Agricultural Sci. J. 42 : 3 (Suppl.) : 601-604 (2011) ว. วิทย. กษ. 42 : 3 (พิเศษ) : 601-604 (2554)

# อิทธิพลของเงื่อนไขการพัฟฟิงต่อลักษณะคุณภาพของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป

## Effects of puffing conditions on quality attributes of instant brown rice

**อรวรรณ ริ้วทอง[1] สมเกียรติ ปรัชญาวรากร[2] ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์[3] และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์[1]**

Orrawan Rewthong[1], Somkiat Prachayawarakorn[2], Chaiyong Taechapairoj[3] and Somchart Soponronnarit[1]

### Abstract

Quick rehydration time is a major requirement for instant brown rice products. This parameter correlates with shrinkage and porosity inside the food. To achieve this, the instant brown rice should be more porous structure which can be created by puffing technique. This work was therefore studied on the effects of puffing temperature and puffing time on qualities of instant brown rice regarding to rehydration time, color, microstructure and textural properties. Jasmine brown rice ev. Khao Dawk Mali 105 was selected as a raw material. The brown rice was soaked in distilled water at ambient temperature for 10 min before cooking and boiling method was used to prepare the freshly cooked brown rice. The cooked brown rice was initially dried at the temperature of 80°C by hot air tray dryer until the moisture content decreased to 20% dry basis (d.b.). The cooked brown rice was then puffed at 200, 220 and 240°C by hot air tray dryer for 20, 30 and 40 s until the moisture content was 8-10% d.b. The dried samples were rehydrated in hot water at 95°C before testing the qualities. The higher puffing temperature and longer puffing time resulted more pores and large cavities in instant brown rice which were related to low value of volume shrinkage of the product. More porous structure and corresponding small shrinkage could significantly reduce the rehydration time when compared with puffing at lower temperature and shorter time. The puffing temperature and puffing time did not affect hardness and stickiness of instant brown rice after rehydration (at $p < 0.05$), but such textural properties were lower than those of freshly cooked brown rice.

**Keywords:** porous structure, puffing, rehydration time, textural properties

### บทคัดย่อ

ระยะเวลาการคืนรูปที่สั้นเป็นสมบัติที่สำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป สมบัติดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการหดตัวและความพรุนภายในผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ได้สมบัติดังกล่าวผลิตภัณฑ์ควรมีความเป็นรูพรุนสูง ลักษณะดังกล่าวนี้สามารถทำได้โดยใช้เทคนิคของการพัฟฟิง(Puffing) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้สำหรับการพัฟฟิงที่มีต่อคุณภาพของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปในด้านระยะเวลาการคืนรูป สมบัติด้านเนื้อสัมผัส สี และโครงสร้างระดับจุลภาคโดยใช้ข้าวกล้องจากข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นวัตถุดิบในการทดลอง โดยในขั้นแรกนำข้าวกล้องแช่ในน้ำอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที ก่อนนำไปหุง จากนั้นทำการหุงโดยวิธีการต้มแบบใส่น้ำพอดี เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการหุงแล้วนำข้าวกล้องหุงสุกที่ได้มาอบแห้งขั้นแรกด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เพื่อลดความชื้นเป็น 20% d.b. จากนั้นนำมาพัฟฟิงด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 200 220 และ 240°C เป็นเวลา 20 30 และ 40 วินาที จะได้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้นสุดท้าย 8-10% d.b. สำหรับการทดสอบคุณภาพของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจะนำข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้มาทดสอบคุณภาพระดับจุลภาค พบว่าการพัฟฟิงที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลานานขึ้นจะทำให้โครงสร้างภายในเมล็ดข้าวสุกมีความพรุนสูง และมีช่องว่างขนาดใหญ่ซึ่งส่งผลให้เกิดการหดตัวของปริมาตรข้าวกึ่งสำเร็จรูปเพียงเล็กน้อย และพบว่าโครงสร้างดังกล่าวของข้าวกึ่งสำเร็จรูปช่วยทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูปข้าวกึ่งสำเร็จรูปในน้ำอุณหภูมิ 95°C ลดลงเมื่อเทียบกับการพัฟฟิงที่อุณหภูมิต่ำและใช้เวลาการพัฟฟิงสั้น อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการพัฟฟิงไม่มีผลต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสในเทอมของค่าความแข็งและค่าความเหนียวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปภายหลังการคืนรูป เนื้อสัมผัสของข้าวกล้องภายหลังการคืนรูปมีความแข็งและความเหนียวลดลงเมื่อเทียบกับเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องหุงสุกใหม่

**คำสำคัญ**: โครงสร้างรูพรุน การพัฟฟิง ระยะเวลาการคืนรูป สมบัติด้านเนื้อสัมผัส

---

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[1] Energy Technology Division, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

[2] ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

[2] Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi,

[3] ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม

[3] Department of Biotechnology, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University (Sanamchandra Campus), Nakornpathom

## คำนำ

ผลิตภัณฑ์ข้าวกึ่งสำเร็จรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจสำหรับการดำรงชีวิตที่เร่งรีบของผู้บริโภคในยุคปัจจุบัน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวใช้เวลาในการเตรียมสั้นก่อนนำมารับประทาน นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวยังมีข้อดีคือมีอายุการเก็บรักษานาน ข้าวกล้องหอมมะลิพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จัดว่าเป็นวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นข้าวที่มีสารอาหารมากกว่าข้าวขาว (Miller and Bogota, 1963) มีเนื้อสัมผัสที่นุ่มและมีกลิ่นหอม แต่เนื่องจากการเตรียมข้าวกล้องด้วยวิธีการแบบเดิมๆ นั้นต้องใช้เวลาค่อนข้างนานประมาณ 30- 40 นาที ก่อนนำมาบริโภค ดังนั้นการผลิตข้าวกึ่งสำเร็จรูปโดยใช้เทคนิคการพัฟฟิงเป็นวิธีการที่น่าสนใจ วิธีนี้จะได้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีโครงสร้างพรุน (Kester และคณะ, 1957) ผลดังกล่าวช่วยให้ลดระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูปให้สั้นลง (Mariotti และคณะ, 2006) อย่างไรก็ตามด้วยเทคนิคดังกล่าวอาจส่งผลต่อคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของข้าวภายหลังการคืนรูปเช่น การเกิดรูพรุนอาจทำให้ข้าวมีความแข็งลดลง (Prasert and Suwannaporn, 2009) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการพัฟฟิงข้าวสุกที่มีผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการคืนรูป และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายหลังการคืนรูปในด้านสมบัติด้านเนื้อสัมผัส

## อุปกรณ์และวิธีการ

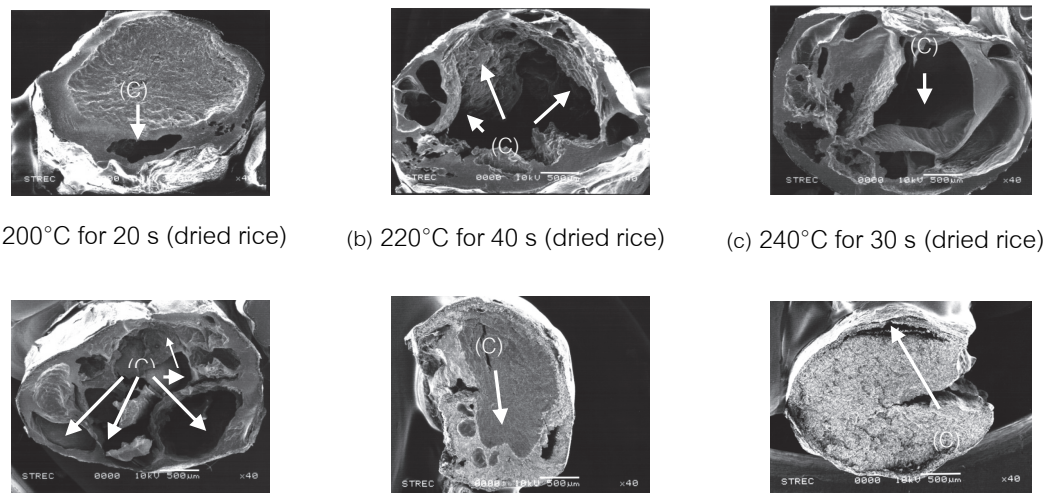
นำข้าวเปลือกหอมมะลิพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 มาเพิ่มความชื้น (rewet) และเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C จนกระทั่งข้าวเปลือกความชื้น 33% d.b. จากนั้นนำข้าวมาผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 150°C และใช้ความเร็วในการอบแห้ง 2.5 m/s เพื่อลดความชื้นเหลือ 23% d.b. จากนั้นนำข้าวมาผ่านการ tempering ในที่อับอากาศเป็นเวลา 120 นาที และนำข้าวมาเก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศจนกระทั่งข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงถึง 16% d.b. จากนั้นนำข้าวเปลือกที่ได้มากะเทาะจะได้เป็นข้าวกล้อง ในขั้นตอนของการหุงจะนำข้าวกล้อง 350 g มาล้างให้สะอาด และแช่ข้าวในน้ำอุณหภูมิห้องนาน 10 นาที หุงโดยใช้วิธีการต้มโดยมีอัตราส่วนข้าวกล้อง:น้ำ เท่ากับ 1:2.5 โดยน้ำหนัก จะได้ข้าวกล้องหุงสุกที่มีความชื้นประมาณ 180% d.b. จากนั้นนำข้าวกล้องหุงสุกมาผ่านการอบแห้งในขั้นตอนแรกด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (Hot air tray dryer) ที่อุณหภูมิ 80°C จนข้าวมีความชื้นลดลงเหลือ 20% d.b. จากนั้นนำข้าวมาทำการพัฟฟิงโดยใช้อากาศร้อนอุณหภูมิสูงที่ 200 220 และ 240°C นาน 20 30 และ 40 วินาที เมื่อสิ้นสุดกระบวนการพัฟฟิงจะได้ข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่มีความชื้น 8% d.b. จากนั้นนำข้าวที่ผ่านการอบแห้งมาทดสอบคุณภาพด้านโครงสร้างระดับจุลภาค สี การหดตัว ทดสอบการคืนรูปโดยการเติมน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 95°C และนำมาทดสอบสมบัติด้านเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture analyzer โดยข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS® โดยใช้วิธีวิเคราะห์สถิติ ANOVA (Analysis of variance) โดยวิธี Duncan's multiple range tests ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

## ผลและวิจารณ์ผล

### ผลการทดสอบด้านโครงสร้างระดับจุลภาค

โครงสร้างระดับจุลภาคของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจากการใช้เทคนิคการพัฟฟิงที่เงื่อนไขต่างๆ ทั้งก่อน และหลังทำการคืนรูป เปรียบเทียบกับข้าวกล้องหุงสุกใหม่ที่ไม่ผ่านการพัฟฟิงแสดงใน Figure 1.

Figure 1 แสดงโครงสร้างระดับจุลภาคของข้าวกล้องหุงสุกใหม่และข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจากเทคนิคการพัฟฟิงทั้งก่อนและหลังการนำไปคืนรูปในระนาบตัดขวางของเมล็ด พบว่าเงื่อนไขของการพัฟฟิงที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน ส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างระดับจุลภาคของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป กล่าวคือข้าวกล้องที่ผ่านการพัฟฟิงที่อุณหภูมิต่ำที่ 200°C และใช้เวลาในการพัฟฟิงนาน 20 วินาที ทำให้โครงสร้างของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปไม่ปรากฏช่องว่างขนาดใหญ่ดังแสดงใน Figure 1 (a) ในทางตรงกันข้ามเมื่อนำข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการพัฟฟิงที่อุณหภูมิและเวลาการพัฟฟิงที่เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 220 และ 240°C โดยมีช่วงเวลาในการพัฟฟิง 30 และ 40 วินาที ตามลำดับทำให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ขึ้นดังแสดงใน Figure 1 (b) (c) และ (d) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลจากการทำข้าวพัฟฟิงของ Chandrasekhar and Chattopadhyay (1991) ซึ่งพบว่าข้าวที่ผ่านการพัฟฟิงจะทำให้โครงสร้างขยายตัว และเกิดเป็นช่องว่างขึ้นภายในเมล็ดข้าว เมื่อพิจารณาข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการพัฟฟิง และผ่านการคืนรูปพบว่าข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปจะมีช่องว่างขนาดใหญ่ดังแสดงใน Figure 1 (e) ซึ่งลักษณะดังกล่าวไม่ปรากฏในข้าวกล้องหุงสุกใหม่ดังแสดงใน Figure 1 (f) ซึ่งเทคนิคการพัฟฟิงดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของเนื้อแป้งข้าวภายในเมล็ดข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปภายหลังการคืนรูปไม่สามารถกลับคืนสู่โครงสร้างเดิมเหมือนข้าวหุงสุกใหม่ได้ โดยโครงสร้างดังกล่าวที่ได้จากเทคนิคการพัฟฟิงนี้ส่งผลต่อค่าการหดตัวของปริมาตรที่น้อยมากซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป



(a) 200°C for 20 s (dried rice) (b) 220°C for 40 s (dried rice) (c) 240°C for 30 s (dried rice)

(d) 240°C for 40 s (dried rice) (e) 240°C for 30 s (after rehydration) (f) Freshly cooked brown rice

**Figure 1** Scanning electron micrographs of freshly cooked brown rice and puffed brown rices (before and after rehydration) at different puffing temperatures and puffing times.

**ผลการทดสอบการหดตัวของปริมาตร (Volume shrinkage) และสีข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป**

Table 1 แสดงผลการทดสอบการหดตัวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการพัฟฟิงเปรียบเทียบกับข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการอบแห้งแบบ shade drying และการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C จากผลการทดลองพบว่าข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านการพัฟฟิงที่เงื่อนไขต่าง ๆ มีค่าการหดตัวน้อยกว่าในกรณีการอบแห้งแบบ shade drying และการอบแห้งที่ 80°C อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่าและเกิดการขยายตัวของข้าวกล้องขณะพัฟฟิงซึ่งสามารถสังเกตได้จาก Figure 1 ที่แสดงถึงช่องว่างขนาดใหญ่ภายในข้าวหลังผ่านการพัฟฟิง อย่างไรก็ตามแม้จะมีการขยายตัวของข้าวกล้องแต่โดยรวมแล้วปริมาตรของข้าวกล้องยังคงน้อยกว่าปริมาตรของข้าวหลังหุงสุก ซึ่งระดับของการหดตัวนั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของการพัฟฟิง การพัฟฟิงที่อุณหภูมิสูงกว่าและใช้เวลาในการพัฟฟิงนานกว่าสามารถลดการหดตัวของข้าวกล้องหุงสุกลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิพัฟฟิง 240°C และที่เวลาในการพัฟฟิง 30-40 วินาที ให้การหดตัวน้อยที่สุดโดยมีค่าการหดตัวร้อยละ 7.06-7.87 ด้วยลักษณะที่โครงสร้างมีความพรุนสูงของข้าวที่ผ่านการพัฟฟิงเมื่อนำไปทดสอบการคืนตัวพบว่าใช้เวลาประมาณ 7-9 นาที ซึ่งสั้นกว่าข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้งที่ 80°C (เวลาคืนตัว 11 นาที)

Table 1 Volume shrinkage and color in terms of lightness and hue angle values of puffed rices.

| Drying method | Puffing temperature (°C) | Puffing time (s) | Shrinkage (%) | Color | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | L | Hue angle (°) |
| shade drying | - | - | 56.23 ± 0.66$^{g}$ | 50.04 ± 0.37$^{a}$ | 73.41 ± 0.21$^{a}$ |
| hot air drying at 80°C | - | - | 50.50 ± 0.59$^{f}$ | 55.35 ± 0.57$^{b}$ | 75.21 ± 0.47$^{de}$ |
| puffing technique | 200 | 20 | 42.28 ± 0.12$^{e}$ | 56.41 ± 0.45$^{c}$ | 75.66 ± 0.24$^{ef}$ |
| | | 30 | 20.80 ± 2.86$^{d}$ | 56.40 ± 0.78$^{c}$ | 75.47 ± 0.22$^{e}$ |
| | | 40 | 18.20 ± 0.64$^{c}$ | 57.37 ± 0.59$^{d}$ | 74.76 ± 0.48$^{cd}$ |
| | 220 | 20 | 21.29 ± 1.83$^{d}$ | 57.97 ± 0.50$^{d}$ | 76.51 ± 0.37$^{fg}$ |
| | | 30 | 14.80 ± 0.18$^{b}$ | 57.90 ± 0.67$^{d}$ | 74.25 ± 0.22$^{bc}$ |
| | | 40 | 14.86 ± 0.32$^{b}$ | 57.75 ± 1.02$^{d}$ | 73.69 ± 0.94$^{ab}$ |
| | 240 | 20 | 22.97 ± 0.82$^{d}$ | 57.77 ± 0.14$^{d}$ | 76.28 ± 0.30$^{fg}$ |
| | | 30 | 7.87 ± 1.76$^{a}$ | 57.48 ± 0.18$^{d}$ | 74.58 ± 0.56$^{cd}$ |
| | | 40 | 7.06 ± 0.25$^{a}$ | 57.74 ± 0.23$^{d}$ | 73.58 ± 0.81$^{a}$ |

Mean values ± standard deviations ($n$ = 3). Different letters within the same column indicate significant difference ($p < 0.05$).

นอกจากการหดตัวที่น้อยกว่าแล้วลักษณะของสีของผลิตหลังการพัฟฟิงดีกว่าในกรณีการอบแห้งที่ 80°C โดยเฉพาะในเรื่องของความสว่าง ซึ่งดูสว่างกว่าอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าความสว่างอยู่ในประมาณ 57 ขณะที่ค่าความสว่างของตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 80°C เท่ากับ 55 เดียว ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะการมีช่องว่างอากาศขนาดใหญ่แทรกอยู่ภายในข้าวทำ

ให้เมล็ดข้าวดูเหมือนสว่างขึ้น สำหรับโทนสีหรือค่า hue angle นั้นไม่แตกต่างกันมาก ข้าวกล้องหลังการพัฟฟิงมีค่าโทนสีเหลืองอมแดง

**ผลการทดสอบด้านเนื้อสัมผัส**

จากผลการทดสอบสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของข้าวหลังผ่านการ rehydration แสดงใน Table 2 พบว่าเงื่อนไขของการพัฟฟิงที่อุณหภูมิและเวลาในการพัฟฟิงต่างๆ ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเนื้อสัมผัสด้านความแข็งและความเหนียวของข้าวกึ่งสำเร็จรูป ข้าวที่ผ่านการพัฟฟิงมีค่าความแข็งในช่วง 98-100 N และความเหนียว 1.1-4.1 N ซึ่งมีค่าน้อยกว่าข้าวกล้องหุงสุกใหม่ โดยค่าความแข็งที่ลดลงนี้เป็นผลมาจากโครงสร้างทางสันฐานวิทยาที่แตกต่างกันดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น (Prasert and Suwannaporn, 2009)

Table 2 Textural properties of freshly cooked rice and puffed rice.

| Drying method | Puffing temperature (°C) | Puffing time (s) | Hardness (N) | Stickiness (N) |
|---|---|---|---|---|
| Freshly cooked brown rice | - | - | 110.48 ± 2.80$^{b}$ | 6.38 ± 1.14$^{a}$ |
| Hot air drying at 80°C | - | - | 112.97 ± 7.21$^{b}$ | 0.87 ± 0.19$^{d}$ |
| Puffing technique | 200 | 20 | 98.92 ± 1.94$^{a}$ | 4.09 ± 0.72$^{b}$ |
| | | 30 | 96.01 ± 8.10$^{a}$ | 3.15 ± 0.75$^{bc}$ |
| | | 40 | 96.48 ± 5.46$^{a}$ | 3.13 ± 1.13$^{bc}$ |
| | 220 | 20 | 100.96 ± 4.21$^{a}$ | 3.09 ± 1.31$^{bc}$ |
| | | 30 | 99.61 ± 1.49$^{a}$ | 2.84 ± 2.17$^{bc}$ |
| | | 40 | 100.95 ± 2.62$^{a}$ | 1.84 ± 1.09$^{cd}$ |
| | 240 | 20 | 98.26 ± 1.68$^{a}$ | 1.17 ± 1.17$^{cd}$ |
| | | 30 | 98.68 ± 3.58$^{a}$ | 3.03 ± 1.68$^{bc}$ |
| | | 40 | 100.06 ± 1.54$^{a}$ | 2.16 ± 1.41$^{bcd}$ |

Mean values ± standard deviations ($n$ = 5). Different letters within the same column indicate significant difference ($p < 0.05$).

## สรุป

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าการพัฟฟิงส่งผลโดยตรงต่อโครงสร้างระดับจุลภาค ค่าการหดตัว สี ระยะเวลาการคืนรูป และเนื้อสัมผัสของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป การพัฟฟิงที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลานานส่งผลต่อค่าการหดตัวของปริมาตรเมล็ดข้าวกล้องเพียงเล็กน้อย ส่งผลดีต่อระยะเวลาระการคืนรูปที่สั้นลง และเมื่อนำไปทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสการใช้เทคนิคการพัฟฟิงสามารถช่วยปรับปรุงค่าความเหนียวของข้าวกล้องกึ่งสำเร็จรูป ให้มีค่าใกล้เคียงกับข้าวหุงสุกใหม่ได้มากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงขั้นตอนเดียว แต่เทคนิคการพัฟฟิงนี้กลับมีผลทำให้ค่าความแข็งมีค่าน้อยกว่าข้างกล้องหุงสุกใหม่ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการพัฟฟิงมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความสว่างและค่าโทนสี (hue angle) ค่าความสว่างของข้าวกึ่งสำเร็จรูปจากวิธีการพัฟฟิงสูงกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการอบแห้ง (shade drying) การพัฟฟิงที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลานานขึ้นสามารถควบคุมค่าโทนสีของข้าวให้ใกล้เคียงกับข้าวที่ไม่ผ่านการอบแห้ง (shade drying) และข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงขั้นตอนเดียว โดยข้าวกึ่งสำเร็จรูปที่ได้จากการพัฟฟิงดังกล่าวจะถูกนำมาทำการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัส (sensory test) เพื่อให้ได้เงื่อนไขการพัฟฟิงที่เหมาะสมต่อไป

## คำขอบคุณ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา(สกอ.) และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัยตลอดมา

## เอกสารอ้างอิง

Chandrasekhar, P. R. and P. K. Chattopadhyay. 1991. Rice puffing in relation to its varietal characteristics and processing conditions. J. of Food Process Engineering 14: 261-277.

Kester, E. B. and R. E. Ferrel. 1957. Method of preparing pre-cooked puffed brown rice cereal. US patent no. 2785070.

Mariotti, M., C. Alamprese, M. A. Pagani and M. Lucisano. 2006. Effect of puffing on ultrastructure and physical characteristics of cereal grains and flour. J. of Cereal Science 43: 47-56.

Miller, F. J. and N. J. Bogota. 1963. Process of preparing a quick-cooking brown rice. US patent no. 3086867.

Prasert, W. and P. Suwannaporn. 2009. Optimization of instant jasmine rice process and its physicochemical properties. J. of Food Engineering 95: 54-61.