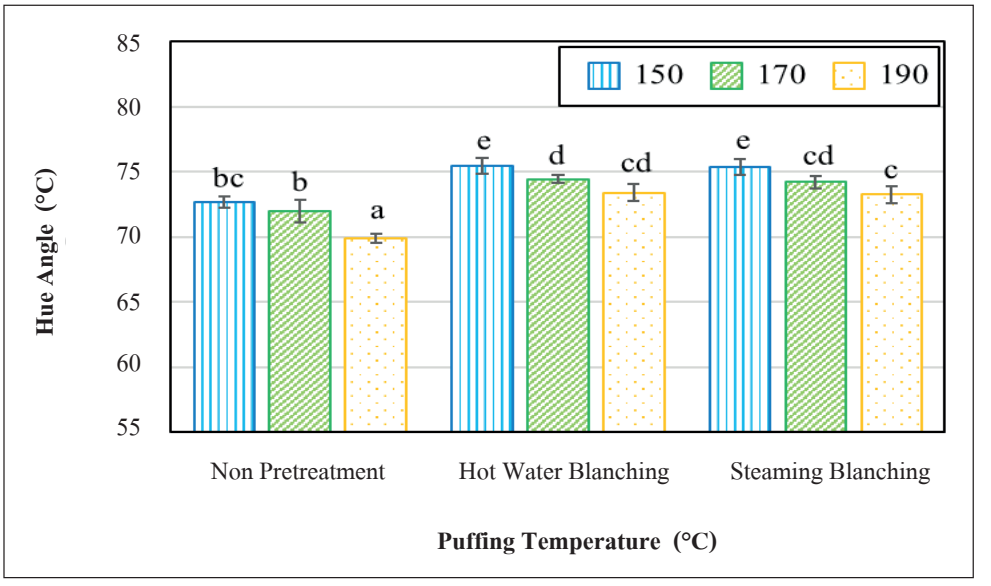



(b)

**ภาพที่ 3** ผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิการทำให้พองต่อ (a) ความแข็ง และ (b) จำนวนยอด




(a)




(b)

**ภาพที่ 4** ผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิการทำให้พองต่อ (a) ค่า $\Delta E$ และ (b) ค่า Hue angle

**4. สี**

สีของกล้วยน้ำว้ากรอบพิจารณาในเทอมของการเปลี่ยนแปลงของค่าสี ($\Delta E$) และ Hue Angle ถ้าผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบมีค่า $\Delta E$ สูง และ Hue Angle ต่ำ บ่งบอกว่ากล้วยกรอบอบแห้งเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมาก [3, 15] ภาพที่ 4 (a) และ ภาพที่ 4 (b) แสดงผลของการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนและอุณหภูมิต่อค่า $\Delta E$ และค่า Hue Angle ตามลำดับ กล้วยที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีสีเหลืองครีมอมสีแดง การลวกด้วยน้ำร้อนและนึ่งด้วยไอน้ำร้อนช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยกรอบ กล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธี

มีสีเหลืองทองเหมือนกันทั้งสองกลุ่มเมื่อใช้อุณหภูมิการพองที่ 150 °C ลักษณะสีของกล้วยที่เกิดขึ้นส่งผลให้กล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีค่า $\Delta E$ และ Hue Angle เท่ากับ 13.2 และ 72.7 ตามลำดับ ส่วนกล้วยที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีค่า $\Delta E$ และ Hue Angle เท่ากับ 10.0-10.4 และ 75.3-75.7 ตามลำดับ การเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากการเตรียมตัวอย่างด้วยความร้อนสามารถลดค่า Enzyme Activity ของกล้วยสดก่อนแปรรูปดังแสดงในตารางที่ 1 การลวกกล้วยแผ่นด้วยน้ำร้อนและนึ่งด้วยไอน้ำร้อนสามารถลด PPO Activity ลงได้ 91.2 และ 92.0 % ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง ส่วนค่า POD Activity พบว่าการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีลดค่า POD Activity ได้ 100% เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยที่ผ่านการเตรียมตัวอย่าง Liu *et al.* [4] ศึกษาผลของการลวกด้วยน้ำร้อนและนึ่งด้วยไอน้ำร้อนต่อค่า POD Activity ของมันฝรั่งอบแห้งพบว่าให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับงานวิจัยนี้ เมื่อใช้ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้กล้วยกรอบทุกกลุ่มเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น โดยกล้วยที่ไม่ผ่านการเตรียมตัวอย่างมีสีเหลืองครีมอมน้ำตาลเข้ม ส่วนกล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีมีสีเหลืองทองอมแดงเมื่อใช้อุณหภูมิการพองที่ 190 °C ลักษณะของสีกล้วยกรอบที่ได้อาจส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบได้ การเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นส่งผลให้กล้วยทุกกลุ่มมีค่า $\Delta E$ เพิ่มขึ้นและมีค่า Hue Angle ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างกล้วยที่เตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีพบว่ากล้วยกรอบมีค่า $\Delta E$ และค่า Hue Angle ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับอุณหภูมิเดียวกัน กล้วยทั้งสองกลุ่มมีคุณภาพสีไม่แตกต่างกันเนื่องจากค่า Enzyme Activity ของกล้วยทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน

**ตารางที่ 1** ค่า Enzyme Activity ของกล้วยสดก่อนการแปรรูปที่สภาวะการเตรียมตัวอย่างต่างๆ

| Pretreatment Conditions | Polyphenol Oxidase (PPO) Activity (unit/g) | Peroxidase (POD) Activity (unit/g) |
|---|---|---|
| None Pretreatment | 0.374 | 0.015 |
| Hot Water Blanching | 0.033 | 0.000 |
| Steaming Blanching | 0.030 | 0.000 |

## สรุปผลการวิจัย

การลวกด้วยน้ำร้อนและการนึ่งด้วยไอน้ำร้อนช่วยลดความแข็งของเนื้อสัมผัสของกล้วยสดก่อนการอบแห้ง ดังนั้นกล้วยจึงมีการขยายปริมาตรได้ดีขึ้นในขั้นตอนการทำให้พอง กล้วยกรอบที่ได้จึงมีการหดตัวลดลงและมีความกรอบมากขึ้น การเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีช่วยปรับปรุงคุณภาพสีของกล้วยกรอบได้เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธีสามารถลดค่า Enzyme Activity ของกล้วยสด ส่งผลให้กล้วยกรอบหลังการอบแห้งเกิดสีน้ำตาลลดลง อย่างไรก็ตามไม่พบความแตกต่างของคุณภาพกล้วยกรอบที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างทั้งสองวิธี การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นช่วยลดการหดตัวและลดความแข็งของกล้วยกรอบ แต่กล้วยกรอบเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น ดังนั้นก่อนการแปรรูป จึงควรพรีทรีทกล้วยน้ำว้าสดก่อนแปรรูปด้วยความร้อนจากการลวกหรือการนึ่งไอน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพกล้วยกรอบให้ดีขึ้นและใช้อุณหภูมิการพองไม่เกิน 170 °C

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ทุนสนับสนุนตามสัญญาหมายเลข “KMUTNB-60-GOV-041” โครงการศาสตราจารย์วิจัยดีเด่น ศ.ดร. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (Grant No. DPG 5980004) โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ทดลองบางส่วนในงานวิจัยนี้

## References

[1] Hofsetz, K., Lopez, C. C., Hubinger, M.D., Mayor, L., & Sereno, A. M. (2007). Change in the physical properties of bananas on applying HTST pulse during air-drying. *Journal of Food Engineering*, *83*(4), 531–540. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2007.04.003.

[2] Tabtiang, S., Prachayawarakorn, S., & Soponronnarit, S. (2012). Effects of osmotic treatment and superheated steam puffing temperature on drying characteristics and texture properties of banana slices. *Drying Technology, 30*(1), 20–28. DOI:10.1080/07373937.2011.613554.

[3] Prachayawarakorn, S., Raikham, C., & Soponronnarit, S., (2016). Effects of ripening stage and steaming time on quality attributes of fat free banana snack obtained from drying process including fluidized bed puffing. *Journal of Food Science and Technology, 53*(2), 946–955. DOI: 10.1007/s13197-015-2051-5.

[4] Liu, P., Mujumdar, A. S., Zhang, M., & Jiang, H. (2015). Comparison of three blanching treatments on the color and anthocyanin level of the microwave-assisted spouted bed drying of purple flesh sweet potato. *Drying Technology, 33*(1), 66–71. DOI:10.1080/07373937. 2014.936558.

[5] Varnalis, A. I., Brennan, J. G., & MacDougall, D. B. (2001). A proposed mechanism of high- temperature puffing of potato. Part I. The influence of blanching and drying conditions on the volume of puffed cubes. *Journal of Food Engineering, 48*(4), 361–367. DOI: 10.1016/ S0260-8774(00)00197-7.

[6] Raikham, C., Prachayawarakorn, S., Nathakaranakule, A., & Soponronnarit, S. (2015). Influences of pretreatments and drying process including fluidized bed puffing on quality attributes and microstructural changes of banana slices. *Drying Technology, 33*(8), 915–925. DOI: 10.1080/07373937.2014.999370.

[7] Tabtiang, S., Prachayawarakorn, S., & Soponronnarit, S. (2017). Optimum condition of producing crisp osmotic banana using superheated steam puffing. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 97*(4), 1244–1251. DOI: 10.1002/jsfa.7857.

[8] Kuljarachanan, T., Chiewchan, N., & Devahastin, S. (2019). Profiles of major glucosinolates in different parts of white cabbage and their evolutions during processing into vegetable powder by various methods. *International Food Research Journal, 26*(6), 1763–1772.

[9] Prasanna, V., Prabha, T. N. & Tharanathan, R. N., (2007). Fruit ripening phenomena–An overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 47*(1), 1–19. DOI:10.1080/ 10408390600976841.

[10] Nieto, A. Castro, M. A., & Alzamora, S. M. (2001). Kinetics of moisture transfer during air drying of blanched and/or osmotically dehydrated mango. *Journal of Food Engineering, 50*(3), 175–185. DOI: 10.1016/S0260-8774(01)00026-7.

[11] Ghaouth, A. E., Arul, J., Ponnampalam, R., & Boulet, M. (1991). Use of chitosan coating to reduce water loss and maintain quality of cucumber and bell pepper fruits. *Journal of Food Processing and Preservation, 15*(5), 359–369. DOI: 10.1111/j.1745-4549.1991.tb00178.x.

[12] Llano, K. M., Haedo, A. S., Gerschenson, L. N., & Rojas, A. M. (2003). Mechanical and biochemical response of kiwifruit tissue to steam blanching. *Food Research International, 36*(8), 767–775. DOI:10.1016/S0963-9969(03)00071-1.

[13] Roy, S. S., Taylor, T. A., & Kramer, H. L. (2001). Textural and ultrastructural changes in carrot tissue as affected by blanching and freezing. *Journal of Food Science, 66*(1), 176–180. DOI:10.1111/j.1365-2621.2001.tb15602.x.

[14] Latorre, E. M., de Escalada Plá, M. F., Rojas, A. M., & Gerschenson, L. N. (2013). Blanching of red beet (*Beta vulgaris* L. var. conditiva) root. Effect of hot water or microwave radiation on cell wall characteristics. *LWT-Food Science and Technology, 50*(1), 193–203. DOI; 10.1016 /j. lwt.2012.06.004.

[15] Tabtiang, S., & Prachayawarakorn, S. (2017). Effects of banana ripeness and puffing temperature on puffed banana qualities and drying time. *International Journal of Agricultural Technology, 13*(2), 281–292.

[16] Purlis, E. (2010). Browning development in bakery product–A review. *Journal of Food Engineering, 99*(3), 239–249. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2010.03.008.