

ผลของอุณหภูมิและเวลาพuffingต่อคุณภาพของข้าวพองที่ผลิตจาก
ข้าวเหนียวกล้อง กข 6
Effect of Temperature and Puffing Time on the Qualities of
Puffed Rice Produced by RD6 Glutinous Rice

ชลลดา ไร่ขาม^{1*} และ อรวรรณ รั้วทอง²

Chonlada Raikham and Orawan Rewthong

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด

²ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพฯ

วันที่ส่ง : 23 มีนาคม 2561 วันที่แก้ไข : 7 พฤษภาคม 2561 วันที่ตอบรับ : 22 มิถุนายน 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาพuffingที่มีผลต่อคุณภาพของข้าวพองที่ทำจากข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข 6 ซึ่งผ่านการพuffingด้วยอุณหภูมิ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 3 และ 4 นาที ภายใต้ความชื้นเริ่มต้นของข้าวก่อนการพuffingร้อยละ 30 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง ผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิและเวลาพuffingเพิ่มขึ้น ทำให้ความชื้นในเมล็ดข้าวลดลงเร็วขึ้น ส่งผลต่อระยะเวลาการอบแห้งตลอดกระบวนการพuffingสั้นลง เมื่อพิจารณาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวหลังผ่านกระบวนการพuffing พบว่าอุณหภูมิพuffingที่สูงขึ้นในช่วง 170-190 องศาเซลเซียส เป็นเวลาระหว่าง 2-4 นาที ส่งผลต่ออัตราการพองตัวของเมล็ดข้าวลดลง และส่งผลต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งลดลงอยู่ในช่วง 15-29 นิวตัน ขณะที่มีความกรอบเพิ่มขึ้น ซึ่งพิจารณาในเทอมของค่าความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 28-51 นิวตันต่อมิลลิเมตร และจำนวนยอดมีค่าอยู่ในช่วง 3-5 และลักษณะสีฐานบริเวณผิวของเมล็ดข้าวมีการแปรแสงตกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าว ทำให้เมล็ดข้าวมีค่าความสว่าง L^* ลดลงเล็กน้อยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าความเป็นสีแดง a^* และค่าความเป็นสีเหลือง b^* เพิ่มขึ้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งลักษณะสีที่ปรากฏของเมล็ดข้าวเป็นสีเหลืองทอง และสภาวะที่เหมาะสมในการพuffingข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข 6 คือทำการพuffingด้วยอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

คำสำคัญ : การพuffing ข้าวเหนียวกล้อง กข 6 อัตราการพองตัว เนื้อสัมผัส สี

Abstract

The objectives of this study were to determine the effect of puffing temperature and puffing time on qualities of puffed rice from RD6 glutinous rice. These were puffed by

*ที่อยู่ติดต่อ. โทรศัพท์: 043-556001 (ต่อ 101) E-mail address: chonlada.ri@gmail.com

puffing temperature of 150, 170 and 190°C for puffing time of 2, 3 and 4 minutes under intermediate moisture content of 30% (d.b.). The experimental result showed that an increased puffing temperature and puffing time led to the faster drying rate and resulted in shorter drying time in all puffing processes. The physical properties of rice kernel after puffing process, it was found that at the higher puffing temperature in the range of 170-190°C and puffing time in the range of 2-4 minutes resulted in decrease of volume expansion ratio. It was found that this condition resulting textural properties in terms of decrease in hardness in the range of 15-29 N and an increased crispiness that was considered in terms of initial slope in the range value of 28-51 N/mm and number of peak in the range value of 3-5. Moreover, the morphology of the grain surface is increased brittle. The color change of the puffed rice made in L*-value decreased significantly but the a* and b*-value increased significantly. The appearance of the puffed rice was golden yellow. The optimum conditions for puffing RD6 glutinous rice were puffed by temperature of 190°C for puffing time of 3 minutes.

Keywords: Puffing, RD6 glutinous rice, Volume expansion ratio, Texture, Color

1. บทนำ

ข้าวเหนียวสายพันธุ์ กข 6 (*Oryza sativa* var. *glutinosa*) นิยมปลูกกันโดยแพร่หลายในประเทศไทยและยังให้ผลผลิตเฉลี่ยที่สูง อีกทั้งมีคุณภาพการหุงต้มที่ดี มีความนุ่มและมีกลิ่นหอมเหมือนข้าวหอมมะลิ [1] ข้าวเหนียวขาวโดยทั่วไปจะผ่านการขัดสี ทำให้เยื่อหุ้มเมล็ดข้าวและจมูกข้าวหลุดออกไป ดังนั้นคุณค่าทางสารอาหารจึงมีเพียงคาร์โบไฮเดรตเป็นหลัก ขณะที่โปรตีนและวิตามินเป็นส่วนน้อย ส่วนข้าวเหนียวกล้องจะมีลักษณะสีน้ำตาลอ่อน และอุดมไปด้วยสารอาหารจำนวนมาก เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ แร่ธาตุ และวิตามินต่างๆ รวมทั้งกากใยอาหาร [2] นอกจากนี้แล้วข้าวเหนียวกล้องยังมีสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกที่มีสมบัติในการยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน [3] โดยสารประกอบฟีนอลจะทำหน้าที่กำจัดอนุมูลอิสระและไอออนของโลหะ สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันและโมเลกุลอื่นๆ โดยใช้ตัวเองเป็นตัวรับอนุมูลอิสระ ทำให้ยับยั้งปฏิกิริยาถูกโซ่ที่มีอนุมูลอิสระ การแปรรูปข้าวเหนียวนิยมนำมาทำข้าวพอง เนื่องจากข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลเพคตินสูงถึงร้อยละ 92-100 และมีปริมาณของอะไมโลสร้อยละ 0-8 ของน้ำหนักเมล็ด [4] ซึ่งอะไมโลเพคตินมีพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคสที่จัดเรียงตัวเป็นสายตรงและสายแขนง เมื่อนำไปผ่านการต้มจนสุกจะมีลักษณะใส เหนียว เจลอ่อน และเกิดการคืนตัวได้ยาก (retrogradation) จึงมีผลต่อการพองตัว การแปรรูปข้าวเหนียวในปัจจุบันนิยมนำมาทำข้าวพองโดยใช้ น้ำมันในการทอด เพื่อให้เมล็ดข้าวเกิดการพองตัว อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์ที่ได้มักมีสีเข้มไม่สม่ำเสมอ ระยะเวลาการเก็บรักษาหลังการแปรรูปสั้น เนื่องจากมีกลิ่นหืนจากน้ำมัน และปริมาณของน้ำมันที่สูง ซึ่งอาจไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคที่ใส่ใจในสุขภาพ เพราะไขมันก่อให้เกิดโรคหัวใจ ความดันโลหิตสูง และ

โรคอ้วน เป็นต้น ดังนั้นวิธีการทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการพองตัวหรือพuffing) ด้วยเทคนิคฟลูอิดเซชัน จึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากตัวกลางสามารถสัมผัสกับผิววัสดุได้ทั่วทั้งผิว จึงทำให้เมล็ดข้าวเกิดการพองตัวอย่างสม่ำเสมอ รวมถึงระยะเวลาที่ใช้สั้น ส่งผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงมาก ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบันที่นิยมเลือกผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพมากขึ้น จากผลการศึกษาการพuffing ข้าวโดยใช้เมล็ดทรายเป็นตัวกลางในการส่งผ่านความร้อนไปยังเมล็ดข้าว พบว่า อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลต่อการพองตัวของเมล็ดข้าวเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการระเหยของความชื้นภายในเมล็ด ส่งผลให้เกิดแรงดันไอน้ำภายในวัสดุสูง ทำให้เกิดช่องว่างภายในเมล็ด [5] โดยอิทธิพลของปริมาณความชื้นของวัสดุก่อนการพuffing อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการพuffing เป็นปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการพuffing ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ขณะที่ปัจจัยของการลวก หรือการนึ่งผลิตภัณฑ์ก่อนนำไปผ่านกระบวนการพuffing สามารถเพิ่มความยืดหยุ่น และลดการซีมผ่านของแรงดันไอน้ำออกจากวัสดุได้ จึงทำให้วัสดุเกิดการขยายตัวได้ดีระหว่างพuffing [6] นอกจากนี้แล้วปัจจัยของความชื้นเริ่มต้นของวัสดุก่อนการพuffing มีผลต่ออัตราการขยายตัวของวัสดุ ซึ่งผลการศึกษาของ Shilton และคณะ รายงานว่าความชื้นเริ่มต้นของมันฝรั่งที่ต่ำจนเกินไป มีผลต่ออัตราการขยายตัวลดลง เนื่องจากความชื้นก่อนการพuffing เหลือน้อย ดังนั้นปริมาณน้ำที่อยู่ภายในวัสดุจึงมีไม่เพียงพอต่อการเดือด และระเหยจนกระทั่งกลายเป็นไอ ส่งผลให้มีการขยายตัวได้น้อย [7] สำหรับกระบวนการพuffing ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน [8] ดังนี้ (1) ลดความชื้นของวัสดุ เพื่อให้บริเวณผิวของวัสดุเกิดการแข็งตัว ทำให้เป็นอุปสรรคขัดขวางต่อการเคลื่อนตัวของความชื้นจากภายในวัสดุออกสู่ภายนอก (2) นำวัสดุที่ผ่านการลดความชื้นไปพuffing ด้วยอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลาที่สั้น ซึ่งทำให้น้ำที่อยู่ภายในวัสดุระเหย และกลายเป็นไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว มีผลต่อแรงดันไอน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้โครงสร้างภายในวัสดุเกิดการขยายตัว ซึ่งลักษณะโครงสร้างของเมล็ดธัญพืชหลังผ่านกระบวนการพuffing เกิดการขยายตัวและมีรูพรุนเพิ่มขึ้น [9] และ (3) หลังจากอบแห้งที่อุณหภูมิสูงแล้ว จึงนำไปอบแห้งต่อด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิต่ำในซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเกิดการขยายตัวเชิงปริมาตรของข้าว จึงส่งผลให้เกิดรูพรุนขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ขึ้นภายในเมล็ดข้าว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในกระบวนการพuffing นั้นใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูง จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการขยายตัวของไอน้ำอย่างรวดเร็วภายในเมล็ด ส่งผลต่อโครงสร้าง และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาพuffing ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางด้านกายภาพได้แก่ อัตราการขยายตัว ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ เพื่อเพิ่มมูลค่าและความหลากหลายของขนมขบเคี้ยวจากข้าว

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

การศึกษานี้ใช้ตัวอย่างข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข 6 ในปริมาณ 350 กรัม นำมาล้างให้สะอาดในน้ำที่อุณหภูมิแวดล้อม เพื่อล้างฝุ่นละอองออก จากนั้นนำข้าวมาหุงด้วยอัตราส่วนข้าวต่อน้ำ 1: 1.25 เท่า โดยใช้หม้อหุงข้าวไฟฟ้า (National, model SR-818HN, Bangkok, Thailand) เป็นเวลา 19 นาที โดยค่าความชื้นของข้าวที่หุงสุกมีค่าประมาณร้อยละ 115 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง เมื่อหุงข้าวเสร็จแล้วเก็บข้าวไว้ที่อุณหภูมิแวดล้อมเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำข้าวมาล้างในน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วินาที เพื่อล้างความเป็นกาวที่บริเวณผิวของเมล็ดข้าว และเป็นการป้องกันการเกาะติดกันระหว่างเมล็ด

ข้าว [10] จากนั้นนำเมล็ดข้าวมาพักไว้เพื่อให้สะเด็ดน้ำเป็นเวลา 5 นาที โดยความชื้นของข้าวหุงสุกภายหลังจากการนำมาล้างในน้ำมีค่าความชื้นประมาณร้อยละ 148.59 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง การหาความชื้นของข้าวใช้วิธีการหาตามมาตรฐาน [11] ดังสมการ (1)

$$M_d = \left(\frac{w-d}{d} \right) \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_d = ความชื้นมาตรฐานแห้ง, ร้อยละ
 w = น้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้ง, กรัม
 d = น้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง, กรัม

2.2 กระบวนการพัฟฟิง

ขั้นตอนการอบแห้งประกอบด้วย 3 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกนำข้าวไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบถาดซึ่งมีห้องอบแห้งขนาด $0.55 \times 0.55 \times 0.55$ เมตร ในการลดความชื้นของตัวอย่างลงให้เหลือประมาณร้อยละ 30 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง เพื่อให้บริเวณผิวของวัสดุเกิดการแข็งตัว ซึ่งเป็นอุปสรรคขัดขวางต่อการเคลื่อนตัวของความชื้นจากภายในวัสดุออกสู่ภายนอก โดยใช้ความเร็วเฉลี่ยของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งประมาณ 2 เมตรต่อวินาที จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการลดความชื้นไปทำให้พองตัว โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไอเซชันด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 3 และ 4 นาที ด้วยความเร็วลมอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งประมาณ 3.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งในขั้นตอนการทำให้ข้าวพองนี้จะใช้ตัวอย่างในปริมาณ 50 กรัม ต่อการทดลองหนึ่งครั้ง หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างข้าวกล้องที่ผ่านการพัฟฟิงไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่สถานะเดียวกับขั้นตอนแรกจนกระทั่งได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการคือประมาณร้อยละ 4 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง

2.3 การทดสอบคุณภาพด้านอัตราส่วนการขยายตัว

นำตัวอย่างหลังผ่านการอบแห้งในขั้นตอนสุดท้ายมาหาความหนาแน่น โดยใช้ภาชนะที่ทราบปริมาตรแน่นอน โดยนำเมล็ดข้าวใส่กระป๋องอลูมิเนียมรูปทรงกระบอกจนเต็ม และใช้กระดาษแข็งเคลือบเมล็ดข้าวบริเวณผิวกระป๋องอลูมิเนียม และนำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่าน้ำหนักต่างๆ [12] ซึ่งอัตราส่วนการขยายตัวคำนวณได้ดังสมการ (2)

$$\text{อัตราส่วนการขยายตัว} = \frac{\text{ความหนาแน่นของข้าวหลังพัฟฟิง}}{\text{ความหนาแน่นของข้าวก่อนพัฟฟิง}} \quad (2)$$

2.4 การทดสอบคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส

การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสหลังการอบแห้งจะทดสอบโดยใช้เครื่อง Texture analyzer รุ่น TA-XT plus (Stable Microsystems Texture Technologies Inc., UK) โดยจะทำการทดสอบในลักษณะของแรงกดใช้หัวกดแบบ Cylindrical Probe ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร

และความเร็วในการกด 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที กดจนกระทั่งตัวอย่างแตกด้วยระยะรอยละ 30 ของความเครียดจากการเปลี่ยนแปลงวัตถุ (Strain) ที่อัตราเร็วในการกดตัวอย่าง 1 มิลลิเมตรต่อวินาที [13] พิจารณาคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวจากค่าความแข็ง (Hardness) ความชันเริ่มต้น (Initial Slope) แสดงถึง ความต้านทานต่อการโค้งงอของผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบมากจะมีแรงต้านทานต่อการโค้งงอมาก และผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบน้อยก็จะมีแรงต้านต่อการโค้งงอต่ำ และจำนวนยอด (Number of Peaks) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความชัน โดยเกิดจากผลิตภัณฑ์มีช่องว่างหรือโพรงอากาศภายใน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบมากจะมีจำนวนยอดมาก [14] ในการทดสอบใช้ตัวอย่างเมล็ดข้าวจำนวนหนึ่งเมล็ดต่อการกดแต่ละครั้ง โดยทำการกด 30 เมล็ดต่อหนึ่งเงื่อนไข และนำค่าเฉลี่ยมาแสดงผล

2.5 การทดสอบคุณลักษณะด้านสี

ข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้งในขั้นตอนสุดท้ายถูกนำมาวัดคุณลักษณะด้านสีด้วยเครื่องวัดสีอาหาร (Colour Flex, Hunter Lab, UK) โดยทำการวัดค่าสีของข้าวตามระบบ Hunter ซึ่งแสดงค่าสีในเทอมของค่าความสว่าง (Lightness: L^*) ค่าความเป็นสีแดงและสีเขียว (Redness: a^*) และค่าความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน (Yellowness: b^*) โดยมีค่าเข้าใกล้ 0° จะจัดอยู่ในกลุ่มสีแดงและค่าเข้าใกล้ 90° จะจัดอยู่ในกลุ่มสีเหลือง

2.6 การวิเคราะห์โครงสร้างระดับจุลภาค

ทำการทดสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของเมล็ดข้าวด้วยเครื่อง scanning electron microscope: SEM (JEOL, model JSM - 5800LV with link ISIS series 300, Tokyo, Japan) โดยนำเมล็ดข้าวมาหักครึ่งเพื่อดูโครงสร้างตามแนวขวาง จากนั้นนำมาติดลงบนฐานวางตัวอย่างแล้วนำไปเคลือบทอง โดยใช้พลังงานในการเร่งอิเล็กตรอนเท่ากับ 10 kv กำลังขยาย 500 เท่า

2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

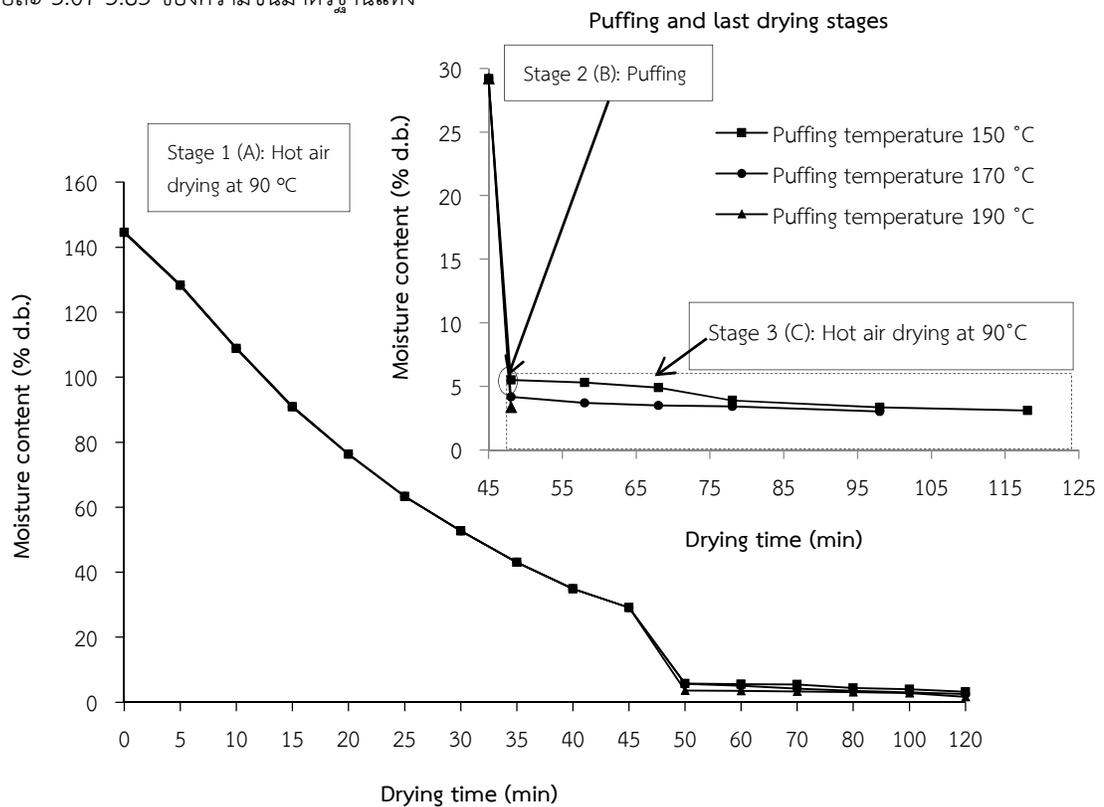
ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านต่างๆ ได้แก่ อัตราส่วนการขยายตัว ลักษณะเนื้อสัมผัส และคุณภาพด้านสีถูกนำมาวิเคราะห์ผลทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS® โดยใช้วิธีวิเคราะห์สถิติ ANOVA (Analysis of variance) ด้วยวิธี Turkey's multiple range เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลของอุณหภูมิและเวลาพัฟฟิงต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้น

การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาของข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข 6 ที่ผ่านการอบแห้งร่วมกับกระบวนการพัฟฟิง ซึ่งประกอบด้วยการอบแห้ง 3 ขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 1 ในขั้นตอนแรก (A) เป็นการลดความชื้นของข้าวจากความชื้นเริ่มต้นที่มีค่าประมาณร้อยละ 148.59 ± 0.9 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง ลดลงให้เหลือความชื้นร้อยละ 30 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้ง 45 นาที จากนั้นในขั้นตอนที่สอง (B) นำข้าวไปพัฟฟิงด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดเซชันด้วยอุณหภูมิและเวลาต่างๆ พบว่า ข้าวที่ผ่านการพัฟฟิงด้วยอุณหภูมิสูงที่ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานขึ้น ส่งผลต่อปริมาณการลดความชื้นได้

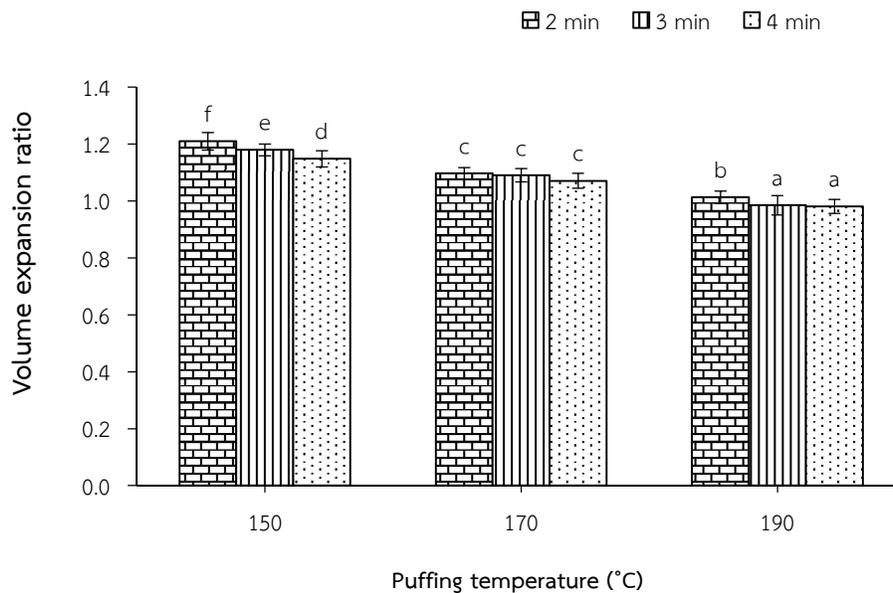
สูงกว่าการพuffingด้วยอุณหภูมิต่ำที่ 170 และ 150 องศาเซลเซียส ซึ่งปริมาณความชื้นหลังจากพuffingด้วยอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 3 และ 4 นาที มีค่าเท่ากับร้อยละ 3.58, 3.33 และ 3.07 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง ตามลำดับ และปริมาณความชื้นหลังจากพuffingด้วยอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 นาที มีค่าลดลงในช่วงระหว่างร้อยละ 3.83-5.61 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง และในขั้นตอนสุดท้าย (C) นำข้าวที่ผ่านการพuffingในขั้นตอนที่สอง นำมาอบแห้งต่อด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 4 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง เมื่อพิจารณาระยะเวลาการอบแห้งรวมตลอดกระบวนการภายใต้เงื่อนไขการพuffing 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ใช้เวลาอบแห้งตลอดกระบวนการประมาณ 117, 97 และ 67 นาที ตามลำดับ และเวลาในการพuffingที่ 3 นาที ใช้เวลาอบแห้งตลอดกระบวนการประมาณ 114, 92 และ 48 นาที ตามลำดับ และเวลาในการพuffingที่ 4 นาที ใช้เวลาอบแห้งตลอดกระบวนการประมาณ 99, 79 และ 45 นาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการพuffing ส่งผลต่อระยะเวลาการอบแห้งตลอดกระบวนการสั้นลง จากผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นหลังผ่านกระบวนการพuffingในช่วงอุณหภูมิ 170 และ 190 องศาเซลเซียสด้วยเวลาในการพuffing 4 นาที พบว่าปริมาณความชื้นลดลงมากเหลือประมาณร้อยละ 3.07-3.83 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง



รูปที่ 1. การเปลี่ยนแปลงความชื้นกับเวลาของข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข 6 ภายใต้เงื่อนไขการพuffingด้วยอุณหภูมิ 150, 170 และ 190 °C เป็นเวลา 3 นาที

3.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการพuffingต่ออัตราการขยายตัว

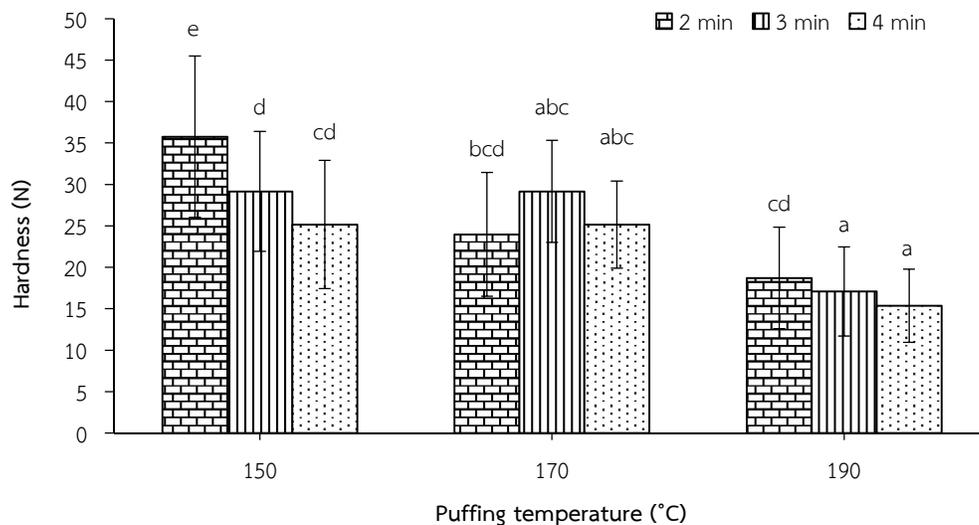
ผลของอัตราการขยายตัวหลังผ่านกระบวนการพuffingของข้าวเหนียวกลิ้งพันธุ์ กข 6 แสดงดังรูปที่ 2 พบว่า การพuffingด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลาระหว่าง 2-4 นาที ส่งผลต่ออัตราการขยายตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยอัตราการขยายตัวอยู่ในช่วง 1.15-1.21 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มเวลาในการพuffing ทำให้ปริมาณความชื้นภายในเมล็ดข้าวลดลงได้เร็วกว่าการใช้เวลาในการพuffingสั้น ส่งผลต่อการเกิดแรงดันไอน้ำภายในวัสดุลดลง ทำให้เกิดการขยายตัวได้น้อยลง ซึ่งความชื้นหลังพuffing ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2, 3 และ 4 นาที มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.61, 5.49 และ 4.65 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการพuffingสูงขึ้นเป็น 170 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 นาที ส่งผลต่ออัตราการขยายตัวลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งอัตราการขยายตัวอยู่ในช่วง 0.98-1.10 ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของการเกิดแรงดันไอน้ำภายในตัวอย่างโดยอุณหภูมิในการพuffingสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดความดันภายในวัสดุสูงกว่าการพuffingด้วยอุณหภูมิต่ำ จึงทำให้ปริมาณความชื้นภายในวัสดุระเหยไปได้เร็วในระหว่างการพuffing ซึ่งพuffingด้วยอุณหภูมิ 170 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลาระหว่าง 2- 4 นาที มีปริมาณความชื้นหลังผ่านการพuffingลดลงเหลือร้อยละ 3.83-4.65 และ 3.07-3.58 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง ตามลำดับ ซึ่งปริมาณความชื้นดังกล่าวอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างต่ำ ทำให้มีการขยายตัวลดลง [15] สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Hoke และคณะ [12] รายงานว่าการพuffingข้าวบาร์เลย์ที่ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุก่อนการพuffingประมาณร้อยละ 25 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง เมื่อพuffingด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้เกิดแรงดันไอน้ำภายในวัสดุน้อย เนื่องจากความชื้นไม่เพียงพอ ส่งผลให้อัตราการขยายตัวของเมล็ดข้าวบาร์เลย์ลดลง จากผลการศึกษาของ Nath และคณะ [16] รายงานว่าความชื้นเริ่มต้นของวัสดุก่อนการพuffingที่ต่ำ ส่งผลต่ออัตราการระเหยของปริมาณความชื้นลดลง จึงทำให้วัสดุเกิดการขยายตัวได้น้อยลง



รูปที่ 2. ผลของอุณหภูมิและเวลาพuffingต่ออัตราการขยายตัวของข้าวเหนียวกลิ้งพันธุ์ กข 6
 หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

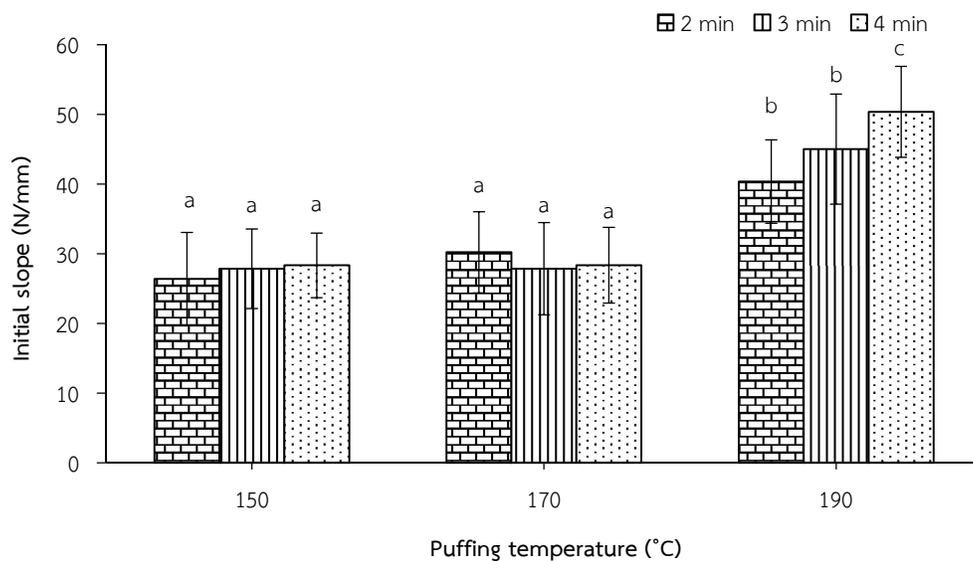
3.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาพuffingต่อเนื้อสัมผัสของข้าวเหนียวกลิ้งพันธุ์ กข 6

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาพuffingที่มีต่อคุณลักษณะด้านเนื้อสัมผัส ซึ่งพิจารณาจากค่าความแข็ง ความชื้นเริ่มต้น และจำนวนยอด พบว่า การพuffingข้าวด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น ส่งผลให้มีค่าความแข็งลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (รูปที่ 3) ขณะที่พuffingด้วยอุณหภูมิ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 นาที มีผลต่อค่าความแข็งของเมล็ดข้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีค่าความแข็งอยู่ในช่วง 25-36, 23-29 และ 15-19 นิวตัน ตามลำดับ ส่วนผลต่อค่าความชื้นเริ่มต้นและจำนวนยอด พบว่า อิทธิพลของอุณหภูมิพuffingที่สูง 190 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นเริ่มต้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่อุณหภูมิ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 นาที มีค่าความชื้นเริ่มต้นอยู่ในช่วง 26-29, 28-31 และ 40-51 นิวตันต่อมิลลิเมตร ตามลำดับ (รูปที่ 4) ส่วนผลจำนวนยอดเมื่อพuffingด้วยอุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 นาที ไม่ส่งผลต่อจำนวนยอดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ขณะที่พuffingด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้นเป็น 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 นาที มีผลต่อจำนวนยอดอย่างมีนัยสำคัญ โดยจำนวนยอดทุกช่วงอุณหภูมิและเวลาพuffingมีค่าอยู่ในช่วง 3-5 (รูปที่ 5) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการพuffingด้วยอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 นาที ส่งผลให้ความชื้นลดลงมากเหลือประมาณร้อยละ 3.07-3.58 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง จึงไม่ต้องนำตัวอย่างไปอบแห้งต่อในขั้นตอนสุดท้าย ทำให้เนื้อสัมผัสด้านความแข็งมีค่าน้อย และค่าความชื้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาระยะเวลาการอบแห้งในขั้นตอนที่สาม พบว่าอุณหภูมิในการพuffingที่ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 นาที ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 50-70 นาที และอุณหภูมิในการพuffingที่ 170 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบแห้งประมาณ 30-50 นาที



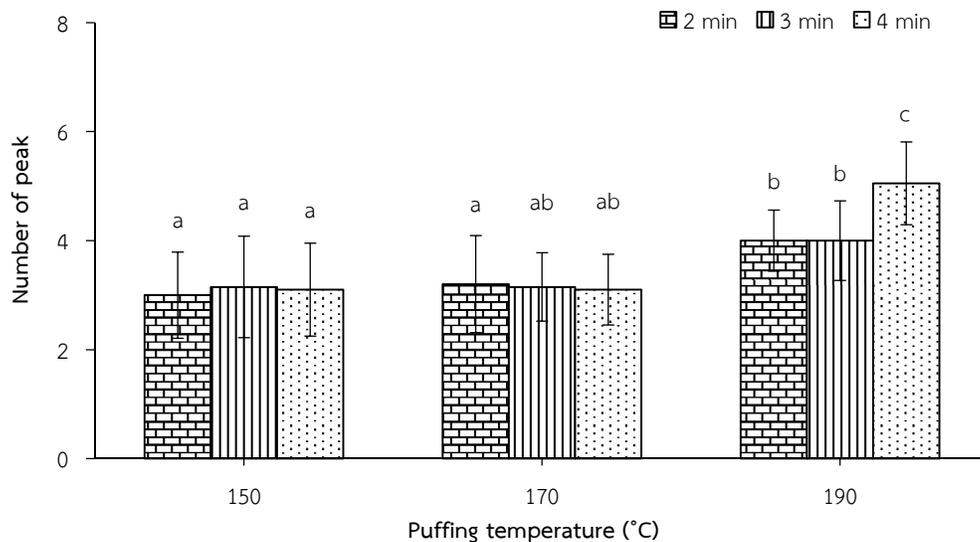
รูปที่ 3. ผลของอุณหภูมิและเวลาพuffingต่อเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของข้าวเหนียวกลิ้งพันธุ์ กข 6

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสมรค์ แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4. ผลของอุณหภูมิและเวลาพuffing ต่อความชันเริ่มต้นของข้าวเหนียวกลิ้งพันธุ์ กข 6

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

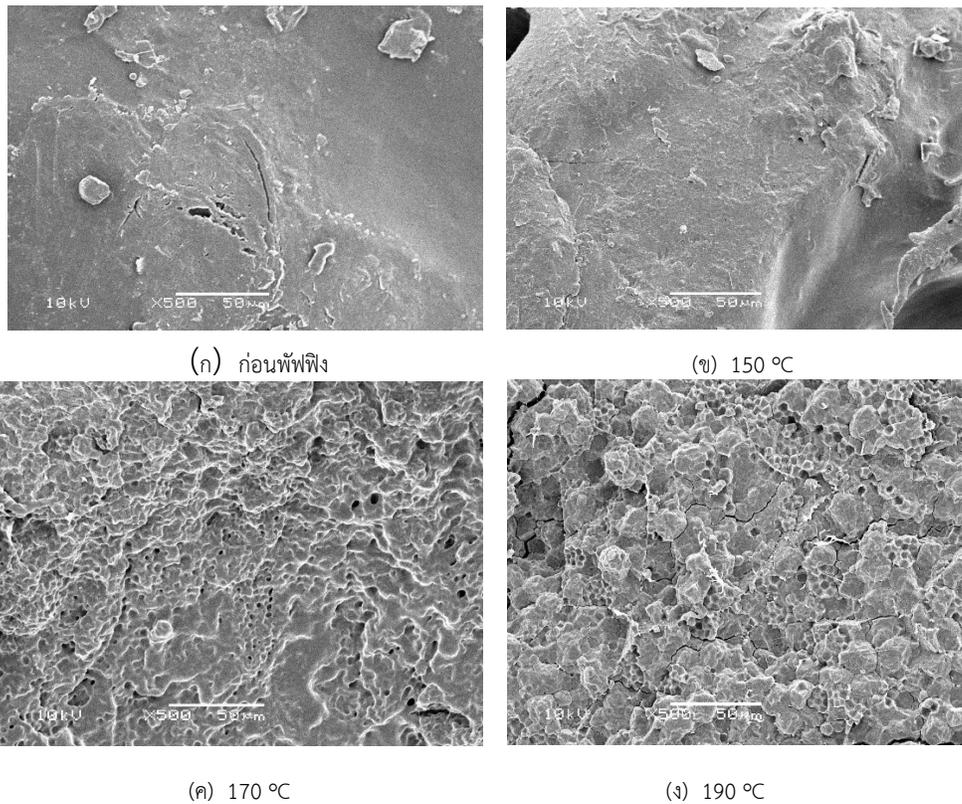


รูปที่ 5. ผลของอุณหภูมิและเวลาพuffing ต่อจำนวนยอดของข้าวเหนียวกลิ้งพันธุ์ กข 6

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.4 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการพฟิงต่อโครงสร้างระดับจุลภาค

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาในการพฟิงต่อสัณฐานและลักษณะพื้นผิวของข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข 6 พบว่าโครงสร้างของเม็ดแป้งก่อนนำไปผ่านการพฟิงเกาะตัวกันแน่น (รูปที่ 6ก) และยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับหลังผ่านการพฟิงด้วยอุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จะเกิดรอยแตกที่บริเวณผิวของเม็ดแป้ง (รูปที่ 6ข) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการพฟิงเป็น 170 และ 190 องศาเซลเซียส พบว่าบริเวณผิวจะเปราะแตกเพิ่มขึ้น (รูปที่ 6ค-ง) ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการพฟิงด้วยอุณหภูมิสูง ทำให้ความดันไอที่เกิดจากการเดือดของน้ำภายในวัสดุมีค่าสูง ส่งผลให้เกิดรูพรุนบริเวณผิวของวัสดุ [17] เมื่อพิจารณาอัตราการขยายตัวของเมล็ดข้าวภายใต้เงื่อนไขการพฟิงด้วยอุณหภูมิดังกล่าว พบว่าเมล็ดข้าวมีอัตราการขยายตัวลดลง แต่ปริมาณความชื้นสามารถระเหยไปได้เร็วในระหว่างการพฟิง ส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 3.07-3.58 ของความชื้นมาตรฐานแห้ง ทำให้มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวมีความแข็งลดลง และความกรอบเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาได้จากค่าความชื้นเริ่มต้น และจำนวนยอด



รูปที่ 6. ภาพถ่ายจาก SEM ของข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข 6 ก่อนการพฟิง (ก) และภายหลังผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อน ร่วมกับการพฟิงภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิในการพฟิง 150 (ข), 170 (ค) และ 190 องศาเซลเซียส (ง) เป็นเวลา 3 นาที

3.5 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการพuffingต่อคุณภาพด้านสี

จากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสีบริเวณผิวของข้าวเหนียวกลิ้งพันธุ์ กข6 ในเทอมของค่าความสว่าง L* ค่าความเป็นสีแดง a* และค่าความเป็นสีเหลือง b* โดยการเปลี่ยนแปลงสีจากเทอมดังกล่าวพิจารณาภายใต้เงื่อนไขของอุณหภูมิและเวลาในการพuffingที่มีผลต่อคุณภาพสี พบว่า อุณหภูมิและเวลาในการพuffing ส่งผลต่อค่าความสว่าง L* อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า L* ที่พuffingด้วยอุณหภูมิ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 นาที อยู่ในช่วงระหว่าง 52-55, 49-54 และ 50-54 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เมื่อพิจารณาค่าความเป็นสีแดง (a*) ความเป็นสีเหลือง (b*) ของข้าวที่ผ่านการพuffingด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมล็ดข้าวเริ่มเป็นสีเหลืองทอง เมื่ออุณหภูมิและเวลาพuffingเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่เกิดจากน้ำตาลรีดิวซ์กับกรดอะมิโนโปรตีน โดยมีความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้สีผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลง [18] โดยค่า a* ที่พuffingด้วยอุณหภูมิ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-4 นาที อยู่ในช่วงระหว่าง 4.00-4.31, 4.28-5.08 และ 5.68-6.33 และค่า b* มีค่าอยู่ในช่วง 22-24, 23-25 และ 25-27 ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1. ผลของอุณหภูมิและเวลาพuffingต่อการเปลี่ยนแปลงสีของข้าวเหนียวกลิ้งพันธุ์ กข 6

Puffing temperature (°C)	Puffing time (min)	Color-value			
		L*	a*	b*	Color appearance
Before puffing		50.85±0.07	4.26±0.03	23.29±0.13	cream
150	2	52.15±1.16 ^{abcd}	4.00±0.12 ^a	22.83±0.26 ^a	Pale yellow
	3	50.84±0.65 ^{abc}	4.12±0.05 ^a	22.59±0.22 ^a	Pale yellow
	4	54.44±0.30 ^d	4.31±0.05 ^{ab}	23.87±0.13 ^c	Pale yellow
170	2	53.48±0.90 ^{cd}	4.28±0.06 ^{ab}	23.7±0.11 ^{bc}	Pale yellow
	3	49.96±0.97 ^a	4.59±0.07 ^b	23.07±0.18 ^{ab}	yellow
	4	52.83±1.18 ^{bcd}	5.08±0.28 ^c	24.99±0.08 ^d	Golden yellow
190	2	53.5±0.92 ^{cd}	5.68±0.08 ^d	25.73±0.32 ^e	Pale yellow
	3	50.27±0.25 ^{ab}	6.22±0.20 ^e	26.51±0.41 ^f	yellow
	4	51.63±0.74 ^{abcd}	6.33±0.02 ^e	27.2±0.35 ^f	Golden yellow

หมายเหตุ: ตัวอักษรที่เหมือนกันในแต่ละสดมภ์ แสดงถึงความไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4. สรุปผลการทดลอง

การผลิตข้าวพองจากข้าวเหนียวกล้องพันธุ์ กข 6 ด้วยกระบวนการพuffing โดยใช้เทคนิคฟลูอิดิเซชัน เมื่อทำการพuffing ด้วยอุณหภูมิสูงเป็นเวลานาน ส่งผลให้ความชื้นลดลงได้เร็ว ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง นอกจากนี้แล้วยังส่งผลต่ออัตราการขยายตัวของเมล็ดข้าวลดลง อย่างไรก็ตามการพuffing ด้วยอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้เนื้อสัมผัสของเมล็ดข้าวมีความแข็งลดลง และมีความกรอบเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าว โดยเมล็ดข้าวมีลักษณะเป็นสีเหลืองทอง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณแก่การวิจัยนี้ และขอขอบคุณ สาขาวิชาฟิสิกส์ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ที่เอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์และสถานที่ทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] สมพร อิศวิลานนท์. 2556. ข้าวเหนียวไทย ความจำกัดของตลาดการค้า. วารสารนิเวศสารข้าวไทย มีนาคม- เมษายน (35), แหล่งข้อมูล: <https://www.slideshare.net/sompornisvilanonda/march-56.%20%2025%20ตุลาคม%202560.pdf> ค้นเมื่อวันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560. [Somporn Isvilanonda. 2013. Thai glutinous rice limitations of the trade market. Thai rice magazine. March-April (35) , URL: <https://www.slideshare.net/sompornisvilanonda/march-56.%20%2025%20ตุลาคม%202560.pdf>, 6 November 2015. (in Thai)]
- [2] Wu, F. Chen, H. Yang, N. Wang, J. Duan, X.D. and Jin, Z. 2013. Effect of germination time on physicochemical properties of brown rice flour and starch from different rice cultivars. *Journal of Cereal Science*, 58(2), 263–271.
- [3] นีพัทธา ชาติสูวรรณ และวริพัทธ์ อารีกุล. 2553. ความสัมพันธ์ของปริมาณแอนโทไซยานินต่อปริมาณโพลีฟีนอลและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันในข้าวสีและไม่มีสีสายพันธุ์ต่างๆ. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 28(1), 77-86. [Nipattha Chatsuwana and Varipat Areekul. 2010. Relationship of anthocyanin content to phenolic content and oxidation resistant in rice color and colorless varieties. *King Mongkut's Agricultural Journal*, 28(1), 77-86. (in Thai)]
- [4] สุพิศา สมโต. 2547. คุณลักษณะทางกายภาพและเคมี และความคงตัวของข้าวไทยที่มีรงควัตถุ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, มหาวิทยาลัยศิลปากร. [Supisa Somto. 2004. Physical and chemical characteristics and stability of thai pigmented rice. Thesis Master of Science, Department of food technology, Silpakorn University. (in Thai)]

- [5] Shabir, A.M. Sowriappan, J.D.B. Manzoor, A.S. and Mohammad, M.M. 2016. Effect of puffing on physical and antioxidant properties of brown rice. *Journal of Food Chemistry*, 191, 139-146.
- [6] Varnalis, A.I. Brennan, J.G. and MacDougall, D.B. 2001. A proposed mechanism of high temperature puffing of potato part I: The influence of blanching and drying condition on the volume of puff cubes. *Journal of Food Engineering*, 48, 361-367.
- [7] Shilton, N.C. Bekhit, A.A. and Niranjana, K. 1998. Optimisation of a Dehydration Process for Potato Cubes using an Intermediate Puffing Step. *Potato Research*, 41, 203-209.
- [8] Raikham, C. Prachayawarakorn, S. Nathakarakule, A. and Soponronnarit, S. 2013, Optimum conditions of Fluidized Bed Puffing for producing Crispy Banana. *Drying Technology*, 31, 726-739.
- [9] Mariotti, M. Alamprese, C. Pagani, M.A. and Lucisano, M. 2006. Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flours. *Journal of Cereal Science*, 43, 47-56.
- [10] Luangmalawat, P. Prachayawarakorn, S. Nathakarakule, A. and Soponronnarit, S. 2008. Effect of temperature on drying characteristics and quality of cooked rice. *Journal of Food Science and Technology*, 41, 716-723.
- [11] AOAC International, 1995; Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th ed., Association of Analytical Communities, Arlington, VA.
- [12] Hoke, K. Houska, M. Pruchova, J. Gabrovska, D. Vaculova, K. and Paulickova, I. 2007. Optimisation of puffing naked barley. *Journal of Food Engineering*, 80, 1016-1022.
- [13] Nath, A. and Chattopadhyay, P.K. 2007. Optimization of oven toasting for improving crispness and other quality attributes of ready to eat potato-soy snack using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 80, 1282-1292.
- [14] Jackson, J.C. Bourne, M.C. and Barnard, J. 1996. Optimization of blanching for crispness of banana chips using response surface methodology. *Journal of Food Science*, 61(1), 165-166.
- [15] Muragesan, G. and Bhattacharya, K.R. 1991. Basis for varietal difference in popping expansion of rice. *Journal of Cereal Science*, 13, 71-83.
- [16] Nath, A., Chattopadhyay, P.K. and Majumdar, G.C. 2007. High temperature short time air puffed ready-to-eat (RET) potato snack: Process parameter optimization. *Journal of Food Engineering*, 80, 770-780.

- [17] Nath, A. and Chattopadhyay, P.K. 2008. Effect of process parameters and soy flour concentration on quality attributes and microstructural changes in ready-to-eat potato –soy snack using high temperature short time air puffing. *Journal of Food Engineering*, 41, 707-715.
- [18] นิธิยา รัตนานนท์. 2557. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 5, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. [Nithiya Rattanapanone. 2014. Food Chemistry. 5st ed, Odeon Store, Bangkok. (in Thai)]