Agricultural Sci. J. 42 : 3 (Suppl.) : 609-612 (2011) ว. วิทย. กษ. 42 : 3 (พิเศษ) : 609-612 (2554)

# อิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งและเวลาการเก็บในที่อับอากาศที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Glycemic Index ของแป้งข้าวกล้อง

# Influences of drying temperature and tempering time on change of glycemic index of brown rice starch

**ดลฤดี ใจสุทธิ์[1] และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์[2]**
Donludee Jaisut[1] and Somchart Soponronnarit[2]

## Abstract

The effects of hot air drying using fluidization at temperatures of 130$^{O}$C and 150$^{O}$C and tempering techniques on glycemic index changing of local *Indica* rice (Suphanburi 1) were determined. Fresh paddy was dried from initial moisture content of 33.3%d.b. to 21-22%d.b. It was then tempered for different periods before ventilated by the ambient temperature at the last stage. The experimental results indicated that the polygonal shape of brown rice starch was lost as longer tempering time and higher drying temperature. The space between starch granules were replaced by melted starch as shown in SEM resulting. Therefore, partial gelatinization was occurred, influenced on amylose-lipid complexes formation. XRD and RVA results confirmed the increase of amylose-lipid complexes, resulted in the decreasing of glycemic index. However, the drying temperature was more significantly affected on glycemic index changing than the tempering time.

**Keywords**: brown rice starch, fluidized bed drying, tempering time

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งด้วยอากาศร้อนโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันด้วยอุณหภูมิ 130 $^{O}$C และ 150 $^{O}$C ร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ ต่อผลการเปลี่ยนแปลงค่า glycemic index ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 โดยเมื่อนำข้าวเปลือกความชื้นเริ่มต้น 33 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง มาลดความชื้นลงเหลือประมาณ 21-22 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จากนั้นนำไปเก็บในที่อับอากาศที่เวลาต่างกันแล้วจึงนำไปเป่าด้วยอากาศแวดล้อมในขั้นตอนสุดท้าย จากผลการทดลองพบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บในที่อับอากาศเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น แป้งข้าวกล้องจะสูญเสียความเป็นรูปทรงหลายเหลี่ยมแล้วหลอมปิดตามช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งดังจะเห็นได้จากผลการถ่ายภาพระดับจุลภาคด้วยเทคนิค SEM ส่งผลให้เกิดเจลบางส่วน ซึ่งการเกิดเจลบางส่วนนี้ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ amylose-lipid complex ทั้งนี้ ผลของการวัดความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD และ การวัดความหนืดของแป้งข้าวด้วยวิธี RVA ยืนยันการเพิ่มขึ้นของ amylose-lipid complex ซึ่งส่งผลต่อการลดต่ำลงของค่า glycemic index อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอบแห้งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า glycemic index มากกว่าเวลาการเก็บในที่อับอากาศ

**คำสำคัญ**: การเก็บในที่อับอากาศ การอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบด แป้งข้าวกล้อง

## คำนำ

แป้งข้าว เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารของประเทศไทย ซึ่งสามารถผลิตได้ภายในประเทศ แต่ทั้งนี้เนื่องจากอาหารสุขภาพเริ่มได้รับความนิยมสูงขึ้น ทำให้การผลิตอาหารจากแป้งข้าวสุขภาพ เช่น Resistant starch ซึ่งมีค่า Glycemic index ต่ำ กล่าวคือ เมื่อรับประทานเข้าไปร่างกายจะเปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลแล้วดูดซึมเข้าสู่ร่างกายอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลและอินซูลินในกระแสเลือดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Lenner *et al*., 2004) มีเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยส่วนใหญ่ประเทศไทยจะนำเข้า Resistant starch จากต่างประเทศ ทั้งนี้ จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า สามารถผลิตข้าวกล้อง Glycemic index (GI) ต่ำ ด้วยเทคนิคการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (Jaisut *et al*., 2008) เพื่อให้ผู้ป่วยที่เป็นโรคเบาหวานสามารถรับประทาน

[1] ภาควิชาเกษตรกลวิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900
[1] Department of Farm Mechanics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok, 10900
[2] สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อม และวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140
[2] Division of Energy Technology, School of Energy Environmental and Material, King Mongkut's University of Technology, Thonburi, Bangkok, 10140

ได้ เนื่องจากข้าวกล้องปกติมีค่า GI อยู่ในระดับสูง (Williams, 2004) โดยเทคนิคดังกล่าวจะทำให้ค่า GI ของข้าวกล้องหอมมะลิพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ลดลงจากอัตราการย่อยระดับสูงสู่อัตราการย่อยระดับปานกลาง (Jaisut *et al*., 2009)

จากผลการวิจัยดังกล่าว หากนำมาศึกษากับข้าวพันธุ์อะมิโลสสูง เช่น สุพรรณบุรี 1 อาจได้แป้งข้าวกล้องที่มีคุณสมบัติสามารถต้านทานต่อการย่อยได้ ซึ่งน่าจะเป็นประโยชน์ต่อการใช้ผลิตอาหารเพื่อสุขภาพ เช่น ผลิตภัณฑ์ขนมอบ รวมทั้งลดการนำเข้าของแป้ง Resistant starch ได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงและเวลาการเก็บในที่อับอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านกายภาพ และเคมีกายภาพ ของแป้งข้าวกล้อง เช่น การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน การย่อยของแป้งข้าวกล้อง และความหนืด ของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 1 โดยใช้เทคนิคการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดอุณหภูมิสูงร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### วิธีการทดลอง

นำข้าวเปลือกพันธุ์สุพรรณบุรี 1 ซึ่งมีค่าอะมิโลสประมาณ 23% มาเพิ่มความชื้นให้ได้ความชื้นเริ่มต้นใกล้เคียงกับความชื้นหลังการเก็บเกี่ยว คือประมาณ 33.3%d.b. โดยทำการพรมน้ำลงบนเมล็ดข้าวเปลือก จากนั้นนำไปเก็บไว้ในถังที่ปิดสนิท ในห้องเย็นที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 4°C ในช่วงประมาณ 3-4 วันแรก นำข้าวเปลือกออกมาคลุก แล้วนำกลับไปเก็บดังเดิมจนครบ 7 วัน ก่อนการทดลองอบแห้ง ปล่อยให้ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิที่ใช้เท่ากับ 130 และ 150°C โดยใช้ความเร็วอากาศ 2.6 เมตรต่อวินาที และอากาศหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 80% จากนั้นนำไปเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 0.5 1 และ 2 ชั่วโมง โดยเก็บไว้ในขวดแก้วที่ปิดสนิทที่อุณหภูมิเดียวกันกับอุณหภูมิของเมล็ดหลังการอบแห้งด้วยฟลูอิไดซ์เบด แล้วจึงนำไปเป่าด้วยอากาศแวดล้อมจนความชื้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ 16.5%d.b. จากนั้นนำไปวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ต่อไป สำหรับการหาความชื้นของข้าวเปลือกจะเก็บตัวอย่างครั้งละประมาณ 50 กรัม ไปอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง การวัดอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกผลของบริษัท YOKOKAWA (รุ่น C8510 ช่วงวัดอุณหภูมิ -100 ถึง 1300°C ความละเอียด ±0.2%) และการวัดความเร็วลมใช้ Hot-wire anemometer มีความละเอียด ±0.1 m/s

### การวิเคราะห์คุณภาพ

การวิเคราะห์คุณภาพประกอบไปด้วย

1. การวิเคราะห์โครงสร้างภายในของเมล็ดแป้งข้าวกล้อง วิเคราะห์โดยเครื่อง Scanning Micro Scopy (SEM)

2. การวิเคราะห์ x-ray diffraction pattern ใช้วัดความเป็นผลึกของแป้งข้าวกล้อง (degree of crystalinities) วิเคราะห์โดยเครื่อง D8 Discovery diffractometer (Bruker AXS GmbH, Karlsruhe, Germany) ภายใต้เงื่อนไข 40 kV และ 40 mA ด้วย Cu-anode source ($CuK_{\alpha}$-radiation of wavelength $\lambda$ = 1.54 A°) โดยค่าความเป็นผลึกสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$X_c = \frac{A_c}{A_c + A_a} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ $X_c$ คือ crystallinity (%)
$A_c$ คือ พื้นที่ของ crystalline
$A_a$ คือ พื้นที่ของ amorphous

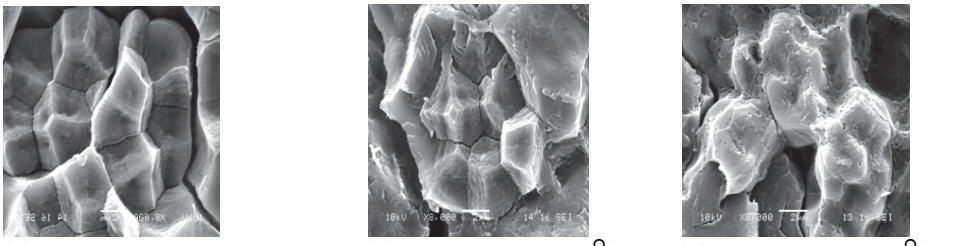
3. การวิเคราะห์ค่าความหนืดของน้ำแป้ง วิเคราะห์โดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) [Newport Scientific, Model RVA-4, NSW, Australia] ตามวิธีการ 61-02 (AACC, 1995)

4. การวิเคราะห์การย่อยของแป้งข้าวกล้อง โดยดัดแปลงมาจากวิธีวิเคราะห์ของ Goni *et al*. (1997)

## ผล

### ผลของอุณหภูมิและเวลาการเก็บในที่อับกาศต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเมล็ดข้าวกล้องพันธุ์สุพรรณบุรี 1

Figure 1 (a) แสดงผลึกหลายเหลี่ยมของข้าวกล้องที่ผ่านการลดความชื้นแบบธรรมชาติ Figure 1 (b) และ (c) แสดงการเปลี่ยนแปลงของผลึกเมื่อข้าวผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบดที่อุณหภูมิ 150°C และเก็บในที่อับอากาศเป็นเวลา 30 และ 120 นาที ตามลำดับ



(a) Rewetted rice (dried by ambient air aeration) (b) Rice dried at 150°C and tempered for 30 min (c) Rice dried at 150°C and tempered for 120 min

Figure 1 Scanning electron micrographs of brown rice starch granules subjected to various drying treatments (initial moisture content of 33.3% d.b.)

Table 1 แสดงผลึกในแป้งข้าวชนิด A-type และ V-type และค่า Glycemic index (GI) ของข้าวอ้างอิงที่ผ่านการลดความชื้นแบบธรรมชาติ และข้าวที่ผ่านการอบแห้งที่เงื่อนไขต่างๆ โดยค่า A-type และ ค่า GI มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาการเก็บในที่อับอากาศเพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลึกชนิด V-type มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

Table 1 Degree of crystalinities and Glycemic index (GI) of brown rice starch granules subjected to various drying treatments

| Condition | A-type (%) | V-type (%) | GI (%) |
|---|---|---|---|
| Reference 33.3%d.b. | 22.9 | 1.5 | 68.9 ± 0.0010 |
| T=130C,Min=33.3%d.b.,Temper30min,S1 | 19.3 | 3.8 | 66.6 ± 0.0121 |
| T=130C,Min=33.3%d.b.,Temper120min,S1 | 14.3 | 5.2 | 61.5 ± 0.0028 |
| T=150C,Min=33.3%d.b.,Temper30min,S1 | 10.7 | 5.7 | 59.1 ± 0.0301 |
| T=150C,Min=33.3%d.b.,Temper120min,S1 | 9.2 | 6.8 | 56.9 ± 0.0146 |

Table 2 Pasting properties of brown rice

| Condition | PV (RVU) | FV (RVU) | Setback (RVU) | Pasting Temp (°C) |
|---|---|---|---|---|
| T=130C,Min=33.3%d.b.,Temper 30 min | 100.6±0.55$^{de}$ | 164.6±1.56$^{c}$ | 64.0±1.14$^{b}$ | 83.2±0.59$^{bc}$ |
| T=130C,Min=33.3%d.b.,Temper 120 min | 95.6±0.73$^{c}$ | 167.7±1.95$^{c}$ | 72.1±1.25$^{c}$ | 85.6±0.97$^{d}$ |
| T=150C,Min=33.3%d.b.,Temper 30 min | 99.3±0.95$^{d}$ | 165.1±2.00$^{c}$ | 65.9±1.05$^{b}$ | 83.8±1.10$^{bc}$ |
| T=150C,Min=33.3%d.b.,Temper 120 min | 75.5±1.61$^{a}$ | 133.1±2.22$^{a}$ | 57.6±0.66$^{a}$ | 87.3±0.55$^{e}$ |
| Reference Min=33.3%d.b. | 135.6±1.51$^{f}$ | 226.2±2.76$^{e}$ | 90.6±1.26$^{e}$ | 80.5±0.50$^{a}$ |

Note: The same letter in the same column indicates no significant difference at $P < 0.05$.

Table 2 แสดงสมบัติความหนืดของแป้งข้าวกล้องที่เงื่อนไขต่างๆ จากการศึกษาความหนืดของน้ำแป้งจากข้าวกล้องโดยเครื่อง RVA ของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน พบว่า อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัว (Pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) และ ความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) แตกต่างกันดัง Table 2 การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน ร่วมกับการเก็บในที่อับอากาศ และการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม มีผลทำให้อุณหภูมิที่เม็ดแป้งเริ่มพองตัวสูงขึ้นเมื่อเทียบกับข้าวกล้องอ้างอิง (ข้าวที่ไม่ผ่านการอบแห้ง) ทุกเงื่อนไขการทดลอง จาก Table 2 เห็นได้

ว่าเมื่อระยะเวลาในการเก็บในที่อับอากาศนานขึ้น ค่าความหนืดสูงสุดมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงมากนักในเกือบทุกกรณี ความหนืดสุดท้ายที่เกิดขึ้นคือความหนืดเมื่อน้ำแป้งถูกทำให้เย็นหลังการเกิดเจล ส่วนของอะมิโลสจะเกิดโครงสร้างขึ้นใหม่ในลักษณะโครงร่างสามมิติ ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เจลแข็งขึ้น ซึ่งความหนืดของน้ำแป้งที่เพิ่มขึ้นอีกครั้งเรียกว่า การคืนตัวของของน้ำแป้งสุก (Retrogradation) จาก Table 2 จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน ข้าวกล้องที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน และเก็บในที่อับอากาศ จะมีค่าความหนืดสุดท้ายสูงกว่าข้าวอ้างอิงในทุกกรณี จาก Table 2 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อทำการเก็บในที่อับอากาศนานขึ้น ค่า Setback ที่ได้จะเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ยังคงมีค่าสูงกว่าข้าวอ้างอิง

## วิจารณ์ผล

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างภายในของเม็ดแป้งข้าวกล้อง พบว่า เมื่ออุณหภูมิและเวลาการเก็บในที่อับอากาศเพิ่มขึ้น ผลึกจะหลอมละลายปิดช่องว่างระหว่างผลึก เกิดเจลบางส่วน ซึ่งเป็นผลให้เกิด amylose-lipid complex ทำให้อัตราการย่อยของแป้งข้าวลดลง ดังเห็นได้จากผลของ GI ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ Degree of crystalinities โดยปริมาณผลึก A-type จะลดลงเมื่ออุณหภูมิและเวลาการเก็บในที่อับอากาศเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ อาจเป็นไปได้ว่าผลึก A-type ถูกเปลี่ยนไปเป็นชนิด V-type ส่งผลให้ค่า GI ลดต่ำลง (Derycke *et al,* 2005) นอกจากนี้ยังเชื่อว่าการเกิดเจลบางส่วนมีส่วนขัดขวางการดูดซับของน้ำเข้าสู่เม็ดแป้ง ดังนั้นอุณหภูมิที่เม็ดแป้งต้องใช้ในการพองตัวอีกครั้งจึงสูงขึ้น ข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน มีผลต่อการคืนตัวของน้ำแป้งสุกดีกว่าข้าวที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้ง อาจเนื่องมาจากพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแป้งในข้าวที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชัน มีการจับตัวกันระหว่างเม็ดแป้งของข้าวในระหว่างการคืนตัวของน้ำแป้งสุกดีกว่าข้าวที่ไม่ผ่านการอบแห้ง (Kaur and Singh, 2002) การเกิดเจลของแป้งอาจจะส่งผลให้คุณภาพข้าวที่ได้จะแข็งกระด้างมากขึ้น เนื่องมาจากการปรับสภาพการละลายและการเกิดเจลของแป้งและโปรตีนในเมล็ดที่ผ่านการเก็บรักษาให้กลายเป็นสารที่คงตัวขึ้น และละลายน้ำได้น้อยลง มีผลให้เมล็ดข้าวแข็งขึ้นเมื่อนำข้าวสารที่เก็บรักษาไว้ระยะหนึ่งมาหุงต้ม

## สรุป

เมื่อระยะเวลาการเก็บในที่อับอากาศเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิการอบแห้งสูงขึ้น แป้งข้าวกล้องจะสูญเสียความเป็นรูปทรงหลายเหลี่ยม แล้วหลอมปิดตามช่องว่างระหว่างเม็ดแป้งดังจะเห็นได้จากผลการถ่ายภาพระดับจุลภาคด้วยเทคนิค SEM ส่งผลให้เกิดเจลบางส่วน ซึ่งการเกิดเจลบางส่วนนี้ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ amylose-lipid complex ทั้งนี้ ผลของการวัดความเป็นผลึกด้วยเทคนิค XRD และ การวัดความหนืดของแป้งข้าวด้วยวิธี RVA ยืนยันการเพิ่มขึ้นของ amylose-lipid complex ซึ่งส่งผลต่อการลดต่ำลงของค่า glycemic index อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอบแห้งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า glycemic index มากกว่าเวลาการเก็บในที่อับอากาศ

## เอกสารอ้างอิง

AACC. 1995. Approved methods of analysis. St. Paul: American Association of Cereal Chemists.

Derycke, V., G.E. Vandeputte, R. Vermeylen, W. De Man, B. Goderis, M.H.J. Koch and J.A. Delcour. 2005. Starch gelatinization and amylose-lipid interactions during rice parboiling investigated by temperature resolved wide angle X-ray scattering and differential scanning calorimetry. Journal of Cereal Science 42:334-343.

Jaisut, D., S. Prachayawarakorn, W. Varanyanon, P. Tungtakul and S. Soponrannarit. 2009. Accelerated Aging of Jasmine Brown Rice by High Temperature Fluidization Technique. Food Research International 42: 674-681.

Jaisut, D., S. Prachayawarakorn, W. Varanyanon, P. Tungtakul and S. Soponrannarit. 2008. Effects of Temperature and Tempering Time on Starch Digestibility of Brown Fragrant Rice. Journal of Food Engineering 86(2): 251-258.

Goni, I., A. Garcia-Alonso and F. Saura-Calixto. 1997. A Starch Hydrolysis Procedure to Estimate Glycemic Index. Nutririon Research 17: 427-437.

Kaur, K. and N. Singh. 2000. Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour. Food Chemistry 71: 511-517.

Lenner, R.A., N.G. Asp, M. Axelsen, S. Brybgelsson, E. Haapa, A. Jarvi, B. Karlstrom, A. Raben, A. Sohlstrom, I. Thorsdottir and B. Vessby. 2004. Glycaemic index. Scandinavian Journal of Nutrition 48(2): 84-94.

Williams, P. 2004. The glycemic index. Extension of Utah State University. Utah, USA.