

บทความวิจัย

ผลของระยะเวลาการลวกด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิพuffing ต่อเวลาการอบแห้งและคุณภาพของกล้วยกรอบ

Effects of Microwave Blanching Time and Puffing Temperature on Drying Time and Qualities of Crisp Banana

สุรพิชญ์ ทับเที่ยง^{1*}, สุวิทย์ แพงกันยา² และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์³
Surapit Tabtiang^{1*}, Suwit Paengkanya² and Somchart Soponronnarit³

Received: July 3, 2020

Revised: October 21, 2020

Accepted: October 26, 2020

บทคัดย่อ

การพuffing ด้วยอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาสั้นถูกนำมาแปรรูปกล้วยกรอบ อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิสูงทำให้กล้วยกรอบมีสีน้ำตาลคล้ำมาก การพuffing โดยการใช้ไมโครเวฟเป็นวิธีการใหม่ที่ถูกนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพสีของอาหาร ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจศึกษาผลของการเวลาลวกด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิพuffing ต่อคุณภาพกล้วยกรอบและเวลาการอบแห้ง โดยนำกล้วยน้ำว้าสดที่มีความหนา 2.5 มิลลิเมตร มาลวกด้วยไมโครเวฟกำลัง 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 และ 2 นาที แล้วนำมาแปรรูป 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกอบแห้งกล้วยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จากนั้นนำกล้วยมาพuffing โดยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 - 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ขั้นตอนสุดท้ายนำกล้วยมาอบแห้งเหมือนขั้นตอนแรกจนกระทั่งความชื้นเหลือไม่เกินร้อยละ 4 ฐานแห้ง แล้วนำกล้วยกรอบมาวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ผลการทดลองพบว่าการลวกด้วยไมโครเวฟช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลของกล้วยกรอบเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวก อย่างไรก็ตามการลวกทำให้กล้วยกรอบมีอัตราส่วนปริมาตรลดลงจึงส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีความแข็งมากขึ้น การลวกด้วยไมโครเวฟนานขึ้นไม่ส่งผลต่อคุณภาพกล้วยกรอบอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มระดับอุณหภูมิพuffing ช่วยให้กล้วยกรอบมีเนื้อสัมผัสที่แข็งลดลงแต่กล้วยกรอบมีคุณภาพสีด้อยลง ระยะเวลาการอบแห้งนานขึ้นเมื่อกล้วยผ่านการลวกและใช้ระดับอุณหภูมิพuffing ต่ำ

คำสำคัญ: การลวกด้วยไมโครเวฟ, กล้วยกรอบไร้ไขมัน, สี, เนื้อสัมผัส

ABSTRACT

Use of a high temperature and a short time for puffing could be produced a puffed banana, however, the high temperature during puffing promoted an intensive brown color on the puffed banana. Microwave blanching is a new pretreatment method for improving color quality of dried products. Therefore, the objective of this work was to study effects of microwave blanching time and puffing temperature on the drying time and qualities of puffed Namwa-banana chips. The 2.5 mm banana slices were blanched by microwave power at 600 W for 1 and 2 min, and dried by hot air at 90 °C After that the samples were puffed by hot air at 150 - 190 °C for 2 min, and dried by HA again until the initial moisture contents reached 4% dry basis. The qualities of dried banana chips were analyzed. The results showed that microwave blanching could reduce browning color of puffed banana. However, the microwave blanching provided lower volume ratio and harder texture of puffed banana. Increasing blanching time did not significantly affect the dried products. Higher puffing temperature of dried banana chips gave more browning color and lower value of hardness. Lower level of puffing temperature and microwave blanching pretreatment led to longer drying time.

Keywords: Microwave blanching, Fat free crisp banana, Colour, Texture.

*Corresponding author e-mail: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800

³สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

บทนำ

กล้วยน้ำว้าเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมบริโภคทั่วไป โดยการบริโภคนิยมรับประทานในรูปแบบกล้วยน้ำว้าสด อย่างไรก็ตามกล้วยน้ำว้าเป็นผลไม้ที่เน่าเสียเร็วหลังการเก็บเกี่ยว เพื่อแก้ปัญหาจึงนำกล้วยมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น กล้วยทอดกรอบ กล้วยบด กล้วยตากแห้ง โดยเฉพาะกล้วยทอดกรอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมซึ่งแปรรูปโดยการทอดด้วยน้ำมัน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำมันคงค้างซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจต่อสุขภาพ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้จึงนำกล้วยสดมาแปรรูปโดยใช้การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำ (70-90 องศาเซลเซียส) ร่วมกับพuffing ด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิสูงด้วยระยะเวลาสั้น

เทคนิคพuffing เป็นวิธีทางเลือกหนึ่งสำหรับแปรรูปผลิตภัณฑ์อาหารกรอบ เทคนิคนี้ใช้อุณหภูมิสูงระหว่าง 160-220 องศาเซลเซียส ด้วยระยะเวลาสั้น 1.5-2.5 นาที [1, 2] เมื่อนำอาหารมาพuffing ด้วยอุณหภูมิสูงจะทำให้อุณหภูมิในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจึงช่วยให้เกิดการระเหยเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว ไอน้ำความดันสูงจะดันโครงสร้างภายในทำให้ปริมาตรอาหารเกิดการขยายตัวและเพิ่มความพรุนตัวของโครงสร้างอาหาร ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาหารมีความกรอบมาก [3, 4] เมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิพuffing ให้สูงขึ้นจะช่วยให้กล้วยกรอบมีปริมาตรมากขึ้นและกรอบมากขึ้น [1, 4] อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบที่แปรรูปด้วยเทคนิคพuffing มักมีสีน้ำตาลคล้ำและไหม้บางส่วนเนื่องจากกล้วยสัมผัสอุณหภูมิสูง เพื่อแก้ปัญหาการพuffing ด้วยการลวกน้ำร้อนหรือการนึ่งก่อนการแปรรูปจึงช่วยลดการเกิดสีน้ำตาลคล้ำ [2, 5] การลวกด้วยน้ำร้อนหรือการนึ่งเป็นวิธีการจัดการก่อนการแปรรูปอาหารที่นิยมใช้ อย่างไรก็ตามวิธีการจัดการก่อนการแปรรูปอาหารดังกล่าวใช้เวลาและมีการสูญเสียสารอาหารมาก

การลวกด้วยไมโครเวฟ (microwave blanching) เป็นทางเลือกใหม่ของการพuffing อาหารก่อนอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ Ruiz and Penas [6] รายงานว่าการลวกด้วยไมโครเวฟลดความแน่นเนื้อ (firmness) ของกล้วย

เขียวได้ เนื่องจากการลวกด้วยไมโครเวฟทำให้เพคตินใน middle lamellar เกิดการเสื่อมสลายซึ่งลดความแข็งของเนื้อสัมผัส red beet สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ Liburdi et al. [7] พบว่าการลวกมันฝรั่งด้วยไมโครเวฟช่วยลดค่า firmness ของมันฝรั่งได้ นอกจากนี้ Liu et al. [5] รายงานว่าการลวกก่อนการแปรรูปด้วยไมโครเวฟสามารถกำจัดเอนไซม์ในเนื้อของมันเทศได้เร็วกว่าการลวกน้ำร้อนและการนึ่ง เพราะไมโครเวฟสามารถแทรกซึมเข้าไปในเนื้อของมันฝรั่ง ดังนั้นอุณหภูมิของมันฝรั่งจึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ทำให้ enzyme activity ลดลง นอกจากนี้การลวกด้วยไมโครเวฟใช้เวลาในพuffing สั้นกว่าจึงทำให้มันฝรั่งมีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าการลวกด้วยวิธีอื่น จากข้อมูลของงานวิจัยผลของการลวกด้วยไมโครเวฟต่ออาหารที่ได้ พบว่าไมโครเวฟช่วยลดค่า firmness และลดการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงคาดว่า การลวกด้วยไมโครเวฟจะช่วยให้กล้วยกรอบมีปริมาตรมากขึ้นและมีการเกิดสีน้ำตาลลดลง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของเวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิพuffing ที่มีต่อลักษณะการอบแห้งและคุณภาพของแผ่นกล้วยน้ำว้ากรอบ โดยพิจารณาคุณภาพของกล้วยน้ำว้ากรอบในเทอมของสี อัตราส่วนปริมาตรและเนื้อสัมผัส

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างกล้วยแผ่น

การทดลองใช้กล้วยน้ำว้าสด (*Musa sapientum* Linn. (ABB group)) ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำได้ในช่วง 21-22 องศาบริกซ์ สีของเปลือกกล้วยมีสีเหลืองอมเขียวเล็กน้อย มาหาความชื้นเริ่มต้นด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง [1, 2] จากนั้นนำกล้วยสดมาปอกเปลือกและหั่นโดยใช้เครื่องหั่น (Savioli, รุ่น 250S, Thailand) ด้วยความหนา 2.5 มิลลิเมตร แบ่งกล้วยเป็นสองกลุ่ม กลุ่มแรกคือกล้วยแผ่นที่ไม่ผ่านการลวกก่อนการแปรรูป กลุ่มที่สองนำกล้วยแผ่นให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟโดยไม่ใส่น้ำประมาณ 30 วินาทีครั้ง ที่ความถี่คลื่น 2,450

*Corresponding author e-mail: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800

³สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

เมกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้เตาอบไมโครเวฟ (Samsung, รุ่น MG23F301EAS, Thailand) ที่กำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 และ 2 นาที

2. การอบแห้ง

การอบแห้งกล้วยใช้กระบวนการอบแห้งแบบหลายขั้นตอน ขั้นตอนแรกนำกล้วยแผ่นมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนดังแสดงใน Figure 1 โดยเครื่องอบแห้งนี้ประกอบด้วยห้องอบแห้งขนาด 52 x 52 x 52 ลูกบาศก์เซนติเมตร พัดลมชนิดแรงเหวี่ยงโค้งหน้ามีขนาดมอเตอร์ 2.2 กิโลวัตต์ ควบคุมอัตราการไหลของอากาศโดยใช้อินเวอร์เตอร์ และฮีตเตอร์ ขนาด 3,000 กิโลวัตต์ ควบคุมอุณหภูมิใช้ระบบ PID (A proportional–integral – derivative controller) (ยี่ห้อ HITACHI รุ่น J100

ความละเอียด ± 1 องศา) โดยดำเนินการอบแห้งที่เงื่อนไขอุณหภูมิลมร้อน 90 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที และใช้อากาศ หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ ร้อยละ 80 โดยอบแห้งจนกระทั่งตัวอย่างมีความชื้นร้อยละ 3 ฐานแห้ง ขั้นตอนต่อไปนำกล้วยแผ่นมาพัพฟิงด้วยเครื่องพัพฟิง ลมร้อนที่อุณหภูมิ 150 170 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ขั้นตอนสุดท้ายนำตัวอย่างกล้วยอบแห้งอีกครั้งโดยใช้เงื่อนไขเดียวกันกับขั้นตอนแรกจนกระทั่งกล้วยแผ่นเหลือความชื้นสุดท้ายไม่เกินร้อยละ 4 ฐานแห้ง สำหรับการเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างวัดโดยนำถาดบรรจุกล้วยแผ่นออกมาชั่งน้ำหนักภายนอกห้องอบแห้งด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Sartorius, รุ่น CP3202S, Germany) มีค่าความถูกต้อง ± 0.01 กรัม

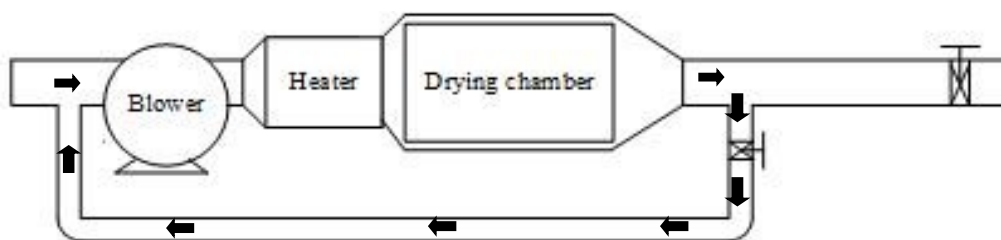


Figure 1 Schematic diagram of a hot air equipment.

3. การวัดสี

สีผิวของกล้วยอบแห้งวัดโดยใช้เครื่อง Colorimeter (HunterLab Reston, รุ่น ColorFlex, VA, USA) ที่แหล่งของแสง D65 และมุมมอง 10° การวัดสีของแผ่นกล้วยแสดงอยู่ในค่าของ L (ความสว่าง/ความมืด), a (+สีแดง/-สีเขียว) และ b (+สีเหลือง/-สีน้ำเงิน) ก่อนการ

วัดสีของตัวอย่างอบแห้งต้องปรับเทียบเครื่องด้วยแผ่นสีขาวและแผ่นสีดำมาตรฐานก่อนเสมอ ซึ่งดำเนินการตามงานวิจัยของ Tabtiang et al. [1] โดยดำเนินการวัดค่าสีของตัวอย่างทั้งหมด 20 ชิ้น ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองแล้วนำมาหาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ของแผ่นกล้วยน้ำว้าอบแห้งจากสมการ (1)

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (1)$$

เมื่อ	L_0 และ L	คือ ค่าความสว่างของสีของกล้วยแผ่นก่อนและหลังการอบแห้ง ตามลำดับ
	a_0 และ a	คือ ค่าสีแดงของกล้วยแผ่นก่อนและหลังการอบแห้ง ตามลำดับ
	b_0 และ b	คือ ค่าสีเหลืองของกล้วยแผ่นก่อนและหลังการอบแห้ง ตามลำดับ

*Corresponding author e-mail: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

¹Department of Social and Applied Science, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

²Sustainable Industrial Management Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10800

³School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10400

4. การวัดอัตราส่วนปริมาตร

การวัดอัตราส่วนปริมาตรของแผ่นกล้วยน้ำว้ากรอบสามารถหาโดยใช้วิธีการแทนที่ด้วยของแข็ง (solid replacement method) โดยของแข็งที่ใช้ คือ glass beads ดำเนินการตามงานวิจัยของ Tantong et al. [3] การหาปริมาตรของกล้วยแผ่นดำเนินการโดยเท glass beads ลงในกระป๋องอะลูมิเนียมประมาณครึ่งหนึ่งของกระป๋อง

จากนั้นวางแผ่นตัวอย่างกล้วยจำนวน 3 แผ่น ลงในกระป๋องอะลูมิเนียม แล้วจึงเท glass beads ลงในกระป๋องอะลูมิเนียมอีกครั้งจนเต็มกระป๋อง นำไปชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผล การหาปริมาตรของตัวอย่างดำเนินการทั้งหมด 20 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย โดยปริมาตรของตัวอย่างสดและตัวอย่างอบแห้ง (V) สามารถหาได้จากสมการ (2)

$$V = \frac{M_b - [M_{S+b} - M_v - M_s]}{\rho_b} \quad (2)$$

เมื่อ M_b คือ น้ำหนักของกระป๋องอะลูมิเนียม และ glass beads (กรัม)
 M_v คือ น้ำหนักของกระป๋องอะลูมิเนียมเปล่า (กรัม)
 M_{S+b} คือ น้ำหนักรวมของกระป๋องอะลูมิเนียม กล้วยแผ่น และ glass beads (กรัม)
 M_s คือ น้ำหนักของกล้วยแผ่น (กรัม)
 ρ_b คือ ความหนาแน่นของ glass beads (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

โดยอัตราส่วนปริมาตรของกล้วยแผ่นน้ำว้าสามารถคำนวณหาได้จากสมการ (3)

$$\text{Volumetric ratio} = \frac{V}{V_0} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ V_0 คือ ปริมาตรของแผ่นกล้วยก่อนการอบแห้ง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)
 V คือ ปริมาตรของแผ่นกล้วยหลังการอบแห้ง (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

5. การวัดเนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสของแผ่นกล้วยน้ำว้าอบแห้งในงานวิจัยนี้พิจารณาในเทอมของค่าความแข็งและค่าความกรอบ (จำนวนยอด) เนื้อสัมผัสของตัวอย่างอบแห้งวัดโดยใช้เครื่อง Texture analyzer (Stable Micro System, รุ่น TA.XT. Plus, Surrey, UK) การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของตัวอย่างอบแห้งดำเนินการโดยวางกล้วยกรอบอบแห้งลงบนฐานวางตัวอย่างโดยใช้หัวกดเป็นแบบหัวตัด (HDP-BSK) การทดสอบใช้ความเร็วหัวตัด 2 มิลลิเมตรต่อวินาที ค่าความแข็งและค่าจำนวนยอดของตัวอย่างอบแห้งวิเคราะห์จาก force-deformation curve ซึ่งดำเนินการตามงานวิจัยของ Tabtiang et al. [1] การทดสอบใช้

ตัวอย่างจำนวน 20 ชิ้น ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองและนำมาหาค่าเฉลี่ย

6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

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

*Corresponding author e-mail: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800

³สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

ผลการทดลอง และวิจารณ์

1. สี

สีของกล้วยน้ำว้ากรอบพิจารณาในเทอมของค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (ΔE) ถ้า ΔE มีค่ามากแสดงว่าผลิตภัณฑ์ก่อให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมาก [3] Table 1 แสดงผลของเวลาการลวกด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิพัฟฟิงต่อค่า ΔE ของกล้วยกรอบ กล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวกมีค่า ΔE สูงกว่ากล้วยกรอบที่ลวกด้วยไมโครเวฟก่อนแปรรูปในทุกระดับอุณหภูมิพัฟฟิง กล้วยกรอบมีค่า

ΔE ต่ำที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิพัฟฟิงที่ 150 องศาเซลเซียส เนื่องจากกล้วยมีสีเหลืองอมแดง เมื่อระดับอุณหภูมิพัฟฟิงสูงขึ้นทำให้กล้วยแผ่นเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น โดยกล้วยกรอบที่ได้มีสีเหลืองมน้ำตาลส่งผลให้ค่า ΔE สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มระดับอุณหภูมิพัฟฟิงสูงขึ้นส่งผลให้กล้วยกรอบเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นเนื่องจากระดับอุณหภูมิพัฟฟิงที่สูงขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เกี่ยวข้อง กับเอนไซม์ [2, 8]

Table 1 Effects of microwave blanching time and puffing temperature on ΔE

Pretreatment conditions	Puffing temperature (°C)	ΔE
Non pretreatment	150	8.1±1.0 ^c
	170	10.3±0.7 ^d
	190	13.0±1.4 ^e
Microwave (1 min)	150	6.5±0.8 ^{ab}
	170	7.2±1.2 ^{bc}
	190	8.7±1.0 ^{cd}
Microwave (2 min)	150	6.1±0.7 ^a
	170	6.8±0.5 ^{ab}
	190	7.0±1.1 ^{bc}

* The different letters in the same column of the table mean a significant difference ($p < 0.05$).

เมื่อกล้วยผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟก่อนแปรรูปพบว่ากล้วยกรอบเกิดสีน้ำตาลลดลง กล้วยกรอบที่ได้มีสีเหลืองในทุกระยะเวลาการลวกและทุกระดับอุณหภูมิพัฟฟิง ยกเว้นการลวกที่ 1 นาที และพัฟฟิงที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส พบว่ากล้วยแผ่นมีสีเหลืองมน้ำตาลส่งผลให้ค่า ΔE สูงกว่ากล้วยกรอบที่สภาวะอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ การลวกด้วยไมโครเวฟสามารถลดการเกิดสีน้ำตาลของผลิตภัณฑ์ได้เนื่องจากการลวกด้วยไมโครเวฟช่วยลด polyphenol oxidase activity

ในเนื้อกล้วยสดก่อนแปรรูป ดังแสดงใน Table 2 โดยการลวกด้วยไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 1 และ 2 นาทีสามารถลดค่า polyphenol oxidase activity ได้ร้อยละ 84.1 และ 85.1 ตามลำดับ ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์มาเกี่ยวข้องได้ลดลง อย่างไรก็ตามผลของเวลาการลวกด้วยไมโครเวฟไม่ส่งผลกระทบต่อค่า ΔE ของผลิตภัณฑ์ โดยงานวิจัยของ Lui et al. [5] รายงานผลการทดลองที่สอดคล้องกับผลของรายงานวิจัยนี้

*Corresponding author e-mail: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

¹Department of Social and Applied Science, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

²Sustainable Industrial Management Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10800

³School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10400

Table 2 Polyphenol oxidase activity of banana after microwave pretreatment and firmness of dried banana after first drying stage (90 °C)

Pretreatment conditions	Polyphenol oxidase activity (units/g of protein)	Firmness (N)
Non pretreatment	0.395±0.031 ^b	9.11±0.88 ^a
Microwave (1 min)	0.065±0.008 ^a	14.26±1.28 ^b
Microwave (2 min)	0.059±0.009 ^a	15.13±1.18 ^b

* The different letters in the same column of the table mean a significant difference ($p < 0.05$).

2. อัตราส่วนปริมาตร

Table 3 แสดงค่าอัตราส่วนปริมาตรของกล้วยกรอบที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิพัพฟิงตามเงื่อนไขต่างๆ กล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวกมีอัตราส่วนปริมาตรสูงกว่ากล้วยกรอบที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟที่ระดับอุณหภูมิพัพฟิงเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญ กล้วยกรอบมีอัตราส่วนปริมาตรลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟ การลวกด้วยไมโครเวฟทำให้การขยายตัวของปริมาตรในขณะพัพฟิงลดลง เนื่องจากการลวกด้วยไมโครเวฟทำให้โปรโตพลาสซึม (protoplasm) บางส่วนรวมตัวกันบริเวณผนังเซลล์ ลักษณะดังกล่าวช่วยเพิ่มความหนาให้ผนังเซลล์และอาจช่วยเพิ่มความเหนียวให้แก่เซลล์ [9] สอดคล้องกับผลการทดสอบค่า firmness ของกล้วยแผ่นหลังอบแห้งในช่วงแรกด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พบว่ากล้วยที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟมีค่า firmness สูงกว่ากล้วยแผ่นที่ไม่ผ่านการลวกอย่างมีนัยสำคัญ ค่า firmness ของกล้วยแผ่นที่ผ่านการลวกมีค่าสูงขึ้นแสดงว่าเซลล์ของกล้วยแผ่นมีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้นี้มีความแตกต่างจากรายงานวิจัยของ Ruiz and Penas [6] และ Libuidi et al. [7] ค่า firmness ของกล้วยแผ่นที่ผ่านการลวกที่สูงส่งผลให้การขยายตัวของปริมาตรกล้วยในระหว่างขั้นตอนพัพฟิงลดลง ดังนั้นกล้วยกรอบจึงมีอัตราส่วนปริมาตรลดลง เมื่อเพิ่มระยะเวลาการลวกให้นานขึ้นพบว่าไม่ส่งผลต่อการลดลงของอัตราส่วนปริมาตรอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิพัพฟิงต่ออัตราส่วนปริมาตร อัตราส่วนปริมาตรของกล้วยกรอบมีค่าต่ำที่สุดเมื่อใช้อุณหภูมิพัพฟิงที่ 150 องศาเซลเซียส ในทุกสภาวะของการลวกก่อนการแปรรูป การเพิ่มอุณหภูมิการพัพฟิงทำให้อัตราส่วนปริมาตรของกล้วยกรอบเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิพัพฟิงสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิของตัวอย่างกล้วยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ลักษณะดังกล่าวทำให้น้ำในกล้วยมีอัตราการระเหยสูงขึ้นและก่อให้เกิดความดันไอสูงมากขึ้น ความดันไอน้ำที่ได้จะออกแรงดันให้โครงสร้างภายในกล้วยเกิดการขยายตัวมากขึ้น [2, 10]

3. เนื้อสัมผัส

เนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบแสดงในเทอมของค่าความแข็ง (hardness) และค่าจำนวนยอด (number of peaks) กล้วยกรอบจะมีความกรอบมากขึ้นเมื่อความแข็งลดลงและจำนวนยอดสูงขึ้น [11, 12] Table 4 แสดงค่าความแข็งและค่าจำนวนยอดของกล้วยกรอบที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟและอุณหภูมิพัพฟิงตามเงื่อนไขต่างๆ กล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวกมีเนื้อสัมผัสที่แข็งน้อยกว่าและจำนวนยอดมากกว่ากล้วยกรอบที่ผ่านการลวกที่ระดับอุณหภูมิพัพฟิงเดียวกันเนื่องจากกล้วยกรอบมีอัตราส่วนปริมาตรสูงกว่ากล้วยที่ผ่านการลวก Yi et al. [13] รายงานว่าอัตราส่วนปริมาตรมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของแก้วม้งกรอบแห้ง เมื่อแก้วม้งกรอบแห้งมีปริมาตรมากขึ้นจะทำให้มีความหนาแน่นลดลง ดังนั้นโครงสร้างภายในกล้วยที่มีอัตราส่วนปริมาตรมากจึงมีความพรุนตัวสูงขึ้นส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีความแข็งลดลง

*Corresponding author e-mail: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

¹Department of Social and Applied Science, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

²Sustainable Industrial Management Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10800

³School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10400

เมื่อกล้วยผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟพบว่าเนื้อสัมผัสที่แข็งมากขึ้นและจำนวนยอดลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวกในระดับอุณหภูมิที่พืพียงเดียวกัน สาเหตุเนื่องจากกล้วยกรอบที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟมีปริมาณน้อยกว่ากล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวก ดังนั้นโครงสร้างภายในของกล้วยที่ผ่านการลวกจึงมีความพรุนตัวต่ำ [13, 14] นอกจากนี้การลวกด้วย

ไมโครเวฟยังทำให้โปรโตพลาสซึมบางส่วนไปรวมตัวกันบริเวณผนังเซลล์ทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น [9] ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้โครงสร้างเซลล์ภายในกล้วยมีความแข็งแรงสูงจึงต้องใช้แรงกดภายนอกสูงขึ้นเพื่อตัดชิ้นกล้วยให้ขาด อย่างไรก็ตามระยะเวลาในการลวกด้วยไมโครเวฟนานขึ้นไม่ส่งผลให้ความแข็งแรงของกล้วยกรอบเพิ่มขึ้นและจำนวนยอดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

Table 3 Effects of microwave blanching time and puffing temperature on volumetric ratio.

Pretreatment conditions	Puffing temperature (°C)	Volumetric ratio (%)
Non pretreatment	150	57.1±1.8 ^b
	170	65.4±3.3 ^c
	190	72.9±3.0 ^d
Microwave (1 min)	150	51.0±1.3 ^a
	170	56.6±1.4 ^b
	190	58.9±2.2 ^{bc}
Microwave (2 min)	150	49.0±1.4 ^a
	170	53.2±1.5 ^{ab}
	190	56.7±1.9 ^b

* The different letters in the same column of the table mean a significant difference ($p < 0.05$).

Table 4 Effects of microwave blanching time and puffing temperature on the hardness and the number of peaks

Pretreatment conditions	Puffing temperature (°C)	Hardness (N)	The number of Peaks
Non pretreatment	150	29.8±3.1 ^{bc}	11±1 ^b
	170	24.3±2.8 ^{ab}	14±2 ^{bc}
	190	20.5±3.3 ^a	16±2 ^c
Microwave (1 min)	150	40.7±3.5 ^{cd}	8±1 ^a
	170	34.4±2.8 ^c	11±1 ^b
	190	28.4±3.2 ^b	12±2 ^b
Microwave (2 min)	150	42.2±3.1 ^d	8±2 ^a
	170	34.0±2.5 ^c	10±2 ^{ab}
	190	28.9±3.7 ^{bc}	12±2 ^b

* The different letters in the same column of the table mean a significant difference ($p < 0.05$).

*Corresponding author e-mail: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

¹Department of Social and Applied Science, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

²Sustainable Industrial Management Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10800

³School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10400

เมื่อพิจารณาผลกระทบของอุณหภูมิพัพฟต่อความแข็งและจำนวนยอดของกล้วยกรอบพบว่ากล้วยกรอบมีความแข็งสูงสุดและจำนวนยอดต่ำสุดเมื่อใช้อุณหภูมิพัพฟที่ 150 องศาเซลเซียส ในทุกสภาวะของการลวกก่อน การแปรรูป เมื่อใช้อุณหภูมิการพัพฟสูงขึ้นทำให้ความแข็งของกล้วยกรอบลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนจำนวนยอดพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากระดับอุณหภูมิพัพฟที่สูงขึ้นทำให้ปริมาตรของกล้วยกรอบมากขึ้น จึงทำให้โครงสร้างภายในของกล้วยกรอบมีรูพรุนมากขึ้น ลักษณะโครงสร้างภายในของกล้วยดังกล่าวจึงทำให้ความแข็งแรงของโครงสร้างลดลงและจำนวนยอดเพิ่มขึ้น

5. คุณลักษณะของการอบแห้ง

Figure 2 แสดงกราฟการอบแห้งกล้วยกรอบที่ระดับอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส และการลวกก่อนการแปรรูปที่สภาวะต่างๆ โดยความชื้นเริ่มต้นของกล้วยที่ใช้ในการทดลองอยู่ในช่วงร้อยละ 169-228 ฐานแห้งความชื้นที่แตกต่างกันเนื่องจากการพรีทรีทเมนต์ของกล้วยแผ่นที่ต่างกัน กล้วยแผ่นที่ไม่ผ่านการพรีทรีทเมนต์มีความชื้นร้อยละ 229 ฐานแห้ง กล้วยแผ่นที่ผ่านการลวกเป็นเวลา 1 และ 2 นาที มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 188 และ 170 ฐานแห้ง ตามลำดับ ความชื้นที่ลดลงเนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในวัสดุอบแห้งได้โดยตรงและเปลี่ยนเป็นความร้อนโดยการดูดซับโดยโมเลกุลของน้ำ ทำให้กำเนิดความร้อนเชิงปริมาตรภายในเนื้อของตัวอย่าง [11, 15] เป็นผลให้ความชื้นบางส่วนสูญเสียออกจากกล้วยแผ่นและเมื่อใช้เวลาลวกนานขึ้นจะทำให้ความชื้นสูญเสียมากขึ้น

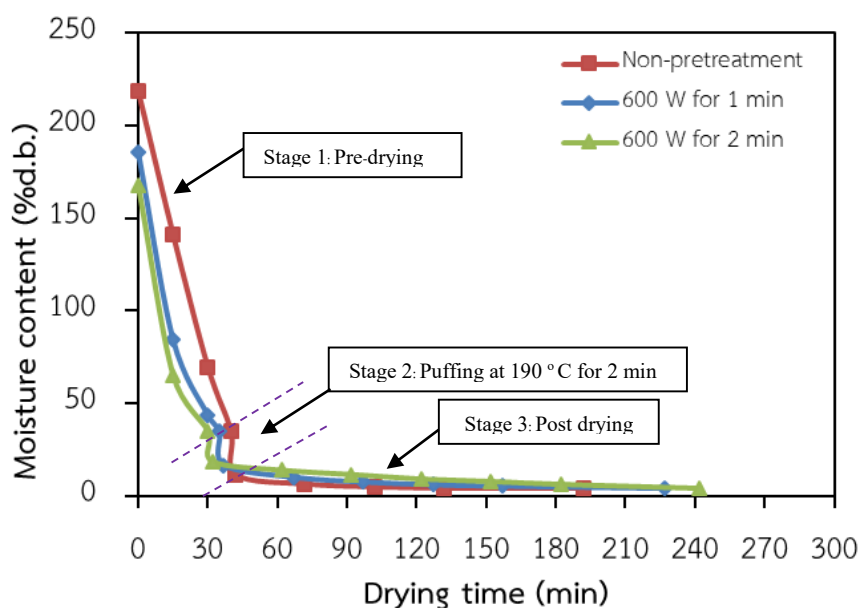


Figure 2 Drying curves of puffed Namwa banana as various pretreatments (puffing temperature of 190 °C)

*Corresponding author e-mail: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800

³สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

ในช่วงแรกของการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พบว่ากล้วยทั้งสามกลุ่มมีอัตราการลดลงของความชื้นที่สูง กล้วยที่ไม่ผ่านการลวกก่อนการแปรรูปใช้เวลาอบแห้งช่วงแรก 40 นาที เพื่อลดความชื้นให้เหลือร้อยละ 35 ฐานแห้ง ส่วนกล้วยที่ผ่านการลวกที่ 1 และ 2 นาที ใช้เวลา 36 และ 30 นาที ในการอบแห้งช่วงแรก การลดความชื้นที่สูงของการอบแห้งในช่วงแรกเนื่องจากกล้วยยังมีความชื้นสูงซึ่งส่วนมากเป็นน้ำอิสระที่สามารถเคลื่อนที่ออกมายังผิวได้รวดเร็ว นอกจากนี้เซลล์ยังมีการหดตัวน้อยจึงทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำออกมายังผิวกล้วยสะดวก การอบแห้งช่วงที่สองพบว่าความชื้นของกล้วยทุกกลุ่มมีการลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิของกล้วยแผ่นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ลักษณะดังกล่าวทำให้ความชื้นในกล้วยมีอัตราการระเหยสูง ในการอบแห้งช่วงสุดท้ายด้วยลมร้อนที่สภาวะเดียวกับการอบแห้งช่วงแรก พบว่ากล้วยทุกกลุ่มมีอัตราการลดของความชื้นต่ำกว่าการอบแห้งช่วงแรก อัตราการลดลงของความชื้นที่ต่ำเนื่องจากเซลล์มีการหดตัวสูงจากการสูญเสียความชื้นไปก่อนหน้านี้จึงทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในมายัง

ภายนอกช้ากว่าการอบแห้งช่วงแรก นอกจากนี้ยังพบว่ากล้วยที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟใช้เวลาการอบแห้งในช่วงสุดท้ายนานกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการลวกก่อนการแปรรูป เนื่องจากกล้วยที่ผ่านการลวกมีการหดตัวสูงส่งผลให้มีความพรุนตัวภายในโครงสร้างต่ำ ส่งผลให้ความชื้นเคลื่อนที่จากภายในมายังผิวหน้าได้ช้าลงจึงต้องใช้เวลารอบแห้งนานขึ้น [1] ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับรายงานของ Tantong et al. [3] และ Tabtiang and Prachayawarakorn [16]

เมื่อพิจารณาผลของเวลาการลวกใน Table 5 พบว่าเมื่อใช้เวลาลวกนานขึ้นทำให้การอบแห้งช่วงสุดท้ายนานขึ้น เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่เพิ่มต่อเวลาการอบแห้งใน Table 5 พบว่ากล้วยแผ่นที่ผ่านการพuff ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาการอบแห้งนานที่สุดในทุกสภาวะการลวกก่อนการแปรรูป เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นพบว่ากล้วยแผ่นใช้เวลาการอบแห้งสั้นลง เนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ความชื้นในกล้วยมีอัตราการระเหยสูงขึ้น ดังนั้นจึงเหลือความชื้นในการอบแห้งช่วงสุดท้ายลดลง เมื่อความชื้นเหลือไม่มากจะทำให้การอบแห้งในช่วงสุดท้ายสั้นลง

Table 5 Drying time at final drying process of puffed Namwa-banana by different experimental conditions

Pretreatment conditions	Puffing temperature (°C)	Drying time at final stage (min)
Non pretreatment	150	240±10 ^c
	170	210±10 ^b
	190	150±10 ^a
Microwave (1 min)	150	280±10 ^{ef}
	170	250±10 ^{cd}
	190	190±10 ^b
Microwave (2 min)	150	300±10 ^f
	170	270±10 ^{de}
	190	210±10 ^b

* The different letters in the same column of the table mean a significant difference ($p < 0.05$).

*Corresponding author e-mail: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800

³สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

สรุปผล

การลวกด้วยไมโครเวฟสามารถปรับปรุงคุณภาพสีของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบได้ สีของกล้วยที่ผ่านการลวกมีสีน้ำตาลน้อยกว่ากล้วยที่ไม่ผ่านการลวก อย่างไรก็ตามการลวกด้วยไมโครเวฟทำให้ผนังเซลล์มีความแข็งแรงขึ้นส่งผลให้กล้วยมีการพองตัวน้อยลง ในขณะที่พффิง กล้วยจึงมีปริมาตรลดลงและมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่ากล้วยกรอบที่ไม่ผ่านการลวก เวลาในการลวกนานขึ้นไม่ส่งผลต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ นอกจากนี้การลวกด้วยไมโครเวฟทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งนานขึ้น เงื่อนไขที่แนะนำสำหรับการแปรรูปกล้วยกรอบ คือ ลวกด้วยพลังงานไมโครเวฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 1 นาที และพффิงที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ทุนสนับสนุนตามสัญญาทุนหมายเลข “Res-CIT0223/2018” โครงการศาสตราจารย์วิจัยดีเด่น ศ.ดร. สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์ (Grant No. DPG 5980004) โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ทดลองบางส่วนในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] Tantong, P., Paengkanya, S., Tabtiang, S. (2018). Effects of ripening level and puffing temperature on qualities of puffed Homtong banana slices. *SNRU Journal of Science and Technology*. 10(2). 116-123.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Ruiz, L. M. and Peñas, F. J. (2013) . Comparison study of conventional hot-water and microwave blanching n quality of green beans. *Innovative Food Science and Emerging Technology*. 20. 191-197.
- [7] Liburdi, K., Benucci, I., Esti, M. (2019). Effect of microwave power and blanching time in relation to different geometric shape of vegetables. *LWT- Food Science and Technology*. 99. 497-504.
- [8] 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

*Corresponding author e-mail: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร 10800

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร 10800

³สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

- cubes. *Journal of Food Engineering*. 48(4). 361-367
- [9] Quenzer, N.M. and Burns, E.E. (1981). Effects of microwave, steam and water blanching on freeze- dried spinach. *Journal of Food Science*. 46(2). 410-418.
- [10] Tabtiang, S. , Prachyawarakorn, 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.
- [11] Paengkanya, S. , Soponronnarit, S. , Nathakarakule, A. (2015). Application of microwave for drying of durian chip. *Food and Bioproducts Processing*. 96. 1-11.
- [12] Tabtiang, S. Prachyawarakorn, S. Soponronnarit. S. (2560) . Optimum degree of ripeness and puffing temperature for the production of crisp Namwa and Homtong banana. *Thai Society of Agricultural Engineering Journal*. 23(1). 30-38.
- [13] Yi, J., Zhou, L., Bi, J., Liu, X., Qinqin, C., Wu, X. (2016). Influence of microwave pre-drying and explosion puffing drying induced cell wall polysaccharide modification on physiochemical properties, texture, microstructure and rehydration of pitaya fruit chips. *LWT-Food Science and Technology*. 70. 271-279.
- [14] Raikham, C. , Prachyawarakorn, S. , Nathakarakule, A. , Soponronnarit, S. (2013). Optimum conditions of fluidized bed puffing for producing crispy banana. *Drying Technology*. 31(6). 726-739.
- [15] Xiao, H.W., Pan, Z., Deng, L.Z., El-Mashad, H.M., Yang, Z.-H., Mujumdar, A.S., Gao, Z. - J. , Zhang, Q. (2017) . Recent developments and trends in thermal blanching - A comprehensive review. *Information processing in agriculture*. 4(2). 101-127.
- [16] Tabtiang, S., Prachyawarakorn, S. (2017). Effects of banana ripeness and puffing temperature on puffed banana qualities and drying time. *Journal of Agricultural Technology*. 13(2) . 281-292.

*Corresponding author e-mail: surapit.t@cit.kmutnb.ac.th, ohmpare@hotmail.com

¹Department of Social and Applied Science, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, 10800

²Sustainable Industrial Management Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok, 10800

³School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10400