อิทธิพลของสายพันธุ์กล้วยและสภาวะพัฟฟิงต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ

Effects of Banana Variety and Puffing Conditions on Puffed Banana Qualities

สุรพิชญ์ ทับเที่ยง[1], พิสุทธิ์ แท่นทอง[1]
Surapit Tabtiang[1], Pisut Tantong[1]

บทคัดย่อ

เทคนิคพัฟฟิงด้วยอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาสั้น ถูกนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำในการผลิตกล้วยกรอบ เทคนิคพัฟฟิงนี้มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตกล้วยกรอบเพราะสามารถทำให้เกิดโครงสร้างที่มีรูพรุนสูงและเนื้อสัมผัสที่กรอบมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อบแห้งด้วยลมร้อนทั่วไป อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานที่ศึกษาผลของสายพันธุ์กล้วยต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้จึงสนใจศึกษาผลของสายพันธุ์กล้วย (กล้วยน้ำว้าและกล้วยหอม) และสภาวะพัฟฟิง (อุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิง) ต่อคุณภาพของกล้วยกรอบในเทอมของ สี อัตราส่วนปริมาตรและเนื้อสัมผัส โดยนำกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมที่มีปริมาณของแข็งละลายได้ที่ 21-23 และ 16-18 องศาบริกซ์ ตามลำดับ มาหั่นตามขวางให้มีความหนา 2.5 มิลลิเมตร จากนั้นลวกด้วยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำมาอบแห้งใน 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกนำกล้วยแผ่นมาอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนความชื้นเหลือ 35% โดยฐานมวลแห้ง จากนั้นนำไปพัฟฟิงด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1.5, 2 และ 2.5 นาที แล้วนำกล้วยมาอบแห้งอีกครั้งโดยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนความชื้นเหลือไม่เกิน 4% โดยฐานมวลแห้ง ผลการทดลอง พบว่า สายพันธุ์กล้วยส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ กล้วยน้ำว้ากรอบมีอัตราส่วนปริมาตรน้อยกว่ากล้วยหอมกรอบดังนั้นจึงส่งผลให้กล้วยน้ำว้ากรอบมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากกว่ากล้วยหอมกรอบ อย่างไรก็ตามกล้วยน้ำว้ากรอบมีคุณภาพสีดีกว่ากล้วยหอมกรอบ เนื่องจากกล้วยน้ำว้ามีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวน้อยกว่าทำให้กล้วยน้ำว้าจึงเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่ากล้วยหอมกรอบ นอกจากนี้อุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบ เมื่อใช้อุณหภูมิพัฟฟิงเพิ่มขึ้นร่วมกับเวลาพัฟฟิงนานขึ้นทำให้กล้วยมีปริมาตรมากขึ้นและเนื้อสัมผัสที่กรอบมากขึ้นแต่ผลิตภัณฑ์กล้วยทั้งสองสายพันธุ์เกิดสีน้ำตาลบนผิวมากขึ้น ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมของการแปรรูปกล้วยทั้งสองสายพันธุ์ คือ อุณหภูมิพัฟฟิงที่ 150 องศาเซลเซียส เวลาพัฟฟิงอย่างน้อย 2 นาที

คำสำคัญ: กล้วยกรอบ สายพันธุ์กล้วย พัฟฟิง สี เนื้อสัมผัส

Abstract

The high temperature and short time technique (HTST) was applied to various banana varieties for crisp banana producing. The HTST puffing suitable for producing of crisp banana because it can create high porous structure and more crisp texture as compared with hot air dried product. However, no previous literatures study the effect of banana variety on puffed product quality. Therefore, the objective of this experiment was to study the effect of banana variety (Namwa-banana and Homtong-banana) and puffing conditions (puffing temperature and puffing time) on puffed banana qualities i.e. colour, volume ratio and texture property. The Namwa-banana slices with 21-23 °Brix and Homtong-banana with 16-18 °Brix of total soluble solids were cut across into 2.5 min and it were blanched by 95 °C of hot water for 30 sec.

[1] วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[1] College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

After that, it were dried in 3 steps. First step, it were dried by hot air at temperature of 90 °C until its moisture content reached 35% dry basis (d.b.). Then, the slices were puffed by hot air (130, 150 and 170 °C) for a short duration (1.5, 2 and 2.5 min) in a laboratory HTST model. Final step, it were dried again by hot air at temperature of 90 °C until its moisture content reached 4% d.b. The experimental results showed that the banana variety affected on product quality. The puffed Namwa-banana had lower volume ratio and harder texture than puffed Homtong-banana. However, the puffed Namwa-banana had better colour quality than those puffed Homtong-banana. This is due to the Namwa-banana contains lower amount of monosaccharide than those ones. The puffing conditions, puffing temperature and puffing time, strongly affected on puffed banana quality. Increasing of puffing temperature together with longer puffing time provided higher volume ratio and more crisp texture. However, the color of product in both of banana varieties had more browning as higher puffing temperature and longer puffing time. To obtained a satistied puffed product, the banana should be puffed under puffing temperature of 150 °C at least 2 min of puffing time.

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

บทนำ

ในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมาตลาดของอาหารขบเคี้ยวมีการเติบโตสูงซึ่งกล้วยกรอบเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่เป็นที่นิยมบริโภคกันอย่างกว้างขวางและผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบที่วางจำหน่ายผลิตมาจากกล้วยหลากหลายสายพันธุ์ การแปรรูปผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบมักใช้การทอดจึงทำให้มีน้ำมันคงค้างอยู่มากซึ่งอาจส่งผลเสียต่อสุขภาพของผู้บริโภคหากรับประทานมากเกินไป การแปรรูปกล้วยด้วยกระบวนการอบแห้งเป็นหนึ่งในทางเลือกในการรักษาคุณภาพและเพิ่มมูลค่าให้แก่กล้วยสด อย่างไรก็ตามกล้วยกรอบที่ผ่านการอบแห้งมีการหดตัวสูงเนื่องจากมีการสูญเสียน้ำออกไประหว่างอบแห้ง การหดตัวที่มากส่งผลให้กล้วยกรอบมีเนื้อสัมผัสที่แข็งมากขึ้น (Hofset & Lopez, 2005) จากลักษณะทางกายภาพดังกล่าวจึงส่งผลให้ผู้บริโภคมีความสนใจในผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบลดลง การปรับปรุงคุณภาพด้านการหดตัวและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กรอบสามารถใช้เทคนิคพัฟฟิง (puffing) เพื่อลดการหดตัวของอาหารอบแห้งเนื่องจากเทคนิคพัฟฟิงทำให้อาหารมีอุณหภูมิภายในเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้น้ำเดือดและระเหยอย่างรวดเร็วจึงเกิดแรงดันไอน้ำกระทำให้โครงสร้างเกิดการพองขยายตัว วิธีการพัฟฟิงมีหลายรูปแบบ เช่น พัฟฟิงด้วยอุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้น (Saca & Lozano, 1992; Tabtiang, Prachayawarakorn & Soponronnarit, 2012), พัฟฟิงด้วยไมโครเวฟ (Maskan, 2001), อบแห้งอบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ (Devahastin, Suvarnakuta, Soponronnarit & Mujumdar, 2004) เป็นต้น

เทคนิคพัฟฟิงด้วยอุณหภูมิสูงระยะเวลาสั้นเป็นเทคนิคที่น่าสนใจในการผลิตกล้วยกรอบเพราะเป็นวิธีที่มีความคุ้มค่ามากกว่าวิธีการอื่นดังที่กล่าวมาข้างต้น Hofsetz, Lopez, Hubinger, Mayor & Sereno (2007) พบว่ากล้วยที่แปรรูปด้วยเทคนิคพัฟฟิงร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อนมีปริมาตรมากกว่ากล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียวเพราะโครงสร้างกล้วยถูกไอน้ำแรงดันสูงกระทำจึงขยายตัวในระหว่างพัฟฟิง ปริมาตรที่มากขึ้นของผลิตภัณฑ์กล้วยส่งผลให้กล้วยมีเนื้อสัมผัสที่กรอบมากกว่าผลิตภัณฑ์กล้วยที่อบแห้งด้วยลมร้อนทั่วไป นอกจากนี้สภาพะพัฟฟิงส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์พัฟเมื่ออุณหภูมิพัฟฟิงสูงขึ้นและเวลาพัฟฟิงนานขึ้นช่วยให้ปริมาตรอาหารมีการขยายมากขึ้นและเนื้อสัมผัสกรอบมากขึ้น (Im, Huff & Hsieh, 2003; Saeleaw & Schleining, 2011) อย่างไรก็ตามระดับของสภาวะพัฟฟิงที่สูงส่งผลให้อาหารพัฟมีคุณภาพสีที่ด้อยลงเนื่องจากผิวอาหารเกิดสีน้ำตาลคล้ำและบางส่วนมีรอยไหม้เนื่องจากความร้อนสูงเกินพอดี (Tabtiang, Prachayawarakorn & Soponronnarit, 2016)

อย่างไรก็ตามงานวิจัยผลของสายพันธุ์พืชที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีไม่มากนัก Lefort, Durance & Upadhyayal (2003) รายงานว่าอิทธิพลของสายพันธุ์มันฝรั่งส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของมันฝรั่งแผ่นทอดกรอบ เนื้อสัมผัสมีความแข็งมากขึ้นตามความแน่นเนื้อและปริมาณแป้งที่มากขึ้น นอกจากนี้ Troncoso, Pedreshi & Zúñiga. (2009) รายงานว่าสายพันธุ์ของมันฝรั่งส่งผลต่อคุณภาพของมันฝรั่งทอด มันฝรั่งทอดพันธุ์ Desireé มีสีน้ำตาลคล้ำมากกว่ามันฝรั่งทอดพันธุ์ Panda เพราะมันฝรั่งพันธุ์ Desireé มีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 0.3 กิโลกรัมต่อ 100 กิโลกรัม ซึ่งมากกว่ามันฝรั่งพันธุ์ Panda ซึ่งมีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 0.03 กิโลกรัมต่อ 100 กิโลกรัม Mulla, Annapure, Bharadwaj & Singhal. (2016) รายงานว่าปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในกล้วยเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของการเกิดสีน้ำตาลในกล้วยอบแห้งเมื่อปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากขึ้นจะเร่งให้การเกิดสีน้ำตาลมากขึ้นตามไปด้วย

ในงานวิจัยเรื่องพัฟฟิงกล้วย (Tabtiang, Prachayawarakorn & Soponronnarit, 2012) ศึกษาการอบแห้งกล้วยน้ำว้าซึ่งมีปริมาณของแข็งละลายได้ 20-23 องศาบริกซ์ และ Raikham, Prachayawarakorn, Nathakaranakule & Soponronnarit (2013) ศึกษาการอบแห้งกล้วยหอมซึ่งมีปริมาณของแข็งละลายได้ 16-18 องศาบริกซ์ อย่างไรก็ตามยังไม่มีรายงานวิจัยศึกษาผลของสายพันธุ์กล้วยต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้สนใจศึกษาผลของสายพันธุ์กล้วยได้แก่ กล้วยน้ำว้าและกล้วยหอม และสภาวะพัฟฟิง ได้แก่ อุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิง ต่อคุณภาพของกล้วยกรอบด้านต่างๆ ได้แก่ สี อัตราส่วนปริมาตรและเนื้อสัมผัส

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบของสายพันธุ์กล้วยและสภาวะพัฟฟิงต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ

ระเบียบวิธีวิจัย

1. การเตรียมตัวอย่างกล้วยแผ่นสด

นำกล้วยน้ำว้าที่มีปริมาณของแข็งละลายได้ในช่วง 21-23 องศาบริกซ์ (Tabtiang et al., 2012) และกล้วยหอมที่มีปริมาณของแข็งละลายได้ในช่วง 16-18 องศาบริกซ์ (Raikham et al., 2013) มาปอกเปลือกและหั่นตามขวางด้วยเครื่องหั่นให้ได้ความหนา 2.5 มิลลิเมตร หลังจากนั้นนำกล้วยแผ่นมาลวกน้ำร้อนที่ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อลดการแพร่ผ่านของไอน้ำขณะพัฟฟิงและเพิ่มความยืดหยุ่นของเซลล์ซึ่งช่วยให้พัฟได้ดีขึ้น (Varnalis, Brennan & MacDougall, 2001)

2. กระบวนการแปรรูปกล้วยพัฟแบบหลายขั้นตอน

กระบวนการแปรรูปกล้วยในการทดลองนี้ใช้การแปรรูปแบบหลายขั้นตอนซึ่งประกอบไปด้วย ขั้นตอนแรกอบแห้งกล้วยด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนกระทั่งปริมาณความชื้นในกล้วยลดลงเหลือ 35% โดยฐานมวลแห้ง แล้วนำกล้วยเข้าสู่ขั้นตอนพัฟฟิงด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 2 และ 2.5 นาที ตามลำดับ หลังจากนั้นอบแห้งต่อในขั้นตอนสุดท้ายด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นในกล้วยลดลงเหลือไม่เกิน 4% โดยฐานมวลแห้ง การทดลองได้ออกแบบการทดลองแบบ full factorial เพื่อศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงต่อคุณภาพด้านต่างๆ ของกล้วยน้ำว้ากรอบและกล้วยหอมกรอบ ดังนั้นการทดลองจึงมี 18 ทรีทเมนต์โดยการทดลองแต่ละทรีทเมนต์ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

3. การวิเคราะห์ผล

3.1 การหาอัตราส่วนปริมาตรของกล้วย

การวัดปริมาตรของกล้วยทั้งก่อนและหลังการอบแห้งใช้ตัวอย่างกล้วยจำนวน 15 ชิ้น เพื่อทดสอบในแต่ละสภาวะการอบแห้ง การวัดปริมาตรใช้วิธีการแทนที่ในของแข็ง (solid displacement) โดยใช้ glass breads การคำนวณหาปริมาตรของกล้วยสามารถหาได้จากสมการด้านล่าง

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

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

การหาอัตราส่วนปริมาตรสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของกล้วยอบแห้งกรอบต่อปริมาตรของกล้วยสดดังสมการที่ (2)

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

เมื่อ V_i และ V คือ ปริมาตรของกล้วยสดและปริมาตรของกล้วยอบแห้งกรอบตามลำดับ

3.2 การวัดสี

กล้วยแผ่นสดและกล้วยกรอบวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสีของอาหาร (Colour Flex, Hunter Lab, UK) ทำการวัดค่าสีของกล้วยในแนวระนาบและแสดงค่าสีในเทอมของค่าความสว่าง (lightness; *L*), ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (redness; *a*) และค่าความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน (yellowness; *b*) การทดสอบจะวางตัวอย่างกล้วยบนแท่นวางแล้วครอบตัวอย่างกล้วยด้วยฝาโลหะก่อนวัดค่าสี ในการทดสอบจะใช้กล้วยแผ่นจำนวน 15 ตัวอย่างต่อสภาวะการอบแห้ง จากนั้นนำค่าสีที่วัดได้มาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE) จากสมการที่ (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 ค่าความสว่างของตัวอย่างกล้วยกรอบ, a_0 คือ ค่าความเป็นสีแดงของตัวอย่างกล้วยสด, a คือ ค่าความเป็นสีแดงของตัวอย่างกล้วยกรอบ, b_0 คือ ค่าความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างกล้วยสดและ b คือ ค่าความเป็นสีเหลืองของตัวอย่างกล้วยกรอบ

3.3 การวัดเนื้อสัมผัส

การทดสอบด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยกรอบใช้เครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัส (TA-XT2i, Stable Micro Systems Texture, UK) การทดสอบใช้แรงกดโดยใช้หัวกดแบบตัด (HDP-BSK type) ในการทดสอบกำหนดความเร็วในการกดทดสอบที่ 2 มิลลิเมตรต่อวินาที การทดสอบทำโดยวางกล้วยกรอบบนแท่นวางตัวอย่างแล้วใช้หัวกดกดลงกลางชิ้นกล้วยแผ่นจนกระทั่งกล้วยแผ่นแตกแยกออกจากกัน ทำการทดลองซ้ำ 15 ครั้งต่อสภาวะการอบแห้ง การพิจารณาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของกล้วยแผ่นพิจารณาจากค่าความแข็ง (hardness) และจำนวนยอด (the number of peaks) จากกราฟแรงกับระยะทาง (Force-deformation curve) ความแข็งพิจารณาจากค่าแรงสูงสุดจากกราฟและจำนวนยอดพิจารณาจากจุดเปลี่ยนความชันบนกราฟซึ่งจุดเปลี่ยนความชันบนกราฟเกิดจากหัวกดกดผ่านบริเวณที่มีรูพรุนหรือช่องว่างในอาหารกรอบ

3.4 การหาปริมาณน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตสและซูโครส

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในกลุ่มตัวอย่างกล้วยได้ดำเนินการตามวิธี AOAC (1995) นำตัวอย่างกล้วยสด 5 กรัม มาบดและผสมกับน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติม 15% $K_4(Fe(CN_6)) \cdot 3H_2O$ ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร และ 30% $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ปริมาตร 1.25 มิลลิลิตร เพื่อใช้สกัดโปรตีนในกล้วย ปริมาณตัวอย่างของเหลวที่ได้ถูกนำมาปรับปริมาตรโดยน้ำกลั่นจนได้ 100 มิลลิลิตร และกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 หลังจากนั้นสารละลายถูกกรองอีกครั้งผ่านกระดาษกรองขนาด 0.2 ไมโครเมตร แล้วเก็บตัวอย่างไว้ในตู้เย็นรอการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลโดยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) การวิเคราะห์ทำโดยนำตัวอย่างสารละลายปริมาตร 10 ไมโครลิตร ฉีดเข้าไปในเครื่อง HPLC

น้ำตาลฟรุกโตส กลูโคส และซูโครสที่อยู่ในสารละลายจะถูกแยกจากกันโดยวิธี isocratic แล้วนำผลการทดสอบของตัวอย่างที่ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐาน (standard curve)

3.5 การวิเคราะห์ปริมาณเพคติน

การวิเคราะห์ปริมาณเพคตินในกล้วยสดตามมาตรฐาน AOAC (1995) โดยนำตัวอย่างกล้วยสด 5 กรัม มาบดและผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วปรับค่า pH ให้ตัวอย่างกล้วยบดมีค่า pH อยู่ระหว่าง 2-3 ด้วยสารละลาย 10% HNO_3 จากนั้นนำตัวอย่างมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วปล่อยตัวอย่างของเหลวให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้องจากนั้นนำมาแยกตะกอนด้วยเครื่อง centrifuge โดยใช้แรงเหวี่ยงที่ 2700× เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำตัวอย่างมาปรับค่า pH ให้ได้ 4.5 ด้วยสารละลาย NaOH เข้มข้น 1 โมลาร์ แล้วทำให้ตัวอย่างเข้มข้นมากขึ้นด้วยเครื่อง rotary evaporator เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาเติม 95% Ethanol ด้วยอัตราส่วนปริมาตรของ Ethanol ต่อตัวอย่างเท่ากับ 4 : 1 แล้วตั้งสารละลายทิ้งไว้เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการแยกตัวของเพคตินดีขึ้น จากนั้นทำการแยกตะกอนด้วยเครื่อง centrifuge ที่แรงเหวี่ยง 2700× เป็นเวลา 15 นาที อีกครั้ง จากนั้นนำตะกอนที่ได้มาอบเพื่อกำจัดความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

4. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ข้อมูลคุณภาพด้านต่างๆ ของกล้วยกรอบจากการทดลอง ได้แก่ สี อัตราส่วนปริมาตรและเนื้อสัมผัส ถูกนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS® เวอร์ชั่น 22 (IBM Crop., Armonk, NY, USA) โดยทำการวิเคราะห์ผลด้วย ANOVA (Analysis of variance) ด้วยวิธี Turkey's multiple range test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเชิงพหุที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

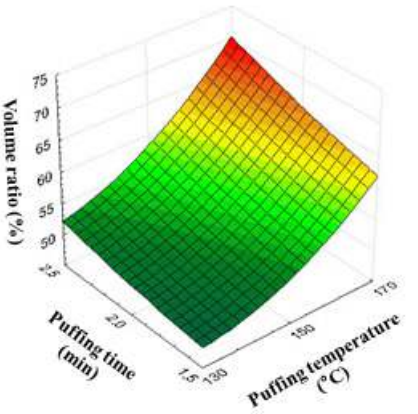
ผลการวิจัย

1. ผลของอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงต่ออัตราส่วนปริมาตร

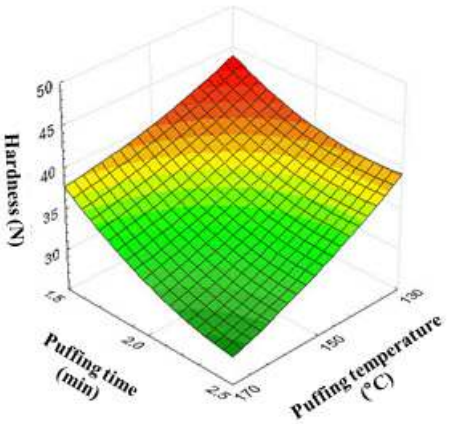
ภาพที่ 1 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงต่ออัตราส่วนปริมาตรของกล้วยน้ำว้ากรอบ อัตราส่วนปริมาตรของกล้วยกรอบมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเวลาพัฟฟิงนานขึ้น อัตราส่วนปริมาตรมีค่าสูงสุดเมื่ออุณหภูมิพัฟฟิงที่ 170 องศาเซลเซียส และเวลาพัฟฟิง 2.5 นาที อย่างไรก็ตามอุณหภูมิพัฟฟิงส่งผลต่อการขยายปริมาตรมากกว่าเวลาพัฟฟิงซึ่งพิจารณาจากความชันของกราฟในภาพที่ 1 การเพิ่มระดับอุณหภูมิพัฟฟิงส่งผลให้กราฟมีความชันมากกว่าการเพิ่มเวลาพัฟฟิง ส่วนผลของอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงต่ออัตราส่วนปริมาตรของกล้วยหอมกรอบพบว่าให้ผลในแนวทางเดียวกับกล้วยน้ำว้ากรอบ กล้วยหอมกรอบมีอัตราส่วนปริมาตรมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิพัฟฟิงสูงขึ้นและเวลาพัฟฟิงนานขึ้น

2. ผลของอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงต่อเนื้อสัมผัส

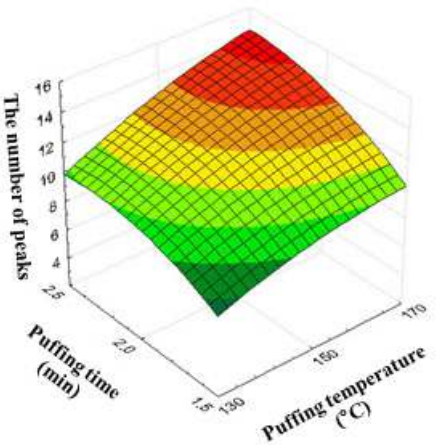
เนื้อสัมผัสของกล้วยน้ำว้ากรอบแสดงโดยค่าความแข็งและจำนวนของยอดดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ภาพที่ 2 แสดงผลของอุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงต่อความแข็งของเนื้อสัมผัสกล้วยน้ำว้ากรอบ ระดับอุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งของกล้วยกรอบ กล้วยน้ำว้ากรอบมีเนื้อสัมผัสที่แข็งสูงสุดภายใต้อุณหภูมิพัฟฟิงที่ 130 องศาเซลเซียส และเวลาพัฟฟิง 1.5 นาที เมื่อเพิ่มอุณหภูมิพัฟฟิงสูงกว่า 150 องศาเซลเซียสร่วมกับเวลาพัฟฟิงมากกว่า 2 นาที ส่งผลให้ความแข็งของเนื้อสัมผัสลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผลของอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงต่อความแข็งของกล้วยหอมกรอบพบว่าให้ผลในแนวทางเดียวกับกล้วยน้ำว้ากรอบ กล้วยหอมกรอบมีเนื้อสัมผัสที่แข็งลดลงเมื่ออุณหภูมิพัฟฟิงสูงขึ้นและเวลาพัฟฟิงนานขึ้น



ภาพที่ 1 ผลของอุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงต่ออัตราส่วนปริมาตร (%) ของกล้วยน้ำว้ากรอบ



ภาพที่ 2 ผลของอุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงต่อความแข็งของกล้วยน้ำว้ากรอบ

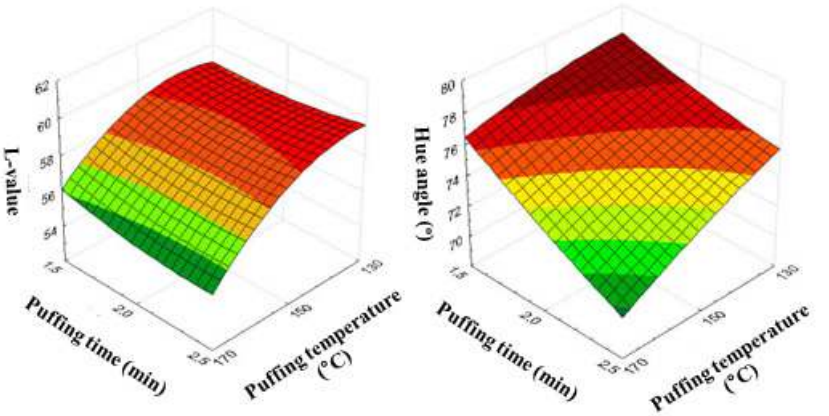


ภาพที่ 3 ผลของอุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงต่อจำนวนยอดของกล้วยน้ำว้ากรอบ

ภาพที่ 3 แสดงผลของอุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงต่อจำนวนยอดของกล้วยน้ำว้ากรอบ กล้วยกรอบมีค่าจำนวนยอดต่ำที่สุดภายใต้อุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงที่ 130 องศาเซลเซียส และ 1.5 นาที ตามลำดับ เมื่อระดับอุณหภูมิพัฟฟิงเพิ่มสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส ร่วมกับเวลาพัฟฟิงนานกว่า 2 นาที พบว่ากล้วยกรอบมีจำนวนยอดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผลของอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงต่อจำนวนยอดของกล้วยหอมกรอบพบว่าให้ผลในแนวทางเดียวกับกล้วยน้ำว้ากรอบ เมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงส่งผลให้จำนวนยอดเพิ่มขึ้น

3. ผลของอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงต่อสี

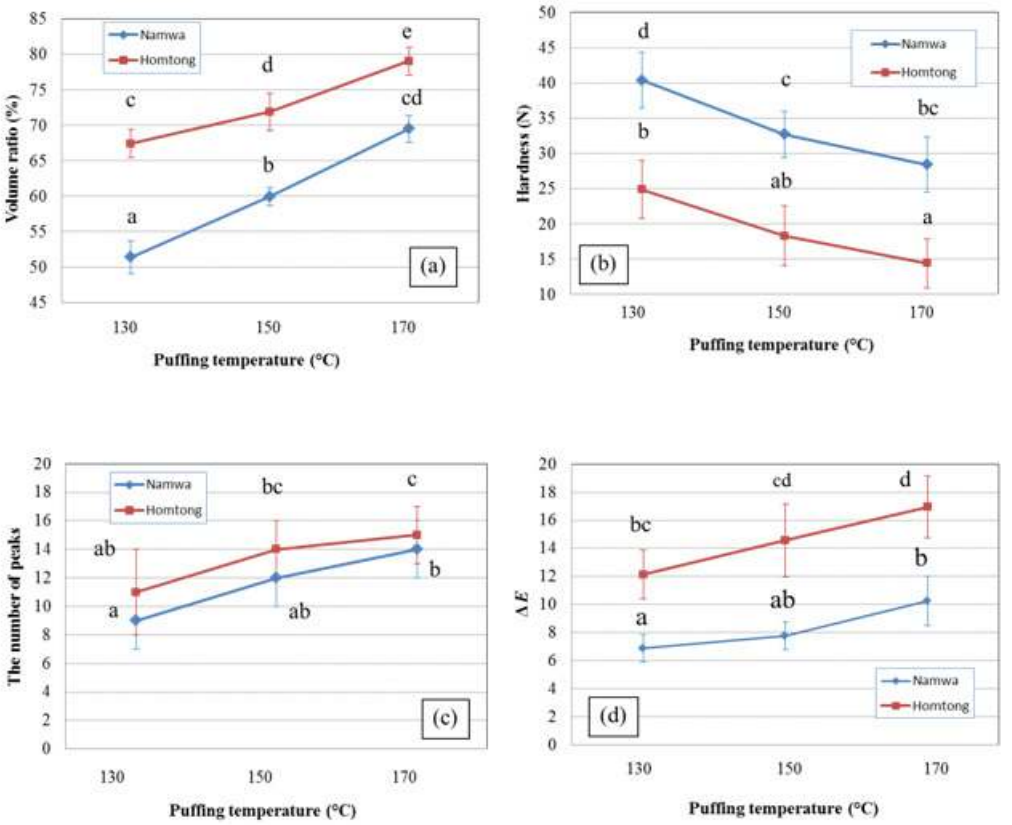
ภาพที่ 4 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงต่อค่าความสว่าง (L-value) และโทนสี (Hue angle) ของกล้วยน้ำว้ากรอบ เมื่อใช้อุณหภูมิพัฟฟิงที่ 130 องศาเซลเซียส พบว่ากล้วยน้ำว้ากรอบมีค่าความสว่างและค่าโทนสีสูงสุด ค่าความสว่างและค่าโทนสีมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิพัฟฟิง อย่างไรก็ตามเวลาพัฟฟิงส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าโทนสีเท่านั้น ส่วนผลของอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงต่อค่าความสว่างและโทนสีของกล้วยหอมกรอบพบว่าให้ผลในแนวทางเดียวกับกล้วยน้ำว้ากรอบ เมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงจึงส่งผลให้ค่าความสว่างและค่าโทนสีลดลง



ภาพที่ 4 ผลของอุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงต่อค่าความสว่างและโทนสีของกล้วยน้ำว้ากรอบ

4. ผลของสายพันธุ์กล้วยต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

คุณภาพของกล้วยน้ำว้าและกล้วยหอมกรอบด้านต่างๆ ถูกนำมาเปรียบเทียบกันดังแสดงในภาพที่ 5 กล้วยน้ำว้ากรอบมีอัตราส่วนปริมาตรน้อยกว่ากล้วยหอมกรอบในทุกระดับอุณหภูมิพัฟฟิงดังแสดงในภาพที่ 5 (a) นอกจากนี้กล้วยน้ำว้ากรอบมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่ากล้วยหอมกรอบในทุกระดับอุณหภูมิพัฟฟิงดังแสดงในภาพที่ 5 (b) อย่างไรก็ตามจำนวนยอดของกล้วยน้ำว้ากรอบและกล้วยหอมกรอบไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกระดับอุณหภูมิพัฟฟิงดังแสดงในภาพที่ 5 (c) นอกจากนี้สายพันธุ์ของกล้วยยังส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบ กล้วยน้ำว้ากรอบมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม (ΔE) ต่ำกว่ากล้วยหอมกรอบอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในภาพที่ 5 (d) นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากรูป 5 (d) จะพบว่ากล้วยหอมกรอบมีค่า ΔE เพิ่มขึ้นสูงกว่ากล้วยน้ำว้ากรอบเมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิพัฟฟิง



ภาพที่ 5 ผลของอุณหภูมิพัฟฟิงต่อ (a) อัตราส่วนปริมาตร (%), (b) ความแข็ง (c) จำนวนยอดและ (d) การเปลี่ยนแปลงสีโดยรวมของกล้วยน้ำว้ากรอบ (◆) และกล้วยหอมกรอบ (■)

ตารางที่ 1 ปริมาณของน้ำตาลซูโครส กลูโคส ฟรุกโตสและเพคตินในกล้วยน้ำว้าสดและกล้วยหอมสด

Banana variety	Sucrose (g/g dry mass)	Fructose (g/g dry mass)	Glucose (g/g dry mass)	Pectin (g/g dry mass)
Namwa	0.29	0.061	0.065	0.28
Homtong	0.34	0.084	0.086	0.18

ตารางที่ 2 เนื้อสัมผัสของกล้วยน้ำว้ากรอบและกล้วยหอมกรอบที่วางขายเชิงพาณิชย์

Banana variety	Hardness (N)
Namwa	32.4 ± 5.6
Homtong	12.27 ± 6.4

* หมายเหตุ สีของกล้วยกรอบจากการทดลองไม่สามารถเปรียบเทียบกับสีของกล้วยที่วางขายทั่วไปเนื่องจากมีการเติมแต่งด้วย สารปรุงรส

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของกล้วยน้ำว้าสดและกล้วยหอมสด กล้วยน้ำว้ามีปริมาณของเพคตินสูงกว่ากล้วยหอม อย่างไรก็ตามกล้วยหอมมีปริมาณของน้ำตาลซูโครส กลูโคสและฟรุกโตสสูงกว่ากล้วยน้ำว้า องค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันระหว่างกล้วยทั้งสองสายพันธุ์ส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของกล้วยกรอบทั้งสองพันธุ์มีความแตกต่างกัน

ตารางที่ 2 จากข้อมูลเนื้อสัมผัส (ความแข็ง) ของกล้วยน้ำว้ากรอบและกล้วยหอมกรอบที่วางขายทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางเนื้อสัมผัสพบว่าความแข็งของกล้วยน้ำว้ากรอบมีค่าสูงกว่ากล้วยหอมกรอบและผลการวิเคราะห์เนื้อสัมผัสที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับกล้วยกรอบที่ได้จากการทดลอง

อภิปรายผล

กล้วยกรอบมีอัตราส่วนปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่อระดับอุณหภูมิพัฟฟิงสูงขึ้นและเวลาพัฟฟิงนานขึ้นดังแสดงในภาพที่ 1 เพราะอุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงที่สูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนจากลมร้อนสู่กล้วยแผ่นมากขึ้น ดังนั้นอุณหภูมิในกล้วยแผ่นจึงเพิ่มขึ้นรวดเร็วมากขึ้นส่งผลให้น้ำที่อยู่ในกล้วยแผ่นระเหยและสร้างความดันไอในกล้วยแผ่นมากขึ้น (Mudahar, Toledo, Floros & Jen, 1989; Im, Huff & Hsieh, 2003)

อัตราส่วนปริมาตรกล้วยกรอบที่ขยายมากขึ้นเมื่อเพิ่มระดับของปัจจัยพัฟฟิงทั้งสองปัจจัยส่งผลให้กล้วยกรอบมีเนื้อสัมผัสที่แข็งลดลงดังแสดงในภาพที่ 2 เพราะว่าอัตราส่วนปริมาตรของกล้วยกรอบมีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้โครงสร้างภายในกล้วยมีความพรุนตัวมากขึ้นซึ่งโครงสร้างลักษณะที่ได้นี้ทำให้ความสามารถต้านทานต่อแรงกระทำภายนอกลดลงดังนั้นกล้วยกรอบจึงมีความแข็งลดลง (Hofsetz, Lopez, Hubinger, Mayor & Sereno, 2007; Tabtiang, Prachayawarakorn & Soponronnarit, 2016) นอกจากนี้โครงสร้างภายในที่มีความพรุนตัวสูงทำให้จำนวนยอดเพิ่มขึ้นด้วยดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Tabtiang et al., (2012) ซึ่งรายงานว่ากล้วยกรอบมีเนื้อสัมผัสที่กรอบมากขึ้นเมื่อมีความแข็งลดลงและจำนวนยอดเพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์สีทั้งสองสัมพันธ์กับการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล เมื่อค่าความสว่างและค่าโทนสีลดลงบ่งบอกว่าผลิตภัณฑ์มีการเกิดสีน้ำตาลมากขึ้น (Rocha & Morais, 2003; Tabtiang, Prachayawarakorn & Soponronnarit, 2016) เมื่อใช้อุณหภูมิพัฟฟิงที่ 130 องศาเซลเซียส พบว่ากล้วยน้ำว้ามีสีเหลืองทองส่งผลให้ค่าความสว่างและค่าโทนสีมีค่าสูงสุด เมื่ออุณหภูมิพัฟฟิงสูงขึ้นพบว่าผิวของกล้วยกรอบมีสีน้ำตาลมากขึ้นโดยกล้วยน้ำว้ากรอบมีสีเหลืองอมน้ำตาลบริเวณขอบส่งผลให้ค่าความสว่างและค่าโทนสีมีค่าลดลง การเพิ่มระดับอุณหภูมิพัฟฟิงทำให้เกิดสีน้ำตาลบนผิวอาหารอบแห้งมากขึ้นเนื่องจากการเพิ่มระดับอุณหภูมิจะเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดมากขึ้น (Purlis, 2010) เมื่อพิจารณากล้วยหอมกรอบพบว่าผิวของกล้วยหอมกรอบจะเปลี่ยนจากสีเหลืองอมน้ำตาลเป็นสีเหลืองอมน้ำตาลมากขึ้นและมีรอยไหม้บางส่วน เมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิพัฟฟิงและเวลาพัฟฟิงส่งผลให้ค่าความสว่างและค่าโทนสีลดลงด้วยเช่นกัน

เมื่อเปรียบเทียบผลของสายพันธุ์ต่อคุณภาพของกล้วยกรอบ พบว่า กล้วยน้ำว้ากรอบมีอัตราส่วนปริมาตรต่ำกว่ากล้วยหอมกรอบในทุกระดับอุณหภูมิพัฟฟิงดังแสดงในภาพที่ 5 (a) เพราะว่า กล้วยน้ำว้ามีปริมาณเพคตินสูงกว่ากล้วยหอมดังแสดงในตารางที่ 1 เพกตินเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโครงสร้างเซลล์ในชั้น middle lamella ซึ่งช่วยเชื่อมเซลล์ให้ติดกัน (Redgwell, Melton & Brasch, 1992) ดังนั้นปริมาณของเพคตินที่สูงขึ้นทำให้โครงสร้างกล้วยมีความแข็งแรงมากขึ้นด้วยสาเหตุนี้จึงส่งผลให้โครงสร้างกล้วยน้ำว้าขยายตัวได้น้อยกว่า กล้วยหอมในขณะพัฟฟิง กล้วยน้ำว้ากรอบซึ่งมีอัตราปริมาตรน้อยกว่ากล้วยหอมกรอบจึงมีความพรุนตัวน้อยกว่าส่งผลให้มีความแข็งของเนื้อสัมผัสสูงกว่ากล้วยหอมกรอบในทุกระดับอุณหภูมิพัฟฟิง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lefort, Durance & Upadhyayal. (2003) ซึ่งรายงานว่า ความหนาแน่นของโครงสร้างภายในส่งผลกระทบต่อเนื้อสัมผัสของมันฝรั่งทอดกรอบ โครงสร้างภายในของมันฝรั่งสายพันธุ์ที่มีความหนาแน่นสูงจะมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่ามันฝรั่งสายพันธุ์ซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่า

นอกจากนี้สายพันธุ์ของกล้วยยังส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบ โดยรวมสีของผลิตภัณฑ์กล้วยทั้งสองสายพันธุ์มีสีเหลืองอมน้ำตาล แต่กล้วยน้ำว้ากรอบมีสีน้ำตาลปนน้อยกว่ากล้วยหอมกรอบในทุกระดับอุณหภูมิพัฟฟิง เนื่องจากกล้วยน้ำว้ากรอบมีการเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่ากล้วยหอมกรอบในระหว่างการอบแห้ง ดังนั้นกล้วยน้ำว้ากรอบจึงมีค่า **ΔE** ต่ำกว่ากล้วยหอมกรอบอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในภาพที่ 5 (d) การเปลี่ยนแปลงสีของกล้วยน้ำว้ากรอบน้อยกว่ากล้วยหอมกรอบ เนื่องจากกล้วยน้ำว้ามีปริมาณน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโตสน้อยกว่ากล้วยหอมดังแสดงในตารางที่ 1 Mulla, Annapure, Bharadwaj & Singhal. (2016) รายงานว่าน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาเมลลาร์ดซึ่งทำให้เกิดสีน้ำตาลบนผิวกล้วยอบแห้งกรอบ กล้วยในสภาวะที่มีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวน้อยกว่าจะเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่ากล้วยในสภาวะที่มีปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวมากกว่า นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากรูป 5 (d) จะพบว่าผลของปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่สูงในกล้วยหอมส่งผลให้กล้วยหอมมีความไวต่อการเปลี่ยนสีมากกว่ากล้วยน้ำว้าเมื่อเพิ่มระดับอุณหภูมิพัฟฟิง

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกล้วยกรอบทั้งสองสายพันธุ์ที่ได้จากการทดลองกับกล้วยกรอบที่วางขายทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า การแปรรูปกล้วยแผ่นควรใช้อุณหภูมิพัฟฟิงสูงกว่า 130 องศาเซลเซียส เพราะส่งผลให้เนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบไม่แตกต่างกับกล้วยกรอบที่วางขายทั่วไป ซึ่งความแข็งของกล้วยน้ำว้ากรอบและกล้วยหอมกรอบมีค่าระหว่าง 28.4 - 35.2 และ 14.1-18.2 นิวตัน ตามลำดับ นอกจากนี้เวลาพัฟฟิงควรใช้อย่างน้อย 2 นาที เพื่อให้กล้วยกรอบมีปริมาตรสูงซึ่งเป็นลักษณะปรากฏที่ดีและดึงดูดใจผู้บริโภค อย่างไรก็ตามกล้วยกรอบทั้งสองสายพันธุ์มีสีน้ำตาลและมีรอยไหม้บริเวณของผิวและขอบเมื่อใช้อุณหภูมิพัฟฟิงที่ 170 องศาเซลเซียส ดังนั้นกล้วยทั้งสองสายพันธุ์ควรพัฟฟิงที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 2 นาที

สรุป

สายพันธุ์ของกล้วยส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบ ปริมาณของเพคตินในกล้วยน้ำว้าที่สูงทำให้กล้วยน้ำว้ามีปริมาตรน้อยกว่ากล้วยหอมส่งผลให้กล้วยน้ำว้ามีโครงสร้างภายในที่แน่นหรือมีรูพรุนที่ต่ำกว่าดังนั้นกล้วยน้ำว้ากรอบจึงมีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่ากล้วยหอมกรอบ นอกจากนี้ปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวในกล้วยน้ำว้าที่น้อยว่าส่งผลให้กล้วยน้ำว้ากรอบเกิดสีน้ำตาลบนผิวน้อยกว่ากล้วยหอมกรอบ อุณหภูมิพัฟฟิงสูงขึ้นและเวลาพัฟฟิงนานขึ้นช่วยให้กล้วยกรอบทั้งสองสายพันธุ์มีปริมาตรมากขึ้นและมีเนื้อสัมผัสที่แข็งลดลง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิพัฟฟิงที่สูงขึ้นส่งผลให้กล้วยกรอบเกิดสีน้ำตาลบนผิวมากขึ้นและเกิดรอยไหม้บริเวณขอบเมื่อใช้ระดับอุณหภูมิพัฟฟิงสูงสุด ดังนั้นสภาวะการแปรรูปที่เหมาะสมของกล้วยกรอบทั้งสองสายพันธุ์ควรใช้อุณหภูมิพัฟฟิงที่ 150 องศาเซลเซียส และเวลาพัฟฟิง อย่างน้อย 2 นาที เพื่อให้กล้วยกรอบมีเนื้อสัมผัสที่ใกล้เคียงกับกล้วยกรอบที่ขายเชิงพาณิชย์ รวมทั้งทำให้กล้วยกรอบมีลักษณะปรากฏและสีที่ยอมรับได้

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยที่จะศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตเป็นการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสเพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลระหว่างการทดสอบทางประสาทสัมผัสกับเครื่องมือทดสอบ รวมทั้งการทดสอบทางประสาทสัมผัสช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยกรอบให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยนี้ตามสัญญาเลขที่ KMUTNB-NEW-57-13

รายการอ้างอิง (Reference)

AOAC. (1995). *Official Methods of Analysis.* (15th ed.). Washington, DC, USA: Association of Official Analytical Chemists.

Devahastin, S., Suvarnakuta, P., Soponronnarit, S. & Mujumdar, A.S. (2004). A comparative study of low-pressure superheated steam and vacuum drying of a heat-sensitive material. *Drying Technology, 22*, 1845-1867.

Hofsetz, K. & Lopes, C.C. (2005). Crispy banana obtained by the combination of a high temperature and short time drying stage and a drying process. *Brazilian Journal of Chemical Engineering, 22*(2), 285-292.

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.

Im, J.S., Huff, H.E. & Hsieh, F.H. (2003). Effect of processing condition on the physical and chemical properties of buckwheat grit cake. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51*(3), 659-666.

Lefort, J.F., Durance, T.D. & Upadhyayal, M.K. (2003). Effect of tuber storage and cultivar on the quality of vacuum microwave dried potato chips. *Journal of Food Science, 68*, 690-696.

Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifriut during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering, 48*, 169-175.

Mulla M.Z., Annapure U.S., Bharadwaj, V.R. & Singhal, R.S. (2016). A study on the kinetics of acrylamide formation in banana chips. *Journal of Food Processing and Preservation,* doi: 10.1111/jfpp.12739.

Mudahar, G.S., Toledo, R.T., Floros, J.D. & Jen, J.J. (1989). Optimization of carrot dehydration process using response surface methodology. *Journal of Food Science, 54*(3), 714 - 719.

Purlis, E. (2010). Browning development in bakery product. *Journal of Food Engineering, 99*, 169-175.

Raikham, 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. & Brasch, D.J. (1992). Cell wall dissolution in ripening kiwifruit (Actinidia delicosa): solubilisation of pectic polymers. *Plant Physiology, 98*, 71-81

Rocha, A.M.C.N. & Morais, A.M.M.B. (2003). Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by colour change. *Food Control, 14*, 13-20.

Saca, A.S. & Lozano, E.J. (1992). Explosion puffing of bananas. *International Journal of Food Science and Technology, 27*, 419-426.

Saeleaw, M. & Schleining, G. (2011). Effect of frying parameters on crispiness and sound emission of cassava crackers. *Journal of Food Engineering, 103*, 229-236.

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). Optimum condition of producing crisp osmotic banana using superheated steam puffing. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 97*, 1244-1251

Troncoso, E., Pedreschi, F. & Zúñiga, R.N. (2009). Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. *LWT-Food Science and Technology, 42*, 187-195.

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.