

## การเปลี่ยนแปลงความชื้นและเนื้อสัมผัสของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ ในระหว่างการคั่วอบด้วยรังสีอินฟราเรด

### Changes in Moisture Content and Texture of Cashew Kernels during Roasting by Infrared Heating

อภิรักษ์ วัลภา<sup>1</sup> และ ศโรตา วัลภา<sup>2</sup>

Wanlapa, A.<sup>1</sup> and Wanlapa, S.<sup>2</sup>

#### Abstract

The changes in moisture and texture of cashew kernels during roasting by infrared heating were investigated. The experiments were conducted using three levels of distance between emitters and the heat-irradiated surface (15, 20 and 25 cm) and three levels of radiation intensity (0.2, 0.4 and 0.6 W/ cm<sup>2</sup>). Moisture content of cashew kernels decreased with increasing distance between the kernels and emitters. The higher levels of radiation intensity resulted in the increase in the moisture loss rate. The changes occurred in the moisture content and maximum shear force of cashew kernels during roasting were simulated using mathematical models. The changes in maximum shear force displayed a strong linear correlation ( $R^2 = 0.978$ ).

**Keywords:** cashew, roasting, infrared, moisture

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นและเนื้อสัมผัสของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในระหว่างการคั่วอบด้วยรังสีอินฟราเรด เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ได้ผ่านการคั่วอบด้วยรังสีอินฟราเรดโดยมีระยะห่างระหว่างเมล็ดมะม่วงหิมพานต์กับแหล่งจ่ายรังสีที่แตกต่างกัน 3 ระดับคือ 15, 20 และ 25 เซนติเมตร โดยแต่ละระยะจะมีการจ่ายพลังงานให้กับหลอดอินฟราเรด 3 ระดับคือ 0.2 วัตต์/ตารางเซนติเมตร 0.4 วัตต์/ตารางเซนติเมตร และ 0.6 วัตต์/ตารางเซนติเมตร ผลการทดลองพบว่าอัตราการลดลงของความชื้นภายในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์จะลดลงตามระยะห่างจากแหล่งจ่ายรังสีที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่การจ่ายพลังงานให้กับหลอดอินฟราเรดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำเพิ่มสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นและ maximum shear force ในระหว่างการคั่วอบด้วยรังสีอินฟราเรดสามารถทำนายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ การเปลี่ยนแปลงของค่า maximum shear force พบว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับความชื้นโดยมีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง ( $R^2 = 0.978$ )

**คำสำคัญ:** เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ คั่วอบ อินฟราเรด ความชื้น

#### คำนำ

เมล็ดมะม่วงหิมพานต์เป็นหนึ่งในบรรดาถั่วเปลือกแข็งที่ได้รับความนิยมจากผู้บริโภคสูงเป็นอันดับต้นๆ ของโลก การบริโภคเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ส่วนใหญ่นิยมบริโภคในรูปของขนมขบเคี้ยวด้วยการทอดในน้ำมัน เนื่องจากการปรุงในลักษณะนี้ทำให้เมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีกลิ่นรสเฉพาะตัว สีส้มอำมรสหวาน อย่างไรก็ตามปัจจุบันผู้บริโภคให้ความใส่ใจต่อสุขภาพมากขึ้น จึงหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่ผ่านการทำให้สุกด้วยน้ำมัน ผลิตภัณฑ์เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ผ่านการคั่วอบด้วยลมร้อน จึงได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น แต่การคั่วอบด้วยลมร้อนจำเป็นต้องใช้พลังงานสูง ทำให้ต้นทุนของกระบวนการผลิตสูงตามไปด้วย อินฟราเรดจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากเป็นระบบที่ให้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพสูง และประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้ลมร้อน อีกทั้งยังมีความเหมาะสมในการใช้งานกับวัสดุที่มีความชื้นไม่สูงมากอีกด้วย (Sandu, 1986; Ratti และ Mujumdar, 1995; Afzal และคณะ, 1999; Tan และคณะ, 2001) ปัจจุบันได้มีศึกษาความเป็นไปได้ในการนำรังสีอินฟราเรดมา

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.ธัญบุรี ปทุมธานี 12110

<sup>1</sup>Food Engineering Field of Study, Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology, 39 Moo 1, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani, 12110

<sup>2</sup>ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 35 หมู่ 3 ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

<sup>2</sup>Food Technology Department, Thailand Institute of Scientific and Technological Research, 35 Moo 3, Khlong 5, Khlong Luang, Pathum Thani, 12120

ประยุกต์ใช้ในกระบวนการต่างๆ โดยเฉพาะการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรหลากหลายชนิดเช่น ข้าวเปลือก (Abe และ Afzal, 1997) ถั่ว (Cenkowski และคณะ, 2003) และเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (Umesh และ Rastogi, 2001) อย่างไรก็ตามการนำรังสีอินฟราเรดมาใช้ในกระบวนการคั่วอบ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการสร้างสี กลิ่นรสและเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซึ่งแตกต่างจากกระบวนการอบแห้ง ที่ต้องการลดปริมาณความชื้น โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติอื่นๆ ของผลิตภัณฑ์ยังมีอยู่อย่างจำกัด โดยพบว่า มีการศึกษาการคั่วอบด้วยรังสีอินฟราเรดในถั่วลิสง (Davidson และคณะ, 1999) และเมล็ดถั่วพีช (Brown และคณะ, 2001) แต่ยังไม่พบรายงานในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของการใช้รังสีอินฟราเรดที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นและเนื้อสัมผัสของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์

**อุปกรณ์และวิธีการ**

เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นมะม่วงหิมพานต์เกรดบี ขนาด 1.2-1.5 กรัมต่อเมล็ด มีความชื้นเฉลี่ย 4.02 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเปียก วางตัวอย่างเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ดิบ 200 กรัมบนตะแกรงที่สามารถปรับระยะห่างระหว่างแหล่งจ่ายรังสีกับตะแกรงได้ 3 ระยะ คือ 15, 20 และ 25 ซม. (Figure 1) แต่ละระยะมีการจ่ายพลังงานให้กับหลอดอินฟราเรด 3 ระดับ คือ 0.2, 0.4 และ 0.6 วัตต์/ตารางเซนติเมตร ในแต่ละสภาวะของการทดลองจะใช้ระยะเวลาในการคั่วอบ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที ตัวอย่างที่ผ่านการคั่วอบแล้วจะนำมาทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้นก่อนนำมาตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัสและความชื้นตามวิธี AACCI (2000) การตรวจวัดเนื้อสัมผัสได้ใช้เครื่อง Lloyd Instrument Material Testing Machine ติดตั้งหัววัดแบบ Kramer shear ที่มีใบกด 10 ใบ ใช้ load cell ขนาด 5,000 นิวตัน โดยใช้ตัวอย่างจำนวน 30 กรัมใส่ลงใน Kramer shear test cell ขนาด 70×80×55 มม. ทดสอบที่ความเร็วของใบกด 100 มม./นาที บันทึกค่า maximum shear force ทดลองซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง

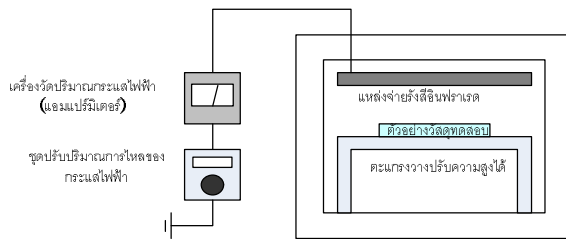


Figure 1 Infrared heating unit.

**ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง**

จากการทดลองพบว่า ความชื้นของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีแนวโน้มลดลงตามเวลาที่ใช้ในการคั่วอบด้วยรังสีอินฟราเรด ดังแสดงใน Figure 2 เมื่อมีการจ่ายพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ให้กับหลอดอินฟราเรดเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการลดลงของความชื้นในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในระหว่างการคั่วอบเพิ่มสูงขึ้น จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของความชื้นที่ระยะห่างระหว่างแหล่งจ่ายรังสีกับวัตถุคั่วอบต่างๆ พบว่า ระยะห่างที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้อัตราการลดลงของความชื้นลดต่ำลง ในทุกระดับการจ่ายพลังงานให้กับหลอดอินฟราเรด

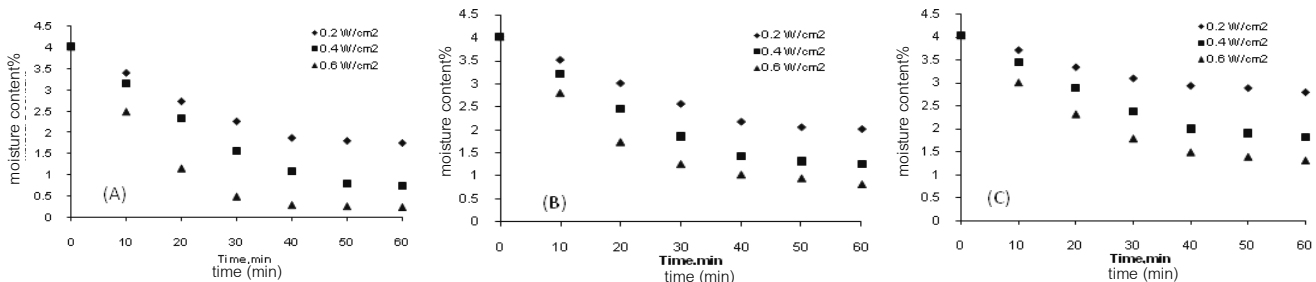


Figure 2 Changes in moisture content (%) of roasted cashew kernel during infrared heating at different levels of radiation intensity and distances between emitters and the heat-irradiated surface (A) 15 cm (B) 20 cm and (C) 25 cm.

การเปลี่ยนแปลงของความชื้นของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เมื่อทำการคั่วอบที่ระดับการจ่ายพลังงานให้กับหลอดอินฟราเรด และระยะห่างระหว่างแหล่งจ่ายรังสีกับวัตถุที่เวลาต่างๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ต่อไปนี้

$$M = M_0 \exp(0.005L - 0.153) Pt \quad (1)$$

- เมื่อ  $M$  = ความชื้นของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่คั่วอบ (เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเปียก)  
 $M_0$  = ความชื้นของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เริ่มต้นก่อนนำไปคั่วอบ (เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเปียก)  
 $L$  = ระยะห่างระหว่างแหล่งจ่ายรังสีกับเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ (ซม.)  
 $P$  = อัตราการป้อนพลังงานให้กับแหล่งจ่ายรังสีต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (วัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)  
 $t$  = เวลา (นาที)

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าที่ทำนายได้จากสมการที่ (1) กับค่าที่ตรวจวัดได้จากการทดลองจริงพบว่า ความสัมพันธ์ที่ได้มีลักษณะเส้นตรง ซึ่งมีค่า  $R^2 = 0.961$  โดยมีค่า standard error of estimation (SEE) เท่ากับ 0.218 ดังแสดงใน Figure 3 แสดงให้เห็นว่า สมการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่คั่วอบโดยใช้รังสีอินฟราเรดในสภาวะต่างๆ ได้

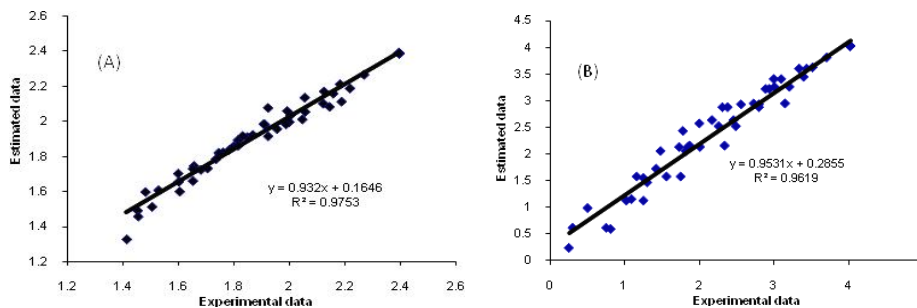


Figure 3 Comparison of actual and predicted value (A) maximum shear force (B) moisture content.

สำหรับการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัส ซึ่งบ่งชี้ด้วยค่า maximum shear force (F) ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ระหว่างการคั่วอบด้วยรังสีอินฟราเรดนั้น พบว่า การใช้ระยะเวลาในการคั่วอบมากขึ้นมีผลทำให้ค่า F ลดลง (Figure 4) เนื่องจากเมล็ดมะม่วงหิมพานต์มีความกรอบเพิ่มขึ้น เกิดการแตกหักได้ง่าย แรงที่ใช้ในการกดจึงมีค่าต่ำกว่าเดิม การเพิ่มพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ให้กับหลอดอินฟราเรดมีผลทำให้อัตราการลดลงของค่า F เพิ่มสูงขึ้น และการเพิ่มระยะห่างระหว่างแหล่งจ่ายรังสีกับวัตถุที่มีผลทำให้อัตราการลดลงของค่า F ลดต่ำลง การเปลี่ยนแปลงของค่า F ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เมื่อทำการคั่วอบที่ระดับการจ่ายพลังงานให้กับหลอดอินฟราเรดและระยะห่างระหว่างแหล่งจ่ายรังสีกับวัตถุที่เวลาต่างๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$F = F_0 \exp(0.002L - 0.07P - 0.051)t^{0.545} \quad (2)$$

- เมื่อ  $F$  = ค่า maximum shear force ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่คั่วอบ (kN)  
 $F_0$  = ค่า maximum shear force ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์เริ่มต้นที่ยังไม่ผ่านการคั่วอบ (kN)

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า F ที่ทำนายได้จากสมการที่ (2) กับค่า F ที่ตรวจวัดได้จากการทดลองจริง พบว่า ความสัมพันธ์ที่ได้มีลักษณะเส้นตรง ซึ่งมีค่า  $R^2 = 0.975$  โดยมีค่า SEE เท่ากับ 0.047 ดังแสดงใน Figure 3 แสดงให้เห็นว่า สมการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของค่า F ของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ที่คั่วอบโดยใช้รังสีอินฟราเรดในสภาวะต่างๆ ได้

เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นและ F ในระหว่างการคั่วอบด้วยรังสีอินฟราเรดจะเห็นได้ว่า มีลักษณะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงนำค่าตัวแปรทั้งสองมาหาความสัมพันธ์ที่มีต่อกัน พบว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบของสมการเส้นตรง  $M = 0.272F + 1.265$  ที่มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.977 และค่า SEE เท่ากับ 0.158 แสดงให้เห็นว่า การตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของค่า F สามารถใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของเมล็ดมะม่วงหิมพานต์ในระหว่างการคั่วอบได้

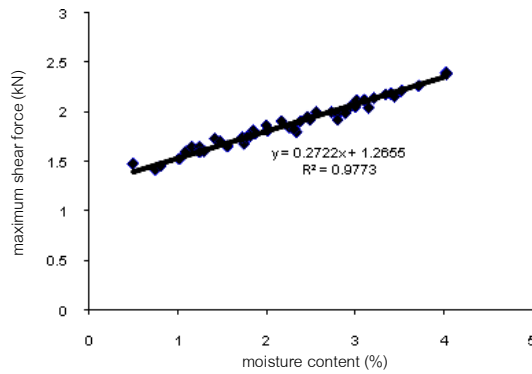


Figure 4 Relationship between moisture content and maximum shear of roasted cashew kernels.

### สรุปผล

ค่าความชื้นภายในเมล็ดมะม่วงหิมพานต์และ maximum shear force ลดลงตามเวลาที่ใช้ในการคั่วอบ อัตราการลดลงของความชื้นภายในเมล็ดและ maximum shear force ลดลงตามระยะห่างจากแหล่งจ่ายรังสีที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่การจ่ายพลังงานให้กับหลอดอินฟราเรดที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการลดลงของค่าความชื้นและ maximum shear force เพิ่มขึ้น โดยค่าความชื้นและ maximum shear force มีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่เป็นเส้นตรง

### คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท เจริญดีมาร์เก็ตติ้ง จำกัด ที่ให้การสนับสนุนวัสดุดิบที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- AACC, 2000, Methods of American Association of Cereal Chemists, American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN.
- Abe, T. and Afzal, T. M., 1997, Thin-Layer Infrared Radiation Drying of Rough Rice, Journal of Agricultural Engineering Research, 67: 289-297.
- Afzal, T.M., Abe, T. and Hikida, Y., 1999, Energy and Quality Aspects During Combined FIR-Convection Drying of Barley, Journal of Food Engineering , 42(4): 177-182.
- Brown, R.B., Rothwell, T.M. and Davidson V.J., 2001, A Fuzzy Controller for Infrared Roasting of Cereal Grain, Canadian Biosystems Engineering, 43: 3.9-3.15.
- Cenkowski, S., Hong, J.T., Scanlon, M.G. and Arntfield, S.D., 2003, Development of a Mathematical Model for High-Intensity Infrared Processing (micronization) of Peas, Transactions of the ASAE, 46(3): 705-713.
- Davidson, V.J., Brown, R.B. and Landman, J.J., 1999, Fuzzy Control System for Peanut Roasting, Journal of Food Engineering, 41: 141-146.
- Ratti, C., and Mujumdar, A. S., 1995, Infrared Drying. In A. S. Mujumdar (2nd ed.), Handbook of industrial drying, Marcel Dekker, Inc., New York, p.567-588.
- Sandu, C., 1986, Infrared Radiative Drying in Food Engineering: A Process Analysis, Biotechnology Progress, 2(3): 109-119.
- Tan, M.,Chua, K.J., Mujumdar, A.S. and Chou, S.K., 2001, Effect of Osmotic Pre-Treatment and Infrared Radiation on Drying Rate and Color Changes During Drying of Potato and Pineapple, Drying technology, 19(9): 2193-2207.
- Umesh Hebbar, H. and Rastogi , N.K., 2001, Mass Transfer During Infrared Drying of Cashew Kernel., Journal of Food Engineering, 47: 1-5.