



การอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดไชน์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง Germinated Rice Drying by Fluidized Bed Technique using Superheated Steam

สุรพงษ์ โช้ทอง ไกรสร รวยป้อม

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดไชน์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการอบแห้งเครื่องอบแห้งๆ มีกำลังการผลิต 30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อบแห้งที่อุณหภูมิ 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่ความสูงของเบดข้าวเปลือกงอก 12 เซนติเมตร ความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.40 2.44 และ 2.62 เมตรต่อวินาที ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งครั้งละ 5 นาที แล้วจึงนำข้าวเปลือกงอกที่ลดความชื้นแล้วไปกะเทาะเปลือกและทดสอบคุณภาพด้านต่างๆ จากผลการศึกษพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 130 150 และ 170 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกงอกจาก 30 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ลงเหลือ 17.28 16.33 และ 15.71 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ตามลำดับ ด้านคุณภาพข้าวพบว่า เปอร์เซ็นต์ตันข้าวกล้องงอกที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส โดยที่ทุกอุณหภูมิการอบแห้งไม่พบข้าวท้องไขในข้าวกล้องงอกที่ได้ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การร้าวและความแข็งของข้าวกล้องงอกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอบแห้งได้ส่งผลกระทบต่อค่าความสว่าง ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองของข้าวกล้องงอกที่ได้ จากผลการทดลองปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (GABA) ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งมีค่า 3.29 3.11 และ 2.70 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม

คำสำคัญ : การอบแห้ง, ข้าวเปลือกงอก

Abstract

The purpose of this research work was to study the germinated rice drying by fluidized bed technique using superheated steam as a drying medium. The dryer had capacity of 30 kg/h. This pretreatment process resulted in the germinated rice moisture content of 30 % (w.b.). The drying conditions were set at a bed height of 12 cm, a superheated steam velocity of 2.40, 2.44 and 2.62 m/s, drying temperatures of 130, 150 and 170, and residence time of 5 minutes. After drying, the germinated rice was dehulled and properties of the germinated brown rice were determined. The experimental results showed that the final moisture contents of the germinated rice were approximately 17.28, 16.33 and 15.71% (w.b.) for the drying temperatures of 130, 150 and 170 °C respectively. It was also found that drying at temperature of 130 °C gave the percentage of germinated brown rice higher than drying at temperatures of 150 and 170 °C. White belly was not found for all drying temperatures. The percentage of cracking and hardness of the germinated brown rice tended to increase with increasing drying temperature. However, the drying temperature had no obvious effect on color parameters in terms of lightness, redness, and yellowness of the product. The experimental results showed that the gamma - aminobutyric acid of the germinated rice were approximately 3.29, 3.11 and 2.70 mg/100g

Keyword : drying , germinated rice



บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งที่มีการผลิตข้าวที่สำคัญของโลก ผลผลิตข้าวที่ผลิตได้มีปริมาณสูงมาก มีทั้งการนำมาบริโภคในประเทศและส่งออกไปยังต่างประเทศอยู่ในลำดับต้นๆ ของโลกที่ส่งออกข้าวไปยังต่างประเทศ แต่มักพบปัญหาอย่างหนึ่งคือ ภายหลังการเกี่ยวผลผลิตคือเรื่องความชื้นของข้าวเปลือกที่มีปริมาณค่อนข้างสูงทำให้การเก็บรักษาได้ไม่นานทั้งยังส่งผลต่อมูลค่าในการขายผลผลิตได้ต่ำ ในปัจจุบันข้าวสามารถสร้างมูลค่าเพิ่มได้ด้วยการปรับเปลี่ยนรูปแบบการผลิตจากข้าวเปลือกมาเป็นข้าวเปลือกงอก แล้วนำไปกะเทาะเปลือกจะได้ข้าวกล้องงอก จากการศึกษาวิจัยของ Taweerattanapanish et al. (1999) ซึ่งได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดโดยใช้อากาศร้อนจากผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกต่ำกว่า 18% (w.b.) เมื่อนำไปสีจะได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวลดลง Taechapairoj et al. (2003) ได้ทำการศึกษาและออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน (แบบงวด) ที่อุณหภูมิอบแห้ง 150 และ 170 °C ความสูงของเบด 10 - 15 cm ซึ่งพบว่า ความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดซ์ขึ้นเท่ากับ 2.6 m/s อุณหภูมิอบแห้งมีผลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าความสูงของเบด นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งแล้วจะมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มสูงขึ้นแต่ความขาวของข้าวสารจะลดลง (สีกคล้ายกับข้าวหนึ่ง) และเมื่อนำไปทดสอบการหุงพบว่า ข้าวที่ได้มีลักษณะคล้ายข้าวหนึ่ง ทำให้สามารถเก็บรักษาผลผลิตได้นานและนอกจากนี้ยังได้สารอาหารที่เป็นประโยชน์เพิ่มขึ้นและจำหน่ายได้ในราคาสูงนับว่าเป็นนวัตกรรมการผลิตที่น่าสนใจอย่างมากและเพื่อเป็นการปรับตัวเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับข้าวและการใช้ประโยชน์จากข้าวให้ได้อย่างคุ้มค่า แต่ในปัจจุบันการผลิตของกลุ่มเกษตรกรหรือเกษตรกรที่ผลิตข้าวกล้องงอกต้องใช้ระยะเวลานานและมีขั้นตอนในการผลิตหลายขั้นตอนและกว่าจะผลิตข้าวกล้องงอกได้ งานวิจัยนี้คือการอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพื่อนำมาผลิตเป็นข้าวกล้องงอก จะสามารถลดระยะเวลาและขั้นตอนการผลิตข้าวกล้องงอกได้ทำให้ลดระยะเวลาและขั้นตอนในการผลิตข้าวกล้องงอกและสามารถผลิตได้จำนวนมากทันต่อความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการอาหารเพื่อสุขภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง
2. เพื่อทดสอบความสามารถเครื่องอบแห้งต้นแบบด้านการกำลังการผลิตและการสิ้นเปลืองพลังงาน
3. เพื่อทดสอบคุณภาพข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด

1.1 กำหนดเงื่อนไขการออกแบบเครื่องอบแห้งในงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลวิจัยที่เกี่ยวกับการผลิตข้าวกล้องงอก การอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นหลักในการออกแบบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- กำลังการผลิตของเครื่องอบแห้ง 30 kg/hr.
- ความชื้นเริ่มต้นที่เหมาะสมของข้าวเปลือกงอกประมาณ 30% (w.b.)
- ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกงอกประมาณ 14% (w.b.)
- ความสูงของเบดข้าวเปลือกงอก 12 cm.
- ความหนาแน่นปรากฏของเมล็ดข้าวเปลือกงอก 514 kg/m³
- ความหนาแน่นจริงของเมล็ดข้าวเปลือก 1,116 kg/m³
- อุณหภูมิอบแห้งของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 170 °C
- ความดันภายในระบบอบแห้ง 106.1 kPa (abs)
- ความหนาแน่นของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 0.519 kg/m³
- ความหนืดของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (μ) 1.5151x10⁻⁵ Pa-s

- 1.2 การคำนวณหามวลของข้าวเปลือกงอกในห้องอบแห้ง

- ความกว้างของห้องอบ (W) = 0.15 m
 - ความยาวของห้องอบ (L) = 0.15 m
 - ความสูงของเบด (H) = 0.05 m
- $$= 0.15 \times 0.15 \times 0.05$$

$$= 0.001125 \text{ m}^3 \times \frac{1,000 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3}$$

$$= 1.125 \text{ kg}$$



1.3 การหาอัตราการป้อนข้าวเปลือก (feed rate)

$$\begin{aligned}\text{อัตราการป้อน} &= 30/60 \text{ kg/min} \\ &= 0.5 \text{ kg/min}\end{aligned}$$

ใช้เวลาในการอบแห้งนาน 5 min

$$\begin{aligned}Q &= 4,021 / 300 \\ &= 13.4 \text{ kW} \\ &= 14 \text{ kW}\end{aligned}$$

1.4 การหาอัตราการไหลของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

จากผลการทดลองในงานวิจัยของ อิศเรศ (2543) พบว่าความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิดไคเซต ของข้าวเปลือก (U_{mf}) ที่ความสูงของเบต 10 cm. มีค่าเท่ากับ 2.55 m/s ในการใช้งานจริงเลือกใช้ความเร็ว (V_b) เท่ากับ 1.5 เท่าของความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไคเซชัน

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= AV_b \\ &= 0.0225 \times (1.5 \times 2.55) \\ &= 0.09 \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

1.5 อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ($\dot{m}$)ที่อุณหภูมิ 170°C จะได้ค่า $\rho_s = 0.519 \text{ kg/m}^3$

สมชายและขวัญจิต (2549)

$$\begin{aligned}&= \rho_s \\ &= 0.519 \text{ kg/m}^3 \times 0.09 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 0.045 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

1.6 ความสูงของเบตขณะเกิดฟลูอิดไคเซชัน (L_{mf})

$$\frac{L_{mf}}{L_p} = \frac{1 - r_0}{1 - r_{mf}}$$

$$L_{mf} = 0.12 \text{ m}$$

1.7 หาขนาดของอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater)

พิจารณาการสูญเสียความร้อนในห้องอบแห้ง สมมติอุณหภูมิเริ่มต้นของข้าวเปลือกเท่ากับ 30°C และอุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 170°C โดยอบแห้งข้าวเปลือกความชื้นเริ่มต้น 30% (w.b.) ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 14% (w.b.) โดยมีคุณสมบัติเชิงความร้อนของข้าวเปลือกดังนี้ ค่า $C_p = 1.843 \text{ kJ/kg.K}$, ค่า $C_n = 4.192 \text{ kJ/kg.K}$ และมวลข้าวเปลือกในห้องอบแห้งเท่ากับ 1.125 kg ดังนั้นสามารถคิดเป็นปริมาณการระเหยของน้ำได้ 0.3375 kg ปริมาณความร้อนที่ต้องการหาได้จาก

$$\begin{aligned}Q &= (m_{ds} C_p \Delta T) + (m_n C_n \Delta T) + m h_{fg} + \\ &\quad (m_{ds} C_p \Delta T)_g + (m_{gt} C_p \Delta T) \\ &= (0.7875 \times 1.843 \times (100 - 30)) + \\ &\quad (0.3375 \times 4.192 \times (100 - 30)) + \\ &\quad (1.55 \times 2256.4) + (0.7875 \times 1.843 \times \\ &\quad (170 - 100)) + (1.55 \times 2.037 \times (170 - 100)) \\ &= 4,021 \text{ kJ}\end{aligned}$$

สมมติให้การสูญเสียความร้อนในส่วนต่างๆ ในระบบอบแห้ง เช่น วาล์ว ระบบท่อ รวมอยู่ในค่าความปลอดภัย (safety factor) ที่กำหนดให้เท่ากับ 1.2

$$\begin{aligned}Q &= 14 \times 1.2 \\ &= 16.8 \text{ kW}\end{aligned}$$

ดังนั้นควรเลือกอุปกรณ์ให้ความร้อนไม่ต่ำกว่า 17 kW

1.8 ความดันสูญเสียในระบบอบแห้ง ความดันรวมที่สูญเสียในระบบอบแห้ง มีดังนี้

1. ท่อขยายสี่เหลี่ยมปากทางออก
ของพัดลมยาว 0.35 m เท่ากับ 1.78 Pa
2. ท่อสี่เหลี่ยมตรงของอุปกรณ์
ให้ความร้อน ยาว 0.40 m เท่ากับ 0.112 Pa
3. ท่อลดสี่เหลี่ยม ยาว 0.35 m เท่ากับ 3.29 Pa
4. ท่อ 90° สี่เหลี่ยม
ยาว 0.80 m เท่ากับ 32.19 Pa
5. ท่อขยายสี่เหลี่ยมก่อนเข้า
ห้องอบแห้ง ยาว 0.30 m เท่ากับ 2.681 Pa
6. ที่แผ่นเหล็กเจาะรู เท่ากับ 23.35 Pa
7. ห้องอบแห้งขนาดเส้นผ่าน
ศูนย์กลาง 0.20 m สูง 0.50 m เท่ากับ 999.18 Pa
8. ความดันที่สูญเสียจาก
แผ่นกระจาย เท่ากับ 298.85 Pa

ดังนั้น เมื่อรวมความดันสูญเสียในระบบทั้งหมด (รายละเอียดการคำนวณอยู่ในภาคผนวก 1) มีค่าเท่ากับ Pa กำหนดให้ค่าความปลอดภัย (safety factor) เท่ากับ 1.5 ดังนั้น ความดันลมที่พัดลมต้องการ $\Delta P_r = 1361.43 \times 1.5 = 2,042.15 \text{ Pa}$

1.9 การคำนวณหาขนาดพัดลม

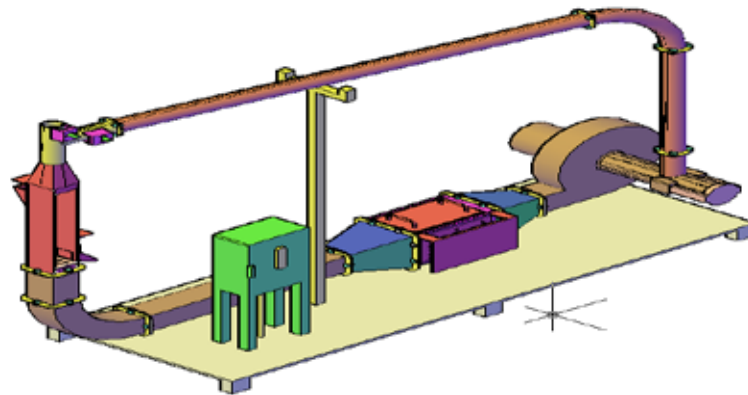
โดยจะกำหนดขนาดให้พัดลมมีประสิทธิภาพเท่ากับ 60% และมอเตอร์มีประสิทธิภาพเท่ากับ 85% และจะได้จากการคำนวณสมการดังนี้

$$\begin{aligned}W_s &= \frac{Q \Delta P_r}{\eta_f \eta_m} \\ &= (0.09 \times 2,042.15) / (0.60 \times 0.85) \\ &= 360.38 \text{ W} \\ &= 0.36 \text{ kW (0.48 hp)}\end{aligned}$$

ดังนั้น จึงควรเลือกใช้ต้นกำลังที่ 1 แรงม้า



1.10 เขียนแบบเครื่องอบแห้งเพื่อนำไปสร้าง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แบบเครื่องอบแห้ง

2. ทดสอบการทำงานของระบบเครื่องอบแห้ง

2.1 ทดลองเปิดเครื่องอบแห้งขณะที่ไม่มีภาระ (ข้าวเปลือกงอก) โดยใช้อากาศแวดล้อม แล้วสังเกตดูลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบเครื่องอบแห้ง เพื่อดูว่าสามารถทำงานได้ถูกต้องตรงตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่

2.2 ทดลองปล่อยละอองไอน้ำจากเครื่องฉีดน้ำละอองไอน้ำ (Sprayer) เข้าไปหมุนเวียนภายในระบบเครื่องอบแห้ง เพื่อไล่อากาศที่ชื้นขึ้นขึ้นส่วนและอุปกรณ์ต่างๆ ของระบบเครื่องอบแห้ง ตรวจสอบรอยรั่วที่บริเวณรอยต่อ

2.3 เปิดชุดอุปกรณ์ให้ความร้อน (Superheater) และทดลองปรับอุณหภูมิต่าง ๆ ตามเงื่อนไขการ ทดสอบ และวัดความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งในท่อด้วย Pitot static tube manometer วัดความดันตกคร่อม (Pressure drop) ของระบบอบแห้ง ด้วย U-tube manometer

2.4 วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้งด้วยเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data logger) วัดความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง โดยใช้ Pitot static tube manometer วัดการใช้กระแสไฟฟ้าด้วย Clamp on meter ที่มอเตอร์ขับเคลื่อนและวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดอุปกรณ์ให้ความร้อนโดยเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า

3. ทดลองอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์หอมมะลิ 105 โดยนำมาจากเกษตรกรที่ได้แช่น้ำที่อุณหภูมิ 30 °C เป็นเวลา 48 h และบ่มเพาะให้งอก 48 h ข้าวเปลือกจะเกิดเป็นตุ่มขนาดเล็กประมาณ 0.5-2 mm และมีความชื้นก่อนการอบแห้ง 30%(w.b.) ในการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.1 เริ่มเดินเครื่องอบแห้ง ปรับตั้งอุณหภูมิอบแห้งไว้ที่ 130 °C เมื่อเครื่องอบแห้งทำงานเข้าสู่สภาวะสม่ำเสมอ แล้วจึงเริ่มปล่อยข้าวเปลือกงอกเข้าไปในห้องอบแห้ง โดยทำการอบแห้งข้าวเปลือกงอกครั้งละ 5 kg ต่อ 5 min ปรับปริมาณของไอน้ำร้อนยวดยิ่งให้กระจายทั่วห้องอบแห้ง วัดความเร็วของไอน้ำร้อนยวดยิ่งวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้ง วัดการใช้กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ขับเคลื่อนและวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดอุปกรณ์ ให้ความร้อนและวัดความดันตกคร่อมระหว่างบนแผ่นกระจายลม และได้แผ่นกระจายลมภายในห้องอบแห้ง

3.2 ปล่อยให้เครื่องอบแห้งทำงานในสภาวะคงที่ และเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกงอก

3.3 นำตัวอย่างของข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการอบแห้งแล้วไปหาความชื้นด้วยตู้อบไฟฟ้า (Hot air oven) ที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 h

3.4 นำตัวอย่างข้าวเปลือกงอกที่เหลือไปลดความชื้นโดยการผึ่งลมธรรมชาติให้เหลือความชื้นประมาณ 14% (w.b.) แล้วจึงนำไปทดสอบคุณภาพต่างๆ

3.5 ปรับตั้งอุณหภูมิอบแห้งของไอน้ำร้อนยวดยิ่งไว้ที่ 130, 150 และ 170 °C และดำเนินการตามข้อที่ 3.1-3.4 ตามลำดับ

4. การทดสอบคุณภาพข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการอบแห้ง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในวิเคราะห์คุณภาพข้าว

1. ตู้อบไฟฟ้า (hot air oven) ยี่ห้อ memmert รุ่น Schutzart DIN 40050-IP20
2. เครื่องกะเทาะเปลือกข้าว ยี่ห้อ satake รุ่น HR 10 Mpc-Tc
3. เครื่องคัดเกรดข้าว (rice grader) ยี่ห้อ satake รุ่น RS 6000



4. เครื่องตรวจสอบความแข็งของเมล็ดพืช ยี่ห้อ Fujihara Seisakusho รุ่น Type A

5. เครื่องวัดสี ระบบ Hunter Lab โดยแสดงค่าสีแบบ L a b บริษัทผู้ผลิต Hunter Lab Reston USA รุ่น Color Flex

6. เครื่องตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา

4.2 วิธีการทดสอบคุณภาพข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการอบแห้ง

1. เพอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องงอก (Germinated brown rice) (อิศเรศ, 2543)

1.1 ทำความสะอาดข้าวเปลือกงอก โดยผ่านเครื่องคัดแยกเพื่อดูเอาเมล็ดลีบและสิ่งเจือปนต่าง ๆ ออกส่วนวัสดุหนักคัดเลือกออกด้วยมือ

1.2 ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่สะอาดแล้ว 125 กรัม

1.3 กะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกจนเปลือกออกหมด

1.4 ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องงอกแล้วบันทึกค่า

1.5 นำข้าวกล้องงอกทั้งหมดไปแยกส่วนที่เป็นต้นข้าวและข้าวหัก ด้วยเครื่องคัดเกรดข้าวรวมไปถึงการคัดแยกด้วยมือ

1.6 ชั่งน้ำหนักต้นข้าวกล้องงอกแล้วบันทึกค่า

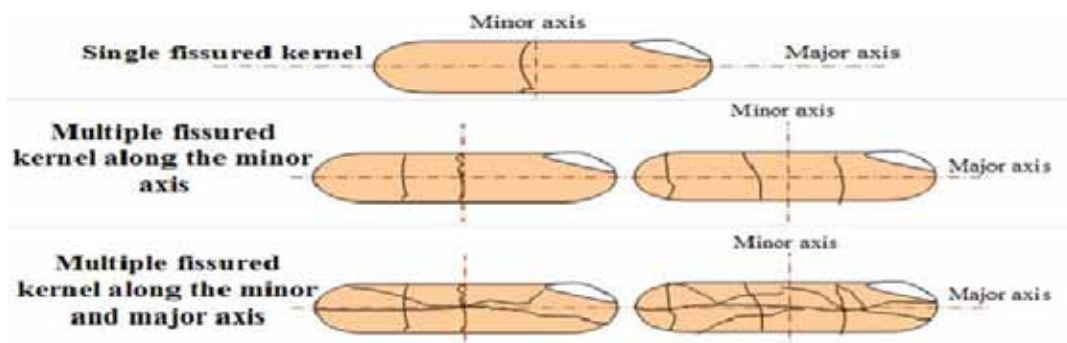
1.7 สูตรการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องงอก

เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องงอก

= (นน.ต้นข้าวกล้องงอก x 100)/(นน.ข้าวเปลือกงอก)

2. เพอร์เซ็นต์การร้าว (Cracking) (อิศเรศ, 2543)

พิจารณาลักษณะการร้าวของเมล็ดข้าว ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะการร้าวของเมล็ดข้าวกล้องงอก

ที่มา : นพรัตน์และอรรถสิทธิ์ (2529)

2.1 นำตัวอย่างต้นข้าวกล้องงอกมาจำนวน 50 กรัม ใช้ไฟส่องเมล็ดข้าวกล้องงอกเลือกเฉพาะเมล็ดข้าวกล้องงอกที่การร้าวน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 5) ของพื้นที่ทั้งหมดของเมล็ดข้าวกล้องงอก

2.2 ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องงอกที่ร้าวแล้วบันทึกค่า

2.3 สูตรการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การร้าวโดยน้ำหนัก

เปอร์เซ็นต์การร้าวโดยน้ำหนัก

= (นน.เมล็ดกล้องงอกร้าว x 100)/(นน.ข้าวกล้องงอกรวม)

3. เพอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ (White belly) (อิศเรศ, 2543)

3.1 นำตัวอย่างต้นข้าวกล้องงอกมาจำนวน 50 กรัม ใช้ไฟส่องเมล็ดข้าวกล้องงอกแยกข้าวท้องไข่ออกโดยข้าวท้องไข่จะมีพื้นที่ขาวขุ่นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่เมล็ดข้าวกล้อง

3.2 ชั่งน้ำหนักข้าวท้องไข่แล้วบันทึกค่า

3.3 สูตรการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่

เปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่

= (นน.ข้าวท้องไข่ x 100)/(นน.ข้าวกล้องงอกรวม)

4. ความแข็ง (Hardness) (อิศเรศ, 2543)

ในการทดสอบความแข็งของข้าวกล้องงอก ใช้เครื่องตรวจสอบความแข็งของเมล็ดพืช โดยใช้เมล็ดข้าวกล้องงอกตัวอย่างละ 30 เมล็ด ค่าที่อ่านได้จะมีหน่วยเป็น kgf.

5. ค่าสี (L a b) (อิศเรศ, 2546)

5.1 นำอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบค่าสีดำและสีขาวมาใส่ในเครื่องวัดสี ระบบ Hunter Lab ทำการสอบเทียบเครื่อง (calibrate)

5.2 นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ไม่ได้ผ่านการอบแห้งใส่ในเครื่องวัดสี ระบบ Hunter Lab แสดงผลค่า L a และ b

5.3 นำตัวอย่างข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งใส่ในเครื่องวัดสี ระบบ Hunter Lab แสดงผลค่า L a และ b แล้วบันทึกค่า

5.4 ทำการทดสอบวัดค่าสีอีก 3 ซ้ำในแต่ละตัวอย่าง แล้วนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ



ตารางที่ 1 ทดสอบความสามารถเครื่องอบแห้งต้นแบบด้านกำลังการผลิตและการสิ้นเปลืองพลังงาน

เงื่อนไขการอบแห้ง (°C)	สมรรถนะของเครื่อง (kg/h)	ปริมาณความชื้น %w.b.	อัตราการระเหยน้ำ (kg-H ₂ O /h)	การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh)	การใช้พลังงานรวม (MJ/h)	การใช้พลังงานจำเพาะ (MJ/kg-H ₂ O)
130	30	17.28	6.59	5.37	19.33	2.93
150	30	16.33	7.00	6.14	22.10	3.15
170	30	15.71	7.26	6.36	26.13	3.59

6. ปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (Gamma-Aminobutyric Acid, GABA) (จารุรัตน์, 2550) ส่งตัวอย่างข้าวกล้องงอกไปทดสอบปริมาณสารกาบา ที่สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

6.1 การเตรียมตัวอย่าง นำข้าวที่ผ่านการแช่หรือผ่านการงอกมาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง จนได้ความชื้น 6 - 8 เปอร์เซ็นต์ (d.b.) จากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง 5 กรัม มาบดให้ละเอียดแล้วเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 โมลาร์ จำนวน 100 มม. ย่อยตัวอย่างที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ของเหลวที่ได้จากการย่อยเป็นโปรตีนไฮโดรไลเสท

6.2 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด นำโปรตีนไฮโดรไลเสท ที่เตรียมได้จากข้อ 1 ไปทำปฏิกิริยากับ 9-Fluorenyl Methyl chloroformate (FMOC) ได้เป็นตัวอย่างอนุพันธ์ของโปรตีนไฮโดรไลเสทที่สกัดได้แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสารกาบา

ผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ได้เครื่องต้นแบบอบแห้งๆ ที่มีกำลังการผลิต 30 kg/h และมีการทดสอบความสามารถเครื่องอบแห้งต้นแบบด้านกำลังการผลิตและการสิ้นเปลืองพลังงานได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 1 ส่วนคุณภาพข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

เงื่อนไขการอบแห้ง (°C)	ต้นข้าวกล้องงอก (%)	ข้าวท้องไข่ (%)	การร้าว (%)	ความแข็ง (kgf)	ค่าสี			สารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิด (mg/100g)
					L	a	b	
130	74	0	0.31	6.56	52.09	3.88	15.81	3.29
150	68	0	4.22	8.14	48.79	3.95	16.28	3.11
170	60	0	12.17	10.22	46.35	4.36	18.14	2.70

เมื่อนำข้าวเปลือกงอกที่มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 30 %w.b. ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบด จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้ายอยู่ในช่วง 15.71-17.28 % (w.b.) พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 130 150 และ 170°C เครื่องอบแห้งมีอัตราการผลิต 30 kg/h อัตราการระเหยน้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ย 170°C มีค่าสูงสุดคือ 6.36 kWh ที่ 150°C มีค่า 6.14 kWh และ 130°C มีค่าต่ำสุดคือ 5.37 kWh ส่วนค่าการใช้พลังงานรวมที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือกงอกพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 170°C

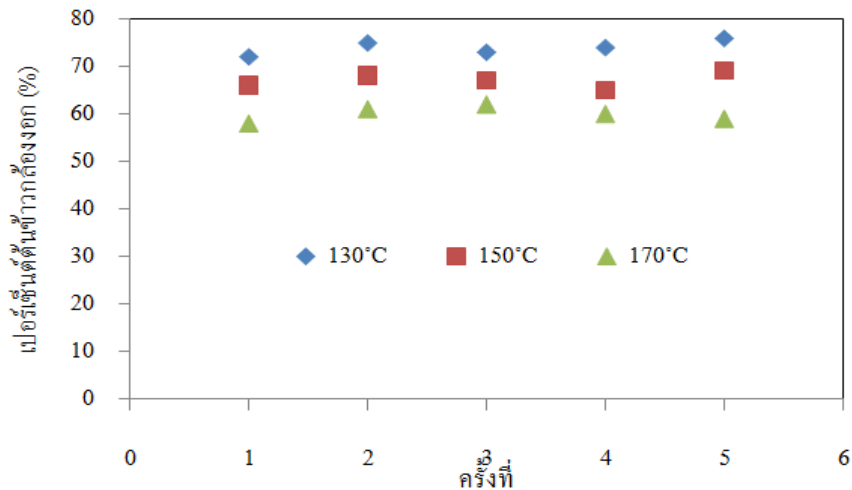
มีค่าสูงสุดคือ 26.13 MJ/h ที่ 150°C มีค่า 22.10 MJ/h และ 130°C มีค่าต่ำสุดคือ 19.33 MJ/h และเมื่อพิจารณาการใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งพบว่า พลังงานจำเพาะ (specific energy consumption) ของการอบแห้งมีค่าลดลงตามอุณหภูมิการอบแห้งและกำลังผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 2.93 3.15 และ 3.59 MJ/kg-H₂O ที่การอบแห้งที่อุณหภูมิเฉลี่ย 130 150 และ 170°C ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิอบแห้งที่สูงสามารถระเหยน้ำได้มากกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า



1. เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องงอก

เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดโดยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิแป้งสุกของข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 จึงทำให้แป้งข้าวเปลือกงอกเกิดเจลลาทีโนเซชัน (gelatinization) ทำให้เกิดความทนทานต่อการขัดสี ส่งผลได้เปอร์เซ็นต์ข้าวกล้องงอกสูง ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานวิจัยของ Rordprapat *et al.* (2005) เมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องงอก พบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง

130°C จะให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องงอกสูงที่สุด (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 3) สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกงอกระเหยอย่างรวดเร็วทำให้เกิดความแตกต่างของความชื้นภายนอกและผิวที่มีความแตกต่างของความชื้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความเค้นภายในเมล็ดข้าวและความเค้นดังกล่าวนี้เองที่ทำให้ข้าวมีความแข็งแรงน้อย เกิดการแตกหักได้ง่าย ซึ่งส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องงอกเมื่อนำมากะเทาะเปลือก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Taechapiroj *et al.* (2004)



ภาพที่ 3 เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

2. เปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่

จากตารางที่ 2 และ ภาพที่ 4, 5 และ 6 พบว่าเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้ง

ฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ไม่พบเปอร์เซ็นต์ข้าวท้องไข่ใดๆ เจือปนในการอบแห้ง เพราะว่าเมล็ดแป้งภายในเมล็ดข้าวกล้องงอกสามารถเกิดเจลลาทีโนเซชันอย่างสมบูรณ์



ภาพที่ 4 ลักษณะข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130°C



3. เปอร์เซ็นต์การร้าว

เปอร์เซ็นต์การแตกร้าวถือเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพข้าวที่สำคัญ ซึ่งจากผลการศึกษาเปอร์เซ็นต์การร้าวของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 5 พบว่า ที่อุณหภูมิอบแห้ง 130°C

ข้าวกล้องงอกที่ได้มีเปอร์เซ็นต์การร้าวมีค่าเปอร์เซ็นต์การร้าวต่ำกว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 150 และ 170°C อุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ยที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้อุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกงอกมีค่าสูงขึ้นตามจึงทำให้เกิดการร้าวของเมล็ดข้าวกล้องงอกสูงขึ้นตามอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือกงอก

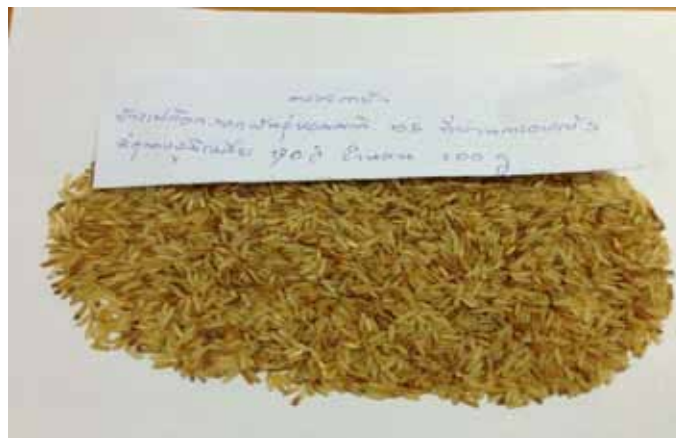


ภาพที่ 5 ลักษณะข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 150°C

4. ความแข็ง

จากการทดสอบความแข็งของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง พบว่า ค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้น

โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 130 150 และ 170°C ข้าวกล้องงอกที่มีค่าความแข็งเท่ากับ 6.56 8.14 และ 10.22 kgf. ตามลำดับ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 ลักษณะข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิ 170°C

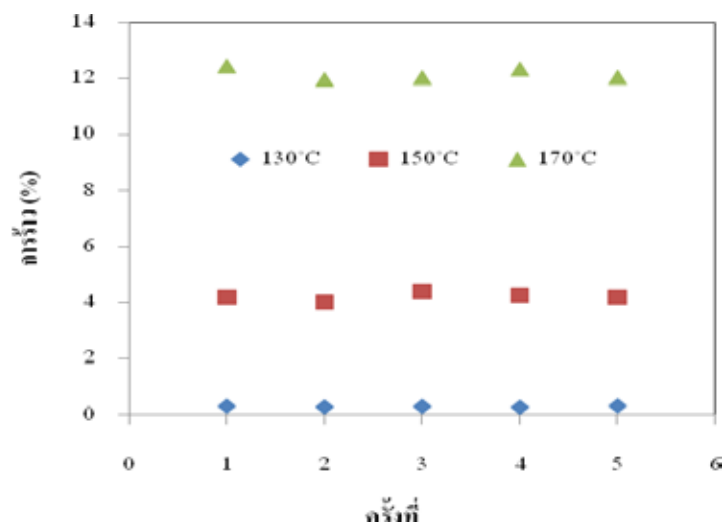


5. ค่าสี

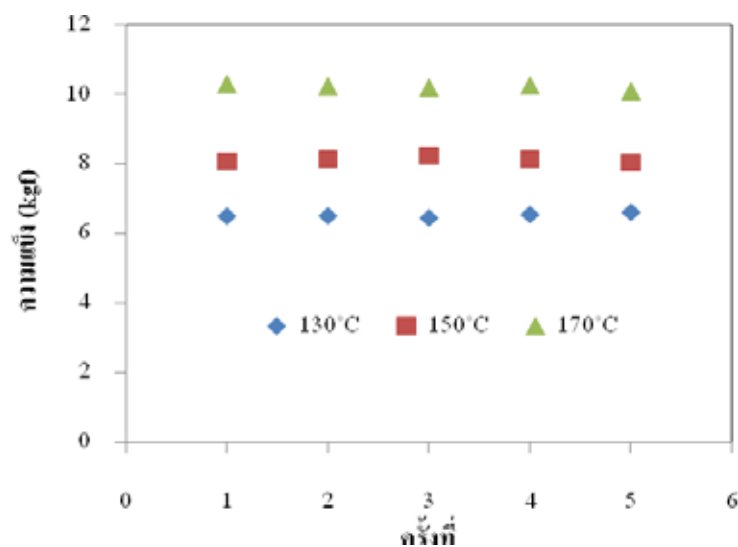
เมื่อนำข้าวกล้องงอกไปตรวจสอบคุณภาพค่าน้ำสี พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ที่อุณหภูมิอบแห้ง 130 150 และ 170°C มีค่าความสว่าง (L) ลดลงตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่มีค่าสีแดง (a) และค่าสีเหลือง (b) มีค่ามากขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่าอุณหภูมิอบแห้งที่สูงทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) ส่งผลให้ข้าวกล้องงอกที่ได้มีสีที่เข้มขึ้น

6. ปริมาณสารกาบา

จากการส่งตัวอย่างข้าวกล้องงอกให้สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จำนวน 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 200 กรัม ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 2 พบว่าอุณหภูมิอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นปริมาณสารกาบาจะมีแนวโน้มลดลง โดยข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 130 150 และ 170°C มีปริมาณสารกาบา คือ 3.29 3.11 และ 2.70 mg/100g ตามลำดับ



ภาพที่ 5 การร้าวของเมล็ดข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 6 ความเข้มของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ



สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่อุณหภูมิอบแห้ง 130, 150 และ 170°C ความเร็วไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 2.40, 2.44 และ 2.62 m/s ตามลำดับ ความสูงเบด 12 cm มีอัตราการผลิต 30 kg/h ตามลำดับ พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 130, 150 และ 170°C เครื่องอบแห้งสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกงอกจาก 30% (w.b.) ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 17.28, 16.33 และ 15.71% (w.b.) ตามลำดับ เมื่อนำข้าวเปลือกงอกซึ่งกะเทาะเปลือกแล้วไปทดสอบคุณภาพข้าวด้านต่างๆ พบว่า เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกล้องงอกที่ได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 130°C มีค่ามากที่สุด ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การร้าวและความแข็งของข้าวกล้องงอกมีแนวโน้มเพิ่มตามอุณหภูมิอบแห้งที่สูงขึ้น และไม่พบข้าวท้องไขในข้าวกล้องงอกที่ได้จากการอบแห้งในทุกอุณหภูมิ ส่วนคุณภาพด้านสีของข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า ข้าวกล้องงอกที่ได้มีค่าความสว่าง ค่าสีแดง และสีเหลืองมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนปริมาณสารกาบาของข้าวเปลือกงอกที่ผ่านการอบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ปริมาณสารกาบาจะมีแนวโน้มลดลง โดยที่ข้าวกล้องงอกที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 130°C มีปริมาณสารกาบาสูงสุดคือ 3.29 mg/100g และค่าการใช้พลังงานจำเพาะจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการผลิตข้าวกล้องงอกแบบดั้งเดิมซึ่งใช้เวลาเริ่มต้นจากนำข้าวเปลือกไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 วันและบ่มเพาะงอกอีก 2 วัน จากนั้นค่อยนำไปนึ่งและตากแห้งเป็นเวลา 3 วัน จึงสามารถนำไปกะเทาะเพื่อผลิตเป็นข้าวกล้องงอก งานวิจัยนี้จะสามารถลดขั้นตอนและระยะเวลาในการผลิตลงได้มาก เนื่องจากว่าเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกงอกด้วยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถนึ่งและอบแห้งข้าวเปลือกงอกได้ในเวลาเดียวกัน

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการนำเครื่องอบแห้งไปทดสอบข้าวในพันธุ์ต่างๆ ให้มากขึ้น เพื่อจะได้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการอบแห้งข้าวเปลือกงอกต่อไป
2. ควรมีการออกแบบเครื่องอบแห้งให้มีขนาดกะทัดรัดเหมาะสมกับกลุ่มแม่บ้านและชุมชนขนาดเล็ก เพื่อสะดวกและง่ายต่อการเคลื่อนย้ายไปใช้งานในที่ต่างๆ
3. ควรมีศึกษาการนำความร้อนจากก๊าซหุงต้มหรือแหล่งพลังงานอื่นมาใช้แทนระบบการให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย
4. ควรเพิ่มขนาดรูของแผ่นกระจายลมให้ใหญ่กว่าเดิม

เอกสารอ้างอิง

- จารุรัตน์ สันต. 2550. ผลของกระบวนการแช่และกระบวนการงอกของข้าวกล้อง (หอมมะลิ 105) ต่อปริมาณสารแกมมาอะมิโนบิวทิริกแอซิดในข้าวกล้องงอก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- นพรัตน์ ยศวัฒน์และอรรถสิทธิ์ สี่ดำรงวัฒนากุล. 2529. การอบแห้งข้าวเปลือกโดยวิธีฟลูอิดเซชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. น. 54-59.
- สมชัย อัครทิวาและขวัญจิต วงษ์ชาติ. 2549. เทอร์โมไดนามิกส์. สำนักพิมพ์แมคกรอ-ฮิล. กรุงเทพฯ. 671 น.
- อธิคม จิรจินดาเลิศ. 2546. การนึ่งข้าวกล้องด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อิสเรศ รุชกัลยา. 2543. การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดซ์เบดด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. น.23-25.
- Rordprapat, W.,A., Nathakaranakule., W., Tia.,and S., Soponronarit. 2005. Comparative study of fluidized bed paddy drying using hot air and superheated steam. Journal of Food Engineering. 71(1) : 28-36.
- Taechapaoj, C. Dhuchakallaya, I. Soponronarit, S. Prachayawarakorn, S. 2003. Superheated Steam Fluidized Bed Paddy Drying. Journal of Food Engineering, 58 : 67-73.
- Taechapaoj, C. Prachayawarakorn, S. and Soponronarit, S. 2004. "Characteristics of Rice Dried in Superheated Steam Fluidised Bed". Drying Technology. Vol. 22(4), pp.719-743.
- Taweerattanapanish, A. Soponronarit, S. Wetchacama, S. Kongseri,N. and Wongpiyachon, S. 1999. "Effect of Drying on Rice Yield Using Fluidization Technique". Drying Technology. Vol. 17. No. 1&2. pp.345-353.