Agricultural Sci. J. 41 : 1 (Suppl.) : 456-460 (2010) ว. วิทย. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 456-460 (2553)

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านความหนืดและคุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ภายใต้การอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น

Changes in Pasting Properties and Cooking Qualities of Chainat 1 Variety under Combined Near-infrared Radiation and Fluidized-bed Drying

อมรรัตน์ ชัยกอง[1], **ศิริธร ศิริอมรพรรณ**[2] **และ นเรศ มีโส**[1]
Amornrut Chaikong[1], Sirithon Siriamornpun[2] and Naret Meeso[1]

Abstract

This research investigated the effect of combined near-infrared radiation (NIR) and fluidized-bed drying on pasting properties and cooking quality of Chainat 1 using NIR powers of 4, 6 and 8 kW combined with hot air at 40 °C and velocity of 4.5 m/s, bed depth 6 cm, compared with hot air at 80 °C alone (control). After that, drying rice at time with to pasting properties and cooking qualities, there were no significant differences of pasting temperature. Peak viscosity, breakdown, water uptake ratio, and elongation ratio increased with increasing of NIR powers. Further, set back and solid loss decreased with increasing of NIR powers. Drying with hot air at 80 °C alone showed that pasting properties and cooking qualities were not different from those with combined NIR and fluidized-bed drying except that peak viscosity decreased. This study has demonstrated that combined NIR and fluidized-bed drying could effect on changes in pasting properties and cooking qualities of Chainat 1.

Key word: pasting properties, cooking qualities, paddy

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางด้านความหนืดและคุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 โดยใช้กำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น 4, 6 และ 8 kW ร่วมกับการพาอากาศร้อน 40 °C ความเร็วอากาศร้อน 4.5 m/s และความสูงเบด 6 cm และเปรียบเทียบกับข้าวที่อบแห้งด้วยการพาอากาศร้อนอย่างเดียวที่ 80 °C (ตัวอย่างควบคุม) หลังจากนั้นนำข้าวที่อบแห้งในแต่ละเวลามาหาคุณสมบัติทางด้านความหนืดและคุณภาพการหุงต้ม พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นของความหนืด (pasting temperature) มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดลดลง (breakdown) อัตราการอุ้มน้ำของเมล็ดข้าวสุกต่อเมล็ดข้าวสาร (Water uptake ratio) และอัตราการยืดออกของเมล็ดข้าวสุกต่อเมล็ดข้าวสาร (elongation ratio) เพิ่มขึ้นตามกำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น นอกจากนี้การคืนตัวของแป้งข้าวสุก (setback) และของแข็งที่สูญเสียระหว่างการหุงต้ม (solid loss) ลดลงตามกำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น คุณสมบัติทางด้านความหนืดและคุณภาพการหุงต้มจากการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นมีแนวโน้มไม่แตกต่างกับการอบแห้งด้วยการพาอากาศร้อนอย่างเดียวที่ 80°C ยกเว้นค่า peak viscosity ที่มีค่าลดลง การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขของการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านความหนืดและคุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1

คำสำคัญ คุณสมบัติความหนืด, คุณภาพการหุงต้ม, ข้าวเปลือก

[1] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150
[1] Research Unit of Drying Technology for Agricultural Products, Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kuntarawichai, Mahasarakham 44150
[2] ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารและโภชนาศาสตร์ คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.เมือง จ.มหาสารคาม 44000
[2] Department of Food Technology and Nutrition, Faculty of Technology, Mahasarakham University, Muang, Mahasarakham 44000

คำนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย มีการเพาะปลูกทุกภาค เป็นอาหารหลักของคนไทย และเป็นสินค้าส่งออกอันดับหนึ่งของประเทศไทย ข้าวมีหลายสายพันธุ์ มีทั้งชนิดหอมและไม่หอมมีความไวแสง และไม่ไวแสง คุณภาพข้าวสุกร่วน แข็ง และนุ่ม แตกต่างกัน สำหรับข้าวที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวนาปรัง ไม่ไวแสง คุณภาพข้าวสุก มีลักษณะแข็งและร่วน การอบแห้งข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 ซึ่งเป็นข้าวในช่วงฤดูฝน โดยทั่วไปจะนิยมใช้กระบวนการอบแห้งแบบหลายช่วง ซึ่งประกอบด้วยการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด การเก็บในที่อับอากาศ และการเป่าด้วยอากาศแวดล้อมตามลำดับ (Meeso et al., 1999; Meeso et al., 2004) จากกระบวนการอบแห้งแบบหลายช่วงดังกล่าวนี้ถึงแม้ว่าจะสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกลงมาอยู่ในระดับที่มีความปลอดภัยในการเก็บรักษา โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้าวมากนัก แต่กระบวนการอบแห้งดังกล่าวก็พบว่าใช้ขั้นตอนในการอบแห้งหลายขั้นตอน และใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ต่อมา วงศ์สถิตย์ (2551) ได้พัฒนาการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้การอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น เพื่อลดขั้นตอนในการอบแห้ง และลดระยะเวลาในการอบแห้ง จากผลการศึกษาพบว่าเงื่อนไขการอบแห้ง ซึ่งประกอบด้วยกำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น 8 kW ร่วมกับการพาอากาศร้อน 40 °C ความเร็วอากาศร้อน 4.5 m/s และความสูงเบด 6 cm สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกลงได้ถึงระดับความปลอดภัยในการเก็บรักษา คือ ประมาณ 16.5 % มาตรฐานแห้ง โดยที่ปริมาณต้นข้าวยังอยู่ในระดับใกล้เคียงกับข้าวอ้างอิง แต่จากการศึกษาดังกล่าวยังขาดข้อมูลในส่วนของคุณสมบัติทางด้านความหนืดและคุณภาพการหุงต้ม สำหรับใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนกลไกการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำข้าวเปลือกพันธุ์ชัยนาท 1 ที่ผ่านเงื่อนไขของการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น ตามคำแนะนำ วงศ์สถิตย์ (2551) มาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านความหนืดและคุณภาพการหุงต้ม

อุปกรณ์และวิธีการ

1.ตัวอย่างข้าว ข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองเป็นข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 เป็นข้าวเปลือกนาปรังที่ได้มาจากจังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 31 % มาตรฐานแห้ง

2.เงื่อนไขการทดลอง ข้าวเปลือกจะอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดโดยใช้การแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นร่วมกับการพาอากาศร้อน (นเรศ และศิริธร, 2550) ภายใต้กำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น 4, 6 และ 8 kW ร่วมกับการพาอากาศร้อน 40 °C ความเร็วอากาศร้อน 4.5 m/s และความสูงเบด 6 cm และเปรียบเทียบกับข้าวเปลือกที่อบแห้งด้วยการพาอากาศร้อนอย่างเดียวที่ 80 °C (ตัวอย่างควบคุม)

3.การวิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านความหนืดของแป้ง (Pasting Properties) ด้วยเครื่อง rapid visco analyzer (RVA) โดยวัดค่า pasting temperature, peak viscosity, breakdown และ setback ตามวิธีการของ (AACC, 2000)

4.การวิเคราะห์คุณภาพการหุงต้ม (cooking qualities) เตรียมตัวอย่างโดยนำน้ำกลั่น 20 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml ไปต้มโดยใช้ hot plate รอจนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์เดือด (98 °C) ต่อมานำตัวอย่างเมล็ดข้าวสารจำนวน 2 กรัม วางในกระชอนที่มีขนาดเล็กแล้วนำไปต้มในใส่ลงในบีกเกอร์ โดยใช้เวลาในการหุงต้มประมาณ 17 นาที จากนั้นนำตัวอย่างข้าวสุกขึ้นมาปล่อยทิ้งไว้เพื่อให้ข้าวสุกคายน้ำออก แล้วนำมาหาค่า water uptake ratio, elongation ratio และ solid loss (Bello et al., 2004) ดังสมการที่(1), (2)และ(3) ตามลำดับ

$$\text{อัตราการอุ้มน้ำของเมล็ดข้าวสุกต่อเมล็ดข้าวสาร} = \frac{\text{น้ำหนักเมล็ดข้าวสุก}}{\text{น้ำหนักเมล็ดข้าวสาร}} \quad (1)$$

$$\text{อัตราการยืดออกของเมล็ดข้าวสุกต่อเมล็ดข้าวสาร} = \frac{\text{ความยาวของเมล็ดข้าวสุก(ค่าเฉลี่ย)}}{\text{ความยาวของเมล็ดข้าวสาร(ค่าเฉลี่ย)}} \quad (2)$$

$$\text{ของแข็งที่สูญเสียระหว่างการหุงต้ม(\%wet base)} = \frac{\text{น้ำหนักที่หายไป}}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{น้ำหนักที่หายไป} = \text{น้ำหนัก moisture can ที่มีตัวอย่างหลังอบ} - \text{น้ำหนัก moisture can ก่อนอบ}$$

ผลและวิจารณ์

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านความหนืดและคุณภาพการหุงต้มข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งที่กำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น 4, 6 และ 8 kW ร่วมกับการพาอากาศร้อน 40 °C และอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอากาศร้อนอย่างเดียวที่ 80 °C แสดงใน Table 1 การเปลี่ยนแปลงค่า pasting temperature ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงจะได้ค่า pasting temperature สูงกว่าข้าวอ้างอิง แต่ในขณะที่การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอากาศร้อนอย่างเดียวที่ 80 °C ค่า pasting temperature ไม่ต่างกับข้าวอ้างอิง ด้านค่า peak viscosity และ breakdown เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิงได้ค่า peak viscosity และ breakdown สูงกว่าข้าวอ้างอิง ซึ่งค่าทั้ง 2 ค่า มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น ส่วนค่า setback มีค่าต่ำกว่าข้าวอ้างอิง และมีค่าลดลงตามกำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น และระยะเวลาอบแห้งที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอากาศร้อนอย่างเดียวที่ 80 °C พบว่า ค่า peak viscosity, breakdown และ setback จะลดลงตามระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และจากการทดลองพบว่า peak viscosity สูงกว่าข้าวอ้างอิง (Table 1) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น ทั้งนี้เนื่องจาก รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเมล็ดข้าว ทำให้โมเลกุลของส่วนประกอบหลักของเมล็ดข้าว เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต (แป้ง) เป็นต้น ดูดกลืนพลังงานบางส่วนจากการแผ่รังสีอินฟราเรดไว้ และเกิดการเปลี่ยนแปลงในสภาวะการสั่นสะเทือนของโมเลกุลกลายเป็นพลังงานความร้อนขึ้นภายในเมล็ดข้าว (Ginzburg, 1969; Il'yasov and Krasnikov, 1991; Meeso et al., 2007; Sakai and Hauzawa, 1994) จากการกล่าวข้างต้นจึงเป็นข้อสันนิษฐานว่า ในสภาวะการสั่นสะเทือนของโมเลกุลกลายเป็นพลังงานความร้อนขึ้นภายในเมล็ดข้าว จะมีส่วนทำให้โมเลกุลที่เกาะเกี่ยวกันคลายตัวออก จึงทำให้แป้งสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น จากการศึกษา อรอนงค์ (2547) ได้กล่าวไว้ว่า โปรตีนที่เกาะเกี่ยวกับเม็ดสตาร์ชหรือเม็ดแป้ง จะขัดขวางการพองตัวของเม็ดแป้ง ดังนั้นจากการกล่าวข้างต้น จึงทำให้เม็ดแป้งสามารถดูดซับน้ำได้มากขึ้น สำหรับค่า setback ซึ่งมีความสัมพันธ์กับลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลัก เป็นตัวบ่งชี้ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ความหนืดซึ่งเกิดขึ้นหลังการหุงต้มและทำให้เย็นลง ถ้าค่า setback มีค่าต่ำ แสดงว่าข้าวสุกนั้นมีความแข็งกระด้างต่ำหลังจากการหุงสุกและปล่อยให้ข้าวเย็นตัวลง (Eiammi et al., 2004) จากการทดลองพบว่าข้าวที่ผ่านอบแห้งด้วยกำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นและระยะเวลาอบแห้งเพิ่มขึ้น ได้ค่า setback ต่ำลง

Table 1 Changes in pasting properties of Chainat 1 under different drying conditions.

Treatment	Drying Period (min)	Pasting Temperature (°C)	Peak (RVU)	Breakdown (RVU)	Setback (RVU)
4 kW	5 min	80.52±2.52^{cde}	388.25±8.21^{g}	193.72±4.35^{fg}	10.84±1.10^{d}
	10 min	85.13±1.29^{ab}	393.97±1.32^{fg}	205.17±2.69^{de}	13.17±4.48^{d}
	20 min	84.48±2.58^{ab}	402.61±4.83^{def}	211.31±5.75^{de}	16.67±2.27^{d}
	30 min	79.13±3.36^{e}	412.08±8.71^{bc}	210.92±1.55^{de}	16.53±2.09^{d}
	40 min	87.43±2.28^{a}	400.50±0.10^{def}	165.14±4.94^{h}	17.05±0.05^{d}
6 kW	5 min	85.88±1.86^{ab}	395.50±5.17^{fg}	201.56±3.50^{ef}	-21.61±2.13^{fg}
	10 min	84.72±2.42^{ab}	399.86±8.43^{ef}	209.78±7.93^{de}	-24.19±4.02^{fg}
	20 min	84.45±0.84^{ab}	406.00±5.05^{cde}	209.97±5.47^{de}	-25.42±2.47^{fg}
	30 min	80.52±2.24^{cde}	427.67±2.85^{a}	242.75±2.38^{c}	-26.64±3.73^{fg}
	40 min	83.57±3.68^{bc}	414.47±6.96^{bc}	222.78±6.87^{c}	-29.39±3.20^{g}
8 kW	5 min	83.32±2.25^{bcd}	409.72±1.13^{cd}	213.14±8.10^{cd}	-44.97±6.36^{h}
	10 min	83.37±1.49^{bcd}	419.69±8.28^{ab}	212.14±7.18^{d}	-56.00±6.25^{i}
	20 min	83.18±1.42^{ab}	420.64±2.95^{ab}	221.81±9.64^{c}	-65.31±7.74^{j}
	30 min	85.80±1.28^{a}	378.67±1.55^{h}	190.22±3.36^{g}	-12.67±1.46^{e}
	40 min	78.75±0.15^{e}	335.46±14.84^{ej}	112.91±2.22^{j}	-19.93±0.03^{f}
80 °C	5 min	79.65±0.43^{de}	301.22±1.18^{k}	87.36±0.98^{k}	100.28±6.49^{c}
	10 min	80.12±0.49^{cde}	295.95±6.62^{k}	85.53±7.19^{k}	110.28±6.49^{b}
Standard		79.67±0.33^{de}	354.19±4.60^{i}	123.72±7.16^{i}	128.36±3.97^{a}

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 2 Changes in water uptake ratio of Chainat 1 under different drying conditions

Drying Period	Combined NIR (kW) and Fluidized-bed drying (40 °C)			Hot Air Drying (80 °C)
	4 kW	6 kW	8 kW	
Standard	2.19±0.05^{d}	2.19±0.05^{d}	2.19±0.05^{d}	2.19±0.05^{b}
5 min	2.24±0.03^{cd}	2.27±0.01^{c}	2.29±0.02^{c}	2.26±0.01^{a}
10 min	2.26±0.00^{c}	2.32±0.04^{bc}	2.33±0.03^{c}	2.29±0.03^{a}
20 min	2.32±0.04^{b}	2.36±0.03^{ab}	2.37±0.01^{b}	-
30 min	2.37±0.04^{ab}	2.38±0.01^{a}	2.42±0.02^{a}	-
40 min	2.39.0±0.01^{a}	2.41±0.03^{a}	2.44±0.02^{a}	-

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 3 Changes in elongation ratio of Chainat1 under different drying conditions

Drying Period	Combined NIR (kW) and Fluidized-bed drying (40 °C)			Hot Air Drying (80 °C)
	4 kW	6 kW	8 kW	
Standard	1.30±0.00^{d}	1.30±0.00^{e}	1.30±0.00^{e}	1.30±0.00^{c}
5 min	1.32±0.02^{cd}	1.32±0.02^{c}	1.35±0.02^{d}	1.34±0.01^{b}
10 min	1.33±0.01^{bcd}	1.34±0.02^{e}	1.38±0.05^{bcd}	1.36±0.05^{a}
20 min	1.34±0.04^{bc}	1.36±0.02^{d}	1.40±0.0^{bc}	-
30 min	1.36±0.01^{b}	1.40±0.01^{b}	1.43±0.01^{c}	-
40 min	1.40±0.04^{a}	1.42±0.01^{a}	1.45±0.04^{a}	-

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p \leq 0.05$)

Table 4 Change in solid loss (% w.b.) of Chainat 1 under different drying conditions.

Drying Period	Combined NIR (kW) and Fluidized-bed drying (40 °C)			Hot Air Drying (80 °C)
	4 kW	6 kW	8 kW	
Standard	6.70±0.20^{c}	6.70±0.20^{c}	6.70±0.20^{c}	6.70±0.20^{a}
5 min	9.96±0.02^{a}	9.96±0.02^{a}	8.19±0.07^{a}	3.83±0.00^{b}
10 min	9.91±0.04^{a}	8.78±0.97^{b}	7.54±0.05^{b}	3.04±0.05^{c}
20 min	9.26±0.00^{b}	7.76±0.02^{bc}	5.39±0.08^{d}	-
30 min	9.14±0.06^{b}	7.54±0.05^{c}	4.97±0.03^{e}	-
40 min	9.10±0.02^{b}	7.44±1.20^{c}	4.29±0.03^{f}	-

Different superscripts in the same column mean that the values are significantly different ($p<0.05$)

Table 2 และ 3 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่า water uptake ratio และ elongation ratio มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้าวอิงและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามกำลังอินฟราเรดคลื่นสั้น เช่นเดียวกับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอากาศร้อนอย่างเดียวที่ 80 °C Table 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า solid loss พบว่าเมื่อเพิ่มกำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น solid loss จะมีค่าลดลง และยังพบว่าการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอากาศร้อนอย่างเดียวที่ 80 °C ก็มีลักษณะเช่นเดียวกัน

สรุป

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านความหนืด และคุณภาพการหุงต้มของข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 ภายใต้การอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น โดยใช้กำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น 4, 6 และ 8 kW ร่วมกับการพาอากาศร้อน 40 °C ความเร็วอากาศร้อน 4.5 m/s และความสูงเบด 6 cm และเปรียบเทียบกับข้าวที่อบแห้งด้วยการพาอากาศร้อนอย่างเดียวที่ 80 °C สรุปได้ว่า pasting temperature มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะ peak viscosity, breakdown, water uptake ratio และ elongation ratio เพิ่มขึ้นตามกำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น นอกจากนี้ค่า setback และ solid loss ลดลงตามกำลังการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น ส่วนการอบแห้งด้วยการพาอากาศร้อนอย่างเดียวที่ 80 °C สรุปได้ว่าคุณสมบัติทางด้านความหนืด และคุณภาพการหุงต้มมีแนวโน้มไม่ต่างกันกับการอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น ยกเว้นค่า peak viscosity ที่มีค่าลดลง

เอกสารอ้างอิง

นเรศ มีโส และศิริธร ศิริอมรพรรณ. 2550. เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดโดยใช้การแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้นร่วมกับการพาอากาศร้อน. เลขที่คำขอรับอนุสิทธิบัตรไทย 0703000111.

วงศ์สถิตย์ พวงทอง. 2551. การศึกษาเงื่อนไขของการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชันร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น. รายงานการศึกษาปัญหาพิเศษ วศ.ม. มหาสารคาม. มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 165.

AACC. 2000. Determination of the Pasting Properties of Rice with the Rapid Visco Analyzer. Approved method of the American Association of Cereal Chemists. USA.

Bello, M., R. Baeza and M.P. Tolaba. 2004. Quality Charcteristics of Milled and cooked Rice Affected by Hydrothermal Treatment. Journal of Food Engineering. 72: 124-133.

Eiammi, C., P. Tangtrakul, C, Tachpairoj and S. Soponnarit. 2547. Combination Process of Stemming and Drying for Parboiling Aromatic Rice. Thai Society of Agricultural Engineering Journal. 11(1) : 24-33.

Ginzburg, A. S. 1969. Application of Infrared Radiation in Food Processing. Chemical and Process Engineering Series. Leonard Hill. London. pp412.

Il'yasov, S. G. and V.V. Krasnikov. 1991. Fundamental Principle of Infrared Radiation of Food Products. Hemisphere Publishing Corporation. New York. pp397.

.Meeso, N., S. Soponronnarit and S. Wetchacama. 1999. Evaluation of Drying System Performance in Rice Mills. in Proceedings of the 19th ASEAN/1st APEC Seminar on Postharvest Technology, Ho Chi Mind City, Vietnam, 9-12 November. pp286-295.

Meeso, N., A. Nathakaranakule, T. Madhiyanon and S. Soponronnarit. 2004. Influence of FIR Irradiation on Paddy Moisture Reduction and Milling Quality after Fluidized bed Drying. Journal of Food Engineering. 65: 293-301.

Meeso, N., A. Nathakaranakule, T. Madhiyanon, and S. Soponronnarit. 2007. Modelling of Far-infrad Irradiation in Paddy Drying Process. Journal of Food Engineering. 78: 1248-1258.

Sakai, N. and T. Hanzawa. 1994. Applications and Advances in rar-infrared Heating in Japan. Trends in Food Science & Technology. 5: 357-362.