



ระดับความสุกและอุณหภูมิการพองที่เหมาะสมของการผลิตกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมกรอบ

Optimal Degree of Ripeness and Puffing Temperature for the Production of Crisp Namwa and Homtong Banana

สุรพิชญ์ ทับเที่ยง^{1,*}, สมเกียรติ ปรัชญาวารากร² และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์³

Surapit Tabtiang^{1,*}, Somkiat Prachayawarakorn² and Somchart Soponronnarit³

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์และสังคม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร์ สาย 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

¹ Department of social and applied science, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 1518 Pracharat Sai 1 Road, Wongsawang, Bangkok 10800, Thailand

²ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

² Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Pracha u-tid Road, Tungkru, Bangkok 10140, Thailand

³สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

³ Energy Technology Division, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 126 Pracha u-tid Road, Thung Khru, Bangkok 10140, Thailand

*Corresponding author: Tel: +66-91 876 1661, E-mail: Surapit.t@cit.kmutnb.ac.th; Ohmpare@hotmail.com

บทคัดย่อ

ผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบไร้ไขมันผลิตมาจากกล้วยหลายชนิด เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยหอม เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานวิจัยผลของระดับความสุกของกล้วยทั้งสองพันธุ์ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมีความสนใจศึกษาผลของระดับความสุก สายพันธุ์กล้วยและอุณหภูมิการพองที่ใช้แปรรูปต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ ในการทดลองนำกล้วยที่มีความสุกในช่วง 16-25 °Brix มาหั่นขวางให้มีความหนา 2.5 mm หลังจากนั้นอบแห้งหลายขั้นตอนด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C และทำให้พองโดยลมร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 130-170 °C เป็นเวลา 2 min ผลการทดลองพบว่าระดับความสุกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีซึ่งส่งผลต่อไปยังคุณภาพของกล้วยกรอบ เมื่อระดับความสุกมากขึ้นทำให้กล้วยหอมกรอบมีปริมาตรลดลงแต่กล้วยน้ำว้ากรอบมีปริมาตรมากที่สุดที่ระดับความสุก 20-21 °Brix เมื่อระดับความสุกมากขึ้นพบว่าปริมาณเพคตินลดลงส่งผลให้กล้วยกรอบมีเนื้อสัมผัสที่แข็งลดลง นอกจากนี้กล้วยน้ำว้ามีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่ากล้วยหอมกรอบที่ระดับความสุกเดียวกันเพราะว่ามีปริมาณเพคตินและสตาร์ชมากกว่า อย่างไรก็ตามกล้วยกรอบมีสีน้ำตาลคล้ำมากขึ้นเมื่อระดับความสุกมากขึ้นเนื่องจากน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสมีปริมาณมากขึ้น ระดับอุณหภูมิการพองที่สูงขึ้นส่งผลให้กล้วยกรอบมีปริมาตรเพิ่มขึ้นและเนื้อสัมผัสมีความแข็งลดลงแต่ผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลมากขึ้นเพราะอุณหภูมิที่สูงเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลได้ดี นอกจากนี้อัตราส่วนปริมาตรของกล้วยกรอบที่สูงและระดับอุณหภูมิการพองที่สูงช่วยลดระยะเวลาการอบแห้งได้ ดังนั้นระดับความสุกของกล้วยหอมและกล้วยน้ำว้าที่เหมาะสม คือ 16-17 และ 20-21 °Brix ตามลำดับ ส่วนอุณหภูมิการพองที่เหมาะสมสำหรับกล้วยหอมและกล้วยน้ำว้าเท่ากับ 130 และ 150 °C ตามลำดับ

คำสำคัญ: กล้วยกรอบ, ระดับการสุก, ทำให้พอง, เนื้อสัมผัส, สายพันธุ์กล้วย

Abstract

The fat free crisp banana product was processed from many varieties of banana such as Namwa banana and Homtong banana. However, the effect of degrees of ripeness on fat free crisp banana quality was not also reported. Therefore, in this study, it is interesting to study the effects of banana ripeness, banana variety and puffing temperature on quality of crisp banana. The fresh bananas, which has total soluble solids in the range of 16-25 °Brix, were cut across into 2.5 mm thickness before passing to multi-stage drying with hot air at temperature of 90 °C and puffing with hot air at temperature in the range of 130-170 °C for 2 min. The results

showed that the degree of ripeness affects on chemical composition that had the influence on the quality of banana product. Higher degree of ripeness linearly decreased the volume of crisp Homtong banana, however, crisp Namwa banana had the highest volume with medium ripeness at 20-21°Brix. Higher degree of ripeness of banana provided lower amount of pectin content that affected on texture which became lower hardness. In addition, crisp Namwa banana had lower volume and higher hard texture than Homtong banana. This was due to the higher amount of pectin and starch content of Namwa banana than Homtong banana. However, crisp bananas appeared more brown in color as higher degree of ripeness due to the higher amount of glucose and fructos. High puffing temperatures resulted in an increased of crisp banana volume and a decrease in texture hardness. However, the products had more brown in colour because of the higher temperature accelerating the browning reaction. In addition, higher volume ratio of puffed product and higher puffing temperature provided shorter drying time. Thus, the most suitable of Homtong and Namwa banana ripeness were 16-17 and 20-21 °Brix, respectively, and puffing temperatures should be at 130 and 150 °C for Homtong and Namwa banana, respectively.

Keywords: Crisp banana, Ripeness, Puffing, Texture, Banana variety

1 บทนำ

ผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบเป็นผลิตภัณฑ์อาหารว่างชนิดหนึ่งที่มีขายตามท้องตลาด การแปรรูปกล้วยกรอบมักใช้วิธีการทอดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบมีน้ำมันคงค้างอยู่มากซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคหากบริโภคมากเกินไป การอบแห้งเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจใช้แปรรูปกล้วยโดยใช้การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิระหว่าง 70 - 90 °C อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์กล้วยอบแห้งมีระดับการหดตัวที่สูง (Hofsetz et al., 2007) การหดตัวของกล้วยระหว่างการอบแห้งเนื่องจากกล้วยมีการสูญเสียน้ำทำให้เซลล์เกิดการหดตัวและส่งผลให้โครงสร้างภายในยุบตัวตามมา

วิธีการการหดตัวของผลิตภัณฑ์สามารถนำเทคนิคการทำให้พอง (Puffing) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำเพราะเทคนิคการทำให้พองอาศัยวิธีการทำให้อาหารมีอุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วดังนั้นน้ำภายในอาหารจึงเดือดและระเหยอย่างรวดเร็วทำให้เกิดไอน้ำแรงดันสูงดันให้โครงสร้างของอาหารเกิดการขยายตัว (Saca and Lozano, 1992; Varnalis et al., 2001; Torreggiani et al., 1995) ผลของปริมาณอาหารที่ขยายตัวทำให้โครงสร้างภายในมีความพรุนสูง ดังนั้นอาหารจึงมีเนื้อสัมผัสที่กรอบมากขึ้น (Tabtiang et al., 2012) อย่างไรก็ตามเทคนิคการทำให้พองด้วยระดับอุณหภูมิสูงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ด้อยเนื่องจากผลิตภัณฑ์เกิดสีน้ำตาลคล้ำมากขึ้น (Varnalis et al., 2004) ในการศึกษาการทำให้พองในอาหารมักกำหนดระดับความสุกของกล้วยที่ใช้ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ Tabtiang et al. (2012) ศึกษาการทำให้พองของกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุกอยู่ในช่วง 21-23 °Brix นอกจากนี้ Raikham et al. (2013) ผลิตกล้วยหอมกรอบโดยใช้ระดับความสุกระหว่าง 16-18 °Brix มีงานวิจัยไม่มากนักที่ศึกษาผลของระดับความสุกต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กรอบ Tabtiang et al. (2016) ศึกษาผลของระดับความสุกต่อคุณภาพของกล้วยน้ำว้ากรอบ ระดับความสุกที่แตกต่างกันทำให้องค์ประกอบทาง

เคมีของกล้วยต่างกันซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของกล้วยกรอบในด้านต่างๆ ทั้งสีและเนื้อสัมผัส

จากข้อมูลรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ไม่มีรายงานผลการศึกษเปรียบเทียบผลของระดับความสุกของกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ต่อคุณภาพของกล้วยกรอบมาก่อน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลกระทบของระดับความสุกและอุณหภูมิการทำให้พองต่อคุณภาพของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมทองกรอบในด้านของสี การหดตัวและเนื้อสัมผัสรวมทั้งระยะเวลาการอบแห้ง

2 อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมวัตถุดิบกล้วย

กล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมสดที่ใช้ซื้อมาจากแหล่งเพาะปลูกเดียว ในการทดลองอบแห้งกล้วยถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับความสุก คือ 16-17 20-21 และ 24-25 °Brix นำกล้วยมาหั่นขวางที่ความหนา 2.5 mm และลวกด้วยน้ำร้อนที่ 95 °C เป็นเวลา 30 s การลวกทำให้เซลล์มีความยืดหยุ่นมากขึ้นจึงช่วยส่งเสริมการขยายตัวของปริมาตรในระหว่างขั้นตอนการทำให้พอง (Varnalis et al., 2001) การหาความชื้นเริ่มต้นของกล้วยแผ่นก่อนอบแห้งใช้วิธีการหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995)

2.2 กระบวนการอบแห้งหลายขั้นตอน

ขั้นตอนการอบแห้งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกอบแห้งกล้วยแผ่นด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C ภายใต้ความเร็วลม 2 m s^{-1} ในระหว่างการอบแห้งตรวจสอบปริมาณความชื้นโดยนำกล้วยแผ่นพร้อมตะแกรงมาชั่งน้ำหนัก เมื่อปริมาณความชื้นของกล้วยแผ่นลดลงถึง 35-40% d.b. นำกล้วยมาทำให้พองโดยลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 150 และ 170 °C เป็นเวลา 2 min ขั้นตอนสุดท้ายนำกล้วยแผ่นอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C อีกครั้ง จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายไม่เกิน 4% d.b. หลังจากอบแห้งแล้วสุ่มตัวอย่างกล้วยแผ่นมาหาความชื้นสุดท้ายด้วยวิธีการหาความชื้นตามมาตรฐาน AOAC (1995)

2.3 อัตราส่วนปริมาตร

ตัวอย่างกล้วยกรอบ 15 ชิ้น ถูกนำมาหาอัตราส่วนปริมาตร โดยใช้วิธีการแทนที่ในของแข็งด้วยเม็ดทรายละเอียด (Raikhamh et al., 2013) ซึ่งปริมาตรกล้วยคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$V = \frac{M_b - [M_{s+b} - M_v - M_s]}{\rho_b} \quad (1)$$

เมื่อ M_b คือ น้ำหนักของภาชนะที่บรรจุ glass breads จนเต็ม, M_v คือ น้ำหนักของภาชนะเปล่า, M_{s+b} คือ น้ำหนักของภาชนะที่บรรจุ glass breads และกล้วยแผ่น, M_s คือ น้ำหนักของกล้วยแผ่นและ ρ_b คือ ความหนาแน่นของ glass breads.

การหาอัตราส่วนปริมาตรหาได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของกล้วยอบแห้งต่อปริมาตรของกล้วยสดดังสมการที่ (2)

$$\% \text{ volumetric ratio} = \frac{V}{V_i} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ V_i และ V คือ ปริมาตรของกล้วยสดและปริมาตรของกล้วยอบแห้งตามลำดับ

2.4 การวัดสี

กล้วยกรอบที่ผ่านการแปรรูปในขั้นตอนสุดท้ายถูกนำมาวัดสีด้วยเครื่องวัดสีอาหาร (Colour Flex, Hunter Lab, UK) ทำการวัดค่าสีของกล้วยแผ่นในแนวระนาบและแสดงค่าสีในเทอมของค่าความสว่าง (Lightness : L), ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (Redness, a) และ ค่าความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน (Yellowness : b) ในการทดสอบใช้กล้วยอบแห้งจำนวน 15 ชิ้น ต่อสภาวะการอบแห้ง จากนั้นนำค่าสีที่วัดได้มาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE) เปรียบเทียบกับสีของกล้วยสดก่อนแปรรูป ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมคำนวณจากสมการที่ (3)

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (3)$$

เมื่อ L_0 คือ ค่าความสว่างของตัวอย่างกล้วยสด, L คือ ค่าความสว่างของตัวอย่างกล้วยอบแห้ง, a_0 คือ ค่าความเป็นสีแดงของตัวอย่างกล้วยสด, a คือ ค่าความเป็นสีแดงของตัวอย่างกล้วยอบแห้ง, b_0 คือ ค่าความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างกล้วยสดและ b คือ ค่าความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างกล้วยอบแห้ง

2.5 การวัดเนื้อสัมผัส

การทดสอบด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบจะใช้เครื่องทดสอบเนื้อสัมผัส (TA-XT2i, Stable Micro Systems Texture, UK) ทดสอบด้วยแรงกดโดยใช้หัวกดแบบตัด (HDP-BSK type) ทำการทดลองโดยใช้กล้วย 15 ชิ้น ต่อสภาวะการอบแห้ง การพิจารณาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่น

พิจารณาจากค่าความแข็ง (hardness) และความชันเริ่มต้น (initial slope)

2.6 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาล

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในกล้วยสดได้ดำเนินการตามมาตรฐาน AOAC (1995) นำตัวอย่างกล้วย 5 g มาบดและผสมกับน้ำปริมาตร 50 mL จากนั้นเติม 15% $K_4(Fe(CN)_6) \cdot 3H_2O$ ปริมาตร 1.25 mL และ 30% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ปริมาตร 1.25 mL เพื่อใช้สกัดโปรตีนในกล้วย ปริมาณตัวอย่างของเหลวที่ได้ถูกนำมาปรับปริมาตรโดยน้ำกลั่นจนได้ 100 mL และกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 (Kent, UK) หลังจากนั้นสารละลายถูกกรองอีกครั้งผ่านกระดาษกรองขนาด $0.2 \mu m$ สุดท้ายเก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็นรอการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลมาวิเคราะห์โดยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ตัวอย่างสารละลายปริมาตร 10 μL ถูกฉีดเข้าไปในเครื่อง HPLC น้ำตาลฟรุกโตส กลูโคส และซูโครสที่อยู่ในสารละลายจะถูกแยกจากกันโดยวิธี isocratic ผลการทดสอบของตัวอย่างที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (standard curve)

2.7 การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช

การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชในกล้วยสดได้ดำเนินการตามมาตรฐาน AOAC (1995) นำตัวอย่างกล้วย 5 g มาบดและผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 50 mL ตั้งทิ้งไว้ 1 hr จากนั้นกรองตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 (Kent, UK) แล้วล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น หลังจากนั้นปรับปริมาตรของตะกอนที่ได้จากการกรองด้วยน้ำกลั่น 200 mL แล้วเติม 25% HCl ปริมาตร 20 mL นำสารละลายที่ได้ไปให้ความร้อนด้วยเครื่อง Reflux condensor เป็นเวลา 2.5 hr เสร็จแล้วตั้งทิ้งไว้จนเย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วปรับค่า pH ของสารละลายให้เป็นกลางด้วย 20% NaOH แล้วปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 250 mL นำสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลกลูโคสด้วยวิธีของ Somogyi (1945) โดยปริมาณของสตาร์ชหาได้จากสมการด้านล่าง

$$\text{ปริมาณสตาร์ช} = \text{ปริมาณกลูโคส} \times 0.925 \quad (4)$$

2.8 การวิเคราะห์ปริมาณเพคติน

การวิเคราะห์ปริมาณเพคตินในกล้วยสดดำเนินการตามมาตรฐาน AOAC (1995) นำตัวอย่างกล้วย 5 g มาบดและผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 100 mL แล้วปรับค่า pH ให้ตัวอย่างกล้วยมีค่า pH อยู่ระหว่าง 2-3 ด้วยสารละลาย 10% HNO_3 จากนั้นนำตัวอย่างไปให้ความร้อนที่ $80^\circ C$ เป็นเวลา 2 hr เสร็จแล้วปล่อยให้ตัวอย่างของเหลวให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้องแล้วนำมาแยกตะกอนด้วยเครื่อง centrifuge โดยใช้แรงเหวี่ยงที่ $2700 \times$ เป็นเวลา 15 นาที นำตัวอย่างมาปรับค่า pH ให้เป็น 4.5 ด้วยสารละลาย 1 M NaOH แล้วทำให้ตัวอย่างเข้มข้นมากขึ้นด้วยเครื่อง rotary evaporator เป็นเวลา 2 hr จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาเติม 95%

ethanol ด้วยอัตราส่วนปริมาตรของ ethanol ต่อตัวอย่างเท่ากับ 4 : 1 แล้วตั้งสารละลายทิ้งไว้เป็นเวลา 12 hr เพื่อให้เกิดการแยกตัวของเพคตินดีขึ้น จากนั้นทำการแยกตะกอนด้วยเครื่อง centrifuge ที่แรงเหวี่ยง 2700× เป็นเวลา 15 นาที อีกครั้ง จากนั้นนำตะกอนที่ได้มาอบเพื่อกำจัดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 5 hr

2.9 การวิเคราะห์อัตราส่วนพื้นที่ว่าง

การพิจารณาลักษณะความพรุนตัวในเนื้อกล้วยแผ่นจะพิจารณาจากอัตราส่วนพื้นที่ว่าง (void area fraction) โดยใช้ภาพถ่ายที่มีความละเอียดระดับจุลภาคมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Image analysis (ImagePro+5.0, MediaCybernetic, USA) นำเทคนิค Threshold-based segmentation มาใช้เพื่อแปลงภาพถ่ายให้อยู่ในรูปแบบ binary image เพื่อจำแนกพรุนออกจากเนื้อกล้วยแผ่นเกณฑ์การจำแนกพรุนออกจากเนื้อกล้วยพิจารณาจากค่า threshold ของ grey level ถ้า pixel ที่มีค่าต่ำกว่าค่า threshold ที่กำหนดถือว่าเป็นพรุนซึ่งเป็นพื้นที่ส่วนที่เป็นสีดำในภาพ ส่วน pixel ที่มีค่าสูงกว่าค่า threshold ถือว่าเป็นเนื้อกล้วยหรือเฟสของแข็งซึ่งจะปรากฏเป็นพื้นที่ส่วนที่เป็นสีขาวในภาพถ่าย การหาค่า void area fraction พิจารณาจากจำนวน pixel ของพื้นที่ส่วนที่เป็นสีดำในขอบเขตของภาพถ่ายที่เป็นเนื้อกล้วยแผ่นต่อพื้นที่หน้าตัดของกล้วยแผ่น

2.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลการวิเคราะห์คุณภาพกล้วยพื้ด้านต่างๆ จากการทดลอง ได้แก่ สี อัตราส่วนปริมาตรและเนื้อสัมผัสนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS® โดยทำการวิเคราะห์ผลด้วยสถิติ ANOVA (Analysis of variance) ด้วยวิธี Turkey's multiple range test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเชิงพหุที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3 ผลและวิจารณ์

3.1 องค์ประกอบทางเคมีในกล้วยที่ระดับความสุกต่างๆ

ระดับความสุกส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของกล้วย กล้วยที่ระดับความสุก 16-17 °Brix ซึ่งเป็นระดับความสุกน้อยที่สุดในช่วงการทดลองพบว่ามีปริมาณของน้ำตาลและเพคตินสูงสุดทั้งกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมแต่น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งสองชนิด (กลูโคสและฟรุคโตส) กลับมีปริมาณน้อยที่สุดดังแสดงใน Table 1 อย่างไรก็ตามน้ำตาลและเพคตินเกิดการสลายตัวเมื่อระดับความสุกมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณของโพลิเมอร์ทั้งสองมีแนวโน้มลดลง แต่ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวทั้งสองชนิดกลับมีปริมาณสูงขึ้นเนื่องจากน้ำตาลบางส่วนสลายตัวเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Fuwa et al., 1979) องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยทั้งสองสายพันธุ์ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับความสุกจะส่งผลต่อคุณภาพของกล้วยกรอบซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3.2 ผลของระดับความสุกต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ

Figure 1 แสดงผลของระดับความสุกต่ออัตราส่วนปริมาตรของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมกรอบเมื่อใช้อุณหภูมิการพองที่ 150°C เมื่อพิจารณาจากกล้วยน้ำว้าพบว่ากล้วยมีอัตราส่วนปริมาตรน้อยที่สุดที่ระดับความสุก 16-17 °Brix เนื่องจากกล้วยมีปริมาณเพคตินสูงสุดที่ระดับความสุกนี้ดังแสดงใน Table 1 เพคตินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างเซลล์ในชั้น middle lamella ซึ่งช่วยเชื่อมเซลล์ให้ติดกัน (Mohapatra et al., 2010) ดังนั้นปริมาณของ เพคตินที่สูงทำให้โครงสร้างกล้วยมีความแข็งแรงมากขึ้นส่งผลให้โครงสร้างขยายตัวได้ยากในขณะทำให้พอง (Tabtiang et al., 2016)

เมื่อระดับการสุกมากขึ้นพบว่ากล้วยน้ำว้ามีอัตราส่วนปริมาตรมากขึ้นเพราะเพคตินบางส่วนที่อยู่ในเนื้อเยื่อเสื่อมสลายอย่างใดก็ตามที่ความสุกระดับ 24-25 °Brix พบว่ากล้วยน้ำว้ากลับมีอัตราส่วนปริมาตรลดลงแม้ว่าจะมีปริมาณเพคตินต่ำที่สุดสาเหตุอาจเนื่องมาจากน้ำตาลในกล้วยมีปริมาณมากเกินไปและอาจไปขัดขวางการเกิดเจลลิตีในซอสของสตาร์ช (Antonio et al., 2008) ส่งผลให้ชั้นผิวปิดที่ช่วยกักไอน้ำในช่วงการทำให้พองเกิดขึ้นไม่ทั่วผิวกล้วยจึงทำให้อากาศที่เกิดขึ้นขณะการทำให้พองรั่วออกจากกล้วยแผ่นได้ง่ายส่งผลให้กล้วยพองตัวได้ไม่ดี อย่างไรก็ตามกล้วยหอมกลับมีอัตราส่วนปริมาตรสูงสุดที่ระดับความสุกน้อยที่สุด (16-17 °Brix) ถึงแม้ว่าที่ระดับความสุกนี้จะมีปริมาณเพคตินสูงว่าระดับความสุกอื่นแต่เมื่อเปรียบเทียบกับกล้วยน้ำว้าก็พบว่ากล้วยน้ำว้ามีปริมาณเพคตินใกล้เคียงกับกล้วยน้ำว้าที่ระดับความสุก 20-21 °Brix ซึ่งให้ปริมาตรสูงสุด เมื่อความสุกมากขึ้นพบว่ากล้วยหอมมีปริมาตรลดลงถึงแม้ว่าจะมีปริมาณเพคตินลดลงเนื่องจากน้ำตาลในกล้วยมีปริมาณมากเกินไปจึงส่งผลให้การพองตัวไม่ดี นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบสายพันธุ์ของกล้วยพบว่าที่ระดับความสุกเดียวกันกล้วยหอมมีอัตราส่วนปริมาตรมากกว่ากล้วยน้ำว้าสาเหตุเพราะว่ากล้วยหอมมีปริมาณเพคตินน้อยกว่ากล้วยน้ำว้าจึงทำให้พองตัวได้ดีขณะการทำให้พอง

Figure 2 แสดงผลของระดับความสุกต่อความแข็งแรงของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมกรอบเมื่อใช้อุณหภูมิการพองที่ 150 °C เนื้อสัมผัสของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมมีความแข็งแรงมากที่สุดที่ระดับความสุก 16-17 °Brix เมื่อระดับความสุกมากขึ้นพบว่าเนื้อสัมผัสของกล้วยมีความแข็งแรงลดลงสาเหตุเพราะว่าเพคตินบางส่วนในเนื้อเยื่อของกล้วยเกิดการสลายตัวจึงทำให้กล้วยสลายเนื้อสัมผัสที่นิ่มขึ้น (Redgwell et al, 1992) ซึ่งส่งผลให้เนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบมีเนื้อสัมผัสที่แข็งแรงลดลง นอกจากนี้ระดับความสุกที่สูงขึ้นส่งผลให้ความชื้นเริ่มต้นมีค่าลดลงดังแสดงใน Figure 3 เนื่องจากปริมาณเพคตินที่ลดลงทำให้ผนังเซลล์แตกออกและทำให้ค่า turgidity ลดลง นอกจากนี้ John and Marchal (1995) รายงานว่าปริมาณของสตาร์ชส่งผลต่อค่า firmness ของเนื้อสัมผัสเมื่อปริมาณสตาร์ชลดลงเนื่องจากการสลายตัวจะทำให้ค่า firmness ของเซลล์ลดลงส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงกดจากภายนอกลดลงด้วย

นอกจากนี้ระดับความสุกยังส่งผลต่อคุณภาพสีของกล้วยกรอบดังแสดงใน Figure 4 เมื่อระดับความสุกมากขึ้นทำให้กล้วยหอมกรอบมีคุณภาพสีด้อยลงซึ่งกล้วยกรอบจะมีสีน้ำตาลบนผิวมากขึ้นรวมทั้งมีรอยไหม้บางส่วนที่ระดับความสุกสูงสุด (24-25 °Brix) ดังแสดงใน Figure 4 (a) – (c) การเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นทำให้กล้วยหอมกรอบที่มีความสุกมากมีค่า ΔE ที่สูงขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงใน Figure 5 ความว่องไวต่อการเกิดสีน้ำตาลเกี่ยวข้องกับปริมาณของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวซึ่งเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของการเกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด เมื่อระดับความสุกเพิ่มทำให้กล้วยมีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเพิ่มขึ้นดังแสดงใน Table 1 จึงส่งผลให้กล้วยแผ่นเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นหลังการทำให้พอง (Tabtiang et al., 2012) ส่วนกล้วยน้ำว้ากรอบให้ผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกันแต่การเกิดสีน้ำตาลจะน้อยกว่ากล้วยหอมในระดับความสุกเดียวกันเนื่องจากกล้วยน้ำว้ามีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวน้อยกว่าดังนั้นกล้วยน้ำว้าจึงมีค่า ΔE น้อยกว่ากล้วยหอมที่ระดับความสุกเดียวกันด้วยดังแสดงใน Figure 5

สำหรับเวลาการอบแห้งจะพิจารณาการอบแห้งด้วยลมร้อนในขั้นตอนสุดท้ายเนื่องจากคิดเป็น 80-90% ของระยะเวลาการอบแห้งรวมทั้งหมด Figure 6 แสดงผลของระดับความสุกต่อเวลาการอบแห้งของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมกรอบเมื่อใช้อุณหภูมิ

การพองที่ 150 °C กล้วยน้ำว้าใช้เวลาการอบแห้งสั้นที่สุดที่ความสุกระดับกลางส่วนกล้วยหอมจะใช้ระยะเวลาอบแห้งสั้นที่สุดที่ระดับความสุก 16-17 °Brix สาเหตุสำคัญเนื่องมาจากอัตราส่วนปริมาตรดังแสดงใน Figure 1 ซึ่งกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมกรอบมีอัตราส่วนปริมาตรสูงสุดที่ระดับความสุก 20-21 °Brix และ 16-17 °Brix ตามลำดับ เมื่อปริมาตรมากทำให้ void area fraction มีเปอร์เซ็นต์เพิ่มขึ้นดังแสดงใน Table 2 ซึ่ง void area fraction ที่สูงขึ้นเนื่องจากความพรุนตัวของโครงสร้างกล้วยเพิ่มขึ้นดังนั้นจึงช่วยให้ความชื้นเคลื่อนตัวออกมายังผิวได้รวดเร็วขึ้นจึงลดระยะเวลาการอบแห้งในขั้นตอนสุดท้ายลง (Tabtiang et al., 2012)

จากข้อมูลการทดลองพบว่าระดับความสุกส่งผลต่อคุณภาพของกล้วยกรอบทั้งสองสายพันธุ์ กล้วยน้ำว้ากรอบที่ระดับความสุก 20-21 °Brix มีปริมาตรสูงสุดโดยที่คุณภาพสียอมรับได้ดังแสดงใน Figure 4 (f) ส่วนกล้วยหอมกรอบที่ระดับความสุกต่ำสุด (16-17 °Brix) พบว่ากล้วยมีปริมาตรสูงสุดโดยที่กล้วยมีสีน้ำตาลน้อยกว่าระดับความสุกอื่นๆ ดังนั้นระดับความสุกที่จะนำไปศึกษาผลของอุณหภูมิการพองต่อจะใช้ในระดับความสุกของกล้วยทั้งสองสายพันธุ์ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

Table 1 Chemical composition in Namwa and Homtong banana at various ripening levels.

Banana variety	Ripeness (°Brix)	Starch (g/g dry mass)	Pectin (g/g dry mass)	Fructose (g/g dry mass)	Glucose (g/g dry mass)
Namwa	16-17	0.813	0.359	0.039	0.044
	20-21	0.650	0.196	0.052	0.058
	24-25	0.515	0.123	0.083	0.094
Homtong	16-17	0.361	0.201	0.053	0.053
	20-21	0.170	0.094	0.129	0.133
	24-25	0.090	0.039	0.154	0.144

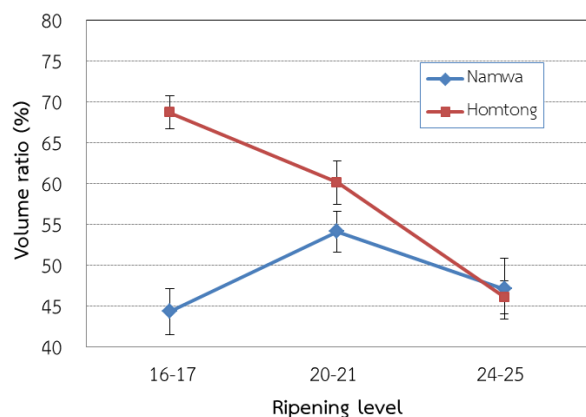


Figure 1 effect of banana ripening level on volume ratio.

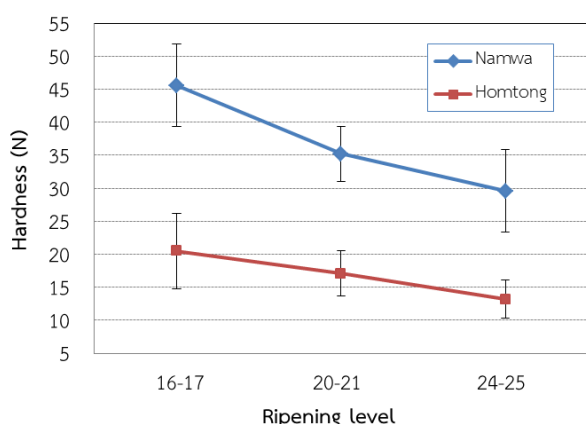


Figure 2 effect of banana ripening level on hardness.

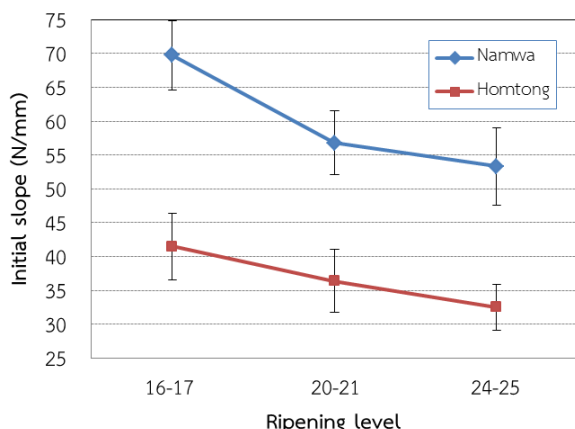


Figure 3 effect of banana ripening level on initial slope.

3.3 ผลของระดับอุณหภูมิการพองต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ

Figure 7 แสดงผลของอุณหภูมิการพองคุณภาพของกล้วยหอมในด้านของอัตราส่วนปริมาตร ความแข็งและสี อุณหภูมิการพองส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราส่วนปริมาตร กล้วยมีอัตราส่วนปริมาตรต่ำสุดเมื่อทำให้พองที่อุณหภูมิ 130 °C อุณหภูมิการพองที่สูงขึ้นช่วยให้ปริมาตรมากขึ้นสาเหตุจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานความร้อนให้กล้วยมากขึ้นดังนั้นอุณหภูมิภายในกล้วยจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้น้ำในกล้วยระเหยได้เร็วขึ้นและสร้างความดันไอที่สูงขึ้นทำให้เกิดการขยายปริมาตรมากขึ้น (Raikham et al., 2013) ส่วนผลของอุณหภูมิต่อกล้วยน้ำว่ากรอบดังแสดงใน Figure 8 พบว่าให้ผลที่เป็นไปในแนวทางเดียวกับกล้วยหอมกรอบแต่กล้วยน้ำว่าจะมีปริมาตรน้อยกว่ากล้วยหอมในทุกระดับอุณหภูมิการพองสาเหตุเพราะว่ากล้วยน้ำว่ามีปริมาณเพคตินและสตาร์ชมากกว่ากล้วยหอม

การขยายปริมาตรของกล้วยพัฟเมื่ออุณหภูมิการพองสูงขึ้นทำให้ความพรุนตัวของโครงสร้างกล้วยเพิ่มขึ้นดังนั้นจึงทำให้เนื้อสัมผัสของกล้วยมีความแข็งลดลงเนื่องจากโครงสร้างภายในมีความแน่นเนื้อต่ำ กล้วยจึงมีความต้านทานต่อแรงกระทำภายนอกที่ใช้ตัดกล้วยแผ่นลดลงดังแสดงใน Figure 7 และ 8 ซึ่งทั้งกล้วยหอมและกล้วยน้ำว่ากรอบมีเนื้อสัมผัสที่แข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่ออุณหภูมิการพองเพิ่มจาก 130 เป็น 170 °C

นอกจากนี้อุณหภูมิการพองยังส่งผลกระทบต่อสีของกล้วยกรอบดังแสดงใน Figure 4 กล้วยหอมกรอบและกล้วยน้ำว่าที่มีสีน้ำตาลเล็กน้อยเมื่อพัฟที่อุณหภูมิ 130 °C (Figure 4 (d) และ (i)) และสีน้ำตาลปรากฏบนพื้นผิวกล้วยมากขึ้นเมื่อใช้ระดับอุณหภูมิการพองสูงขึ้นดังแสดงใน Figure 4 (a) (e) (g) และ (j) การเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นส่งผลให้ค่า ΔE เพิ่มสูงขึ้นดังแสดงใน Figure 7 และ 8 สาเหตุจากอุณหภูมิการพองที่สูงขึ้นเร่งปฏิกิริยาสีน้ำตาล (Raikham et al., 2013) ระดับอุณหภูมิการพองที่สูงกว่า 130 °C ทำให้กล้วยหอมกรอบมีสีน้ำตาลคล้ำมากเกินไป ส่วนกล้วยน้ำว่ากรอบที่ใช้อุณหภูมิการพองที่ 170 °C พบว่ามีสีคล้ำและไหม้บางส่วนซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อารยอมรับของผู้บริโภค

อย่างไรก็ตามถ้าเปรียบเทียบสีของกล้วยระหว่างกล้วยน้ำว่า (20-21 °Brix) และกล้วยหอม (16-17 °Brix) ที่แปรรูปด้วยอุณหภูมิการพองเท่ากันพบว่าสีของกล้วยหอมจะมีสีคล้ำมากกว่ากล้วยน้ำว่าดังแสดงใน Figure 4 (a) และ (g) ถึงแม้ว่ากล้วยทั้งสองสายพันธุ์ในระดับความสุกดังกล่าวจะมีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้จะมีสาเหตุมาจากเอนไซม์ที่เหลือหลังจากการลวกด้วยน้ำร้อนในกล้วยหอมยังมีอยู่มากจึงเร่งให้เกิดสีน้ำตาลคล้ำมากกว่ากล้วยน้ำว่ากรอบ

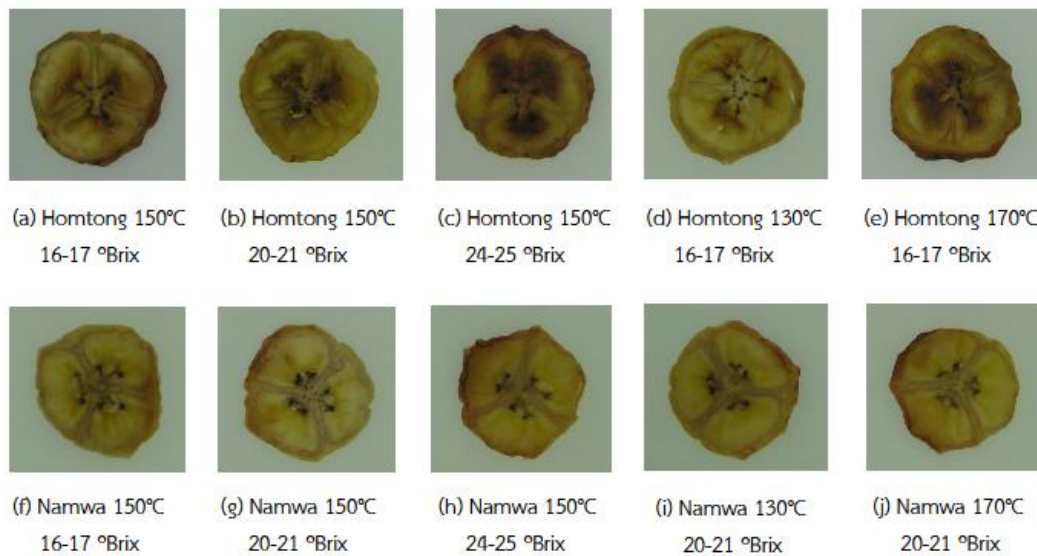


Figure 4 effect of banana ripening level on color of crisp Namwa and Homtong banana.

Table 2 percent of void area fraction of crisp Namwa and Homtong banana at various ripening levels

Variety	Ripening level	% Void area fraction
Namwa	16-17 °Brix	31.1
	20-21 °Brix	39.2
	24-25 °Brix	32.4
Homtong	16-17 °Brix	45.7
	20-21 °Brix	41.2
	24-25 °Brix	34.6

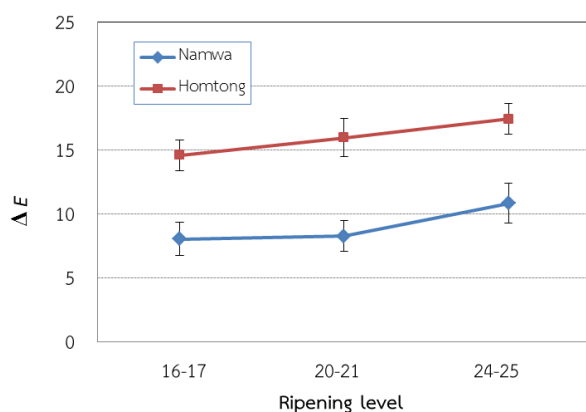


Figure 5 effect of banana ripening level on ΔE

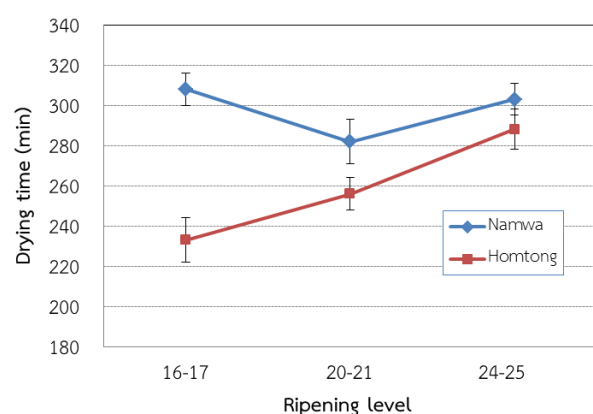


Figure 6 effect of banana ripening level on drying time

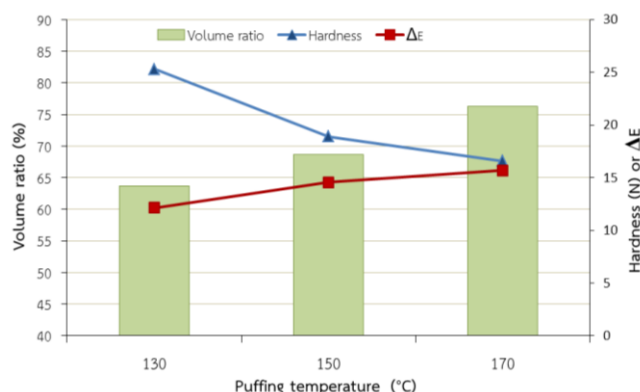


Figure 7 effect of puffing temperature on volume ratio, hardness and ΔE of puffed Homtong banana.

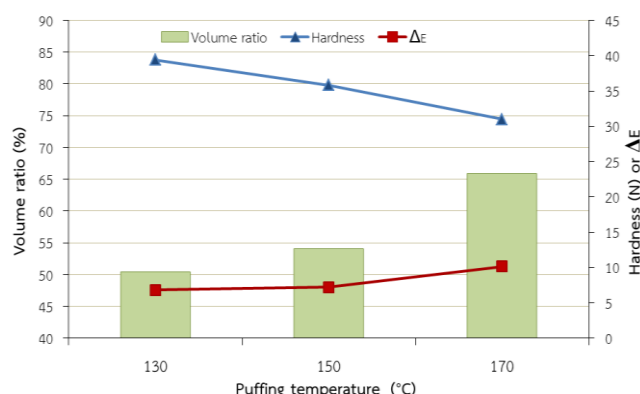


Figure 8 effect of puffing temperature on volume ratio, hardness and ΔE of puffed Namwa banana.

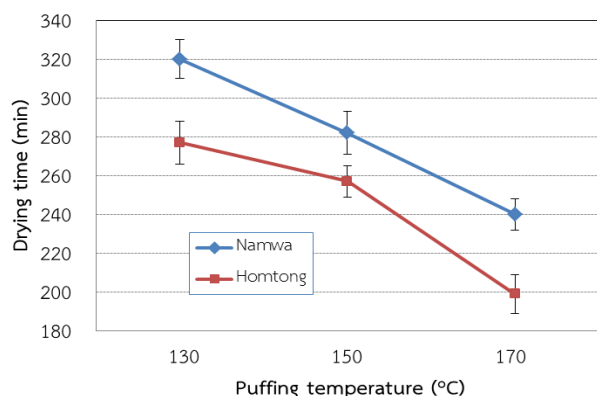


Figure 9 effect of puffing temperature on drying time

Figure 9 แสดงผลของอุณหภูมิการพองต่อระยะเวลาการอบแห้งในช่วงสุดท้าย เมื่อระดับอุณหภูมิการพองสูงขึ้นส่งผลให้เวลาการอบแห้งในช่วงสุดท้ายลดลงทั้งกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอม สาเหตุเพราะว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนให้กล้วยมากขึ้นจึงเร่งให้ความชื้นในกล้วยระเหยได้เร็วและมากขึ้น ดังนั้นกล้วยแผ่นจึงมีปริมาณความชื้นลดลงมากในช่วงการอบแห้งสุดท้าย นอกจากนี้ยังพบว่ากล้วยน้ำว้าใช้เวลาอบแห้งนานกว่ากล้วยหอมในทุกระดับอุณหภูมิการพองเนื่องจากกล้วยน้ำว้ามีปริมาตรน้อยกว่ากล้วยหอมในทุกระดับอุณหภูมิการพอง (Figure

7 และ 8) จึงทำให้มีความพรุนตัวของโครงสร้างน้อยกว่าส่งผลให้ความชื้นเคลื่อนตัวจากภายในมายังผิวได้ช้ากว่ากล้วยหอม

4 สรุปผล

ระดับความสุก สายพันธุ์และอุณหภูมิการพองส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ ระดับความสุกที่มากขึ้นทำให้กล้วยมีปริมาณของสตาร์ชและเพคตินลดลงส่งผลให้เนื้อสัมผัสมีความแข็งลดลง อย่างไรก็ตามกล้วยน้ำว้ามีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่ากล้วยหอมเนื่องจากมีปริมาณของเพคตินและสตาร์ชที่สูงกว่า กล้วยกรอบมีสีเหลืองอมน้ำตาลเมื่อระดับการสุกน้อยที่สุดและระดับอุณหภูมิการพองต่ำสุด เมื่อระดับความสุกมากขึ้นและอุณหภูมิการพองสูงขึ้นทำให้กล้วยกรอบเกิดสีน้ำตาลบนผิวมากขึ้น เมื่อพิจารณาระหว่างกล้วยกรอบทั้งสองสายพันธุ์โดยรวมแล้วกล้วยน้ำว้ากรอบมีคุณภาพสีที่ดีกว่ากล้วยหอมกรอบเนื่องจากมีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวน้อยกว่า อุณหภูมิการพองที่สูงขึ้นยังช่วยให้กล้วยแผ่นมีปริมาตรมากขึ้นและมีเนื้อสัมผัสที่แข็งลดลงรวมทั้งลดระยะเวลาอบแห้งให้สั้นลง ดังนั้นสภาวะการแปรรูปที่เหมาะสมของกล้วยน้ำว้า คือ ความสุกที่ระยะ 20-21 °Brix และอุณหภูมิการพองที่ 150 °C ส่วนกล้วยหอมใช้ความสุกที่ระยะ 16-17 °Brix และอุณหภูมิการพองที่ 130 °C

5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา (HERP) ภายใต้สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้การสนับสนุนโครงการวิจัยตาม “สัญญาเลขที่ KMUTNB-GEN-58-01” และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

6 เอกสารอ้างอิง

- Antonio, G.C., Alive, D.G., Azoubel, P.M., Murr, F.E.X, Park, K.J. 2008. Influence of Osmotic Dehydration and High Temperature Short Time Processes on Dried Sweet Potato (*Ipomoea batatas* Lam.). Journal of Food Engineering 84, 375-382.
- AOAC, 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC.
- Fuwa, H., Sugimoto, Y., Takaya, T. 1979. Scanning electron microscopy of starch granules, with or without amylase attack. Carbohydrate Research 70, 233-235.
- 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, 531-540.

- John, P., Marchal, J. 1995. Ripening and biochemistry of the fruit. London: Chapman and Hall. pp 434-467.
- Mohapatra, D., Mishra, S., Sutra, N. 2010. Banana and it's by product utilization: an overview. *Journal of Scientific & Industrial Research* 69, 323-329.
- Raikhom, C., Prachayawarakorn, S., Nathakaranakule, A., Soponronnarit, S. 2013. Optimum conditions of fluidized bed puffing for producing crispy banana. *Drying Technology* 31, 726-739.
- Redgwell, R.J., Melton, L.D. and Brasch, D.J. 1992. Cell wall dissolution in ripening kiwifruit (*Actinidia deliciosa*): solubilisation of pectic polymers. *Plant Physiology* 98, 71-81.
- Saca, A.S., Lozano, E.J. 1992. Explosion puffing of bananas. *International Journal of Food Science and Technology* 27, 419-426.
- Somogyi, M. 1945. A new reagent for the determination of sugars. *The Journal of Biological Chemistry* 160, 61-68.
- Tabtiang, S., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. 2012. Effects of osmotic treatment and superheated steam puffing temperature on drying characteristics and textural properties of banana slices. *Drying Technology* 30, 20-28.
- Tabtiang, S., Prachayawarakorn, S., Soponronnarit, S. 2016. Influence of ripening level and puffing temperature on crisp banana quality. The paper for presentation at conference on energy network of Thailand, June 8-10, 1711-1716.
- Torreggiani, D., Toledo, R.T., Bertolo, G. 1995. Optimization of vapor induced puffing in apple dehydration. *Journal of Food Science* 60, 181-185.
- 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, 361-367.
- Varnalis, A.I., Brennan, J.G., MacDougall, D.B., Gilmour, S.G. 2004. Optimization of high temperature puffing of potato cubes using response surface methodology. *Journal of Food Engineering* 61, 153-163.