

ผลของการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟต่อการกระจายของอุณหภูมิภายในมันฝรั่ง
Effect of Microwave Heating on Temperature Distribution in Potato (*Solanum tuberosum* cv. atlantic)

คณวัฒน์ เสนแก้ว¹ ตามร บัณฑุรัตน์² วิบูลย์ ช่างเรือ²และ พิชญา บุญประสม พูลลาภ³
Senkaew, K.¹, Bunturat, D.², Changrue, V.² and Boonprasom Phoonlarb, P.³

Abstract

This research focuses on the effect of microwave heating upon temperature distribution in potatoes. Also Optimum time and power inhibiting in the chemical reaction in potatoes were studied. Fresh potatoes (*Solanum tuberosum* cv. atlantic) with initial moisture content of 76.04 % wet basis (%w.b.) and fresh potatoes cut to size 2×2×3 cm. were selected as the testing materials. In fresh potatoes, the three factors were studied; heating time (30, 60, 90 and 180 second), placement position (vertical and horizontal) and power microwave (300, 600 and 800 watt). Result showed that, temperature at the center of the bulb at vertical placement position (76.28±0.92 °C) was higher than those of the horizontal position (73.05±2.43 °C). The optimum power and time were 800 watt and 90 second, respectively. In cut potatoes (size 2×2×3 cm.) using power at 800 watt to evaluated the internal temperature at 0, 1, 2 and 3 cm. depths. Two main factors was studied; heating time (30, 60, 90 and 180 second) and degrees of placement (10-360 degree with plane). The result showed that the temperature tends to increase at the angles in quadrants 1 and 4 and decrease in quadrants 2 and 3. And the optimum time was 90 sec. Angle that had the maximum temperature (80.63±5.92 °C and 81.47±0.40 °C) were 10° and 350° with plane and angle of the minimum temperature (59.70±0.72 °C) was 180° with plane. Predicting equation for temperature inside the potatoes were $0.32X^2-6.70X+78.32$ (10°-180°) and $0.16X^2+3.52X+49.67$ (190°-360°).

Keywords: potato, microwave heating, temperature distribution

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายทดสอบการให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ พร้อมทั้งหารูปแบบการกระจายอุณหภูมิในมันฝรั่ง เพื่อให้ทราบเวลาและกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมในการยับยั้งปฏิกิริยาในมันฝรั่ง ใช้มันฝรั่งพันธุ์แอตแลนติก (*Solanum tuberosum* cv. atlantic) ความชื้นเริ่มต้น 76.04 %w.b. ทดลองกับมันฝรั่งทั้งหัวและมันฝรั่งตัดแต่งขนาด 2×2×3 ซม. กรณีมันฝรั่งทั้งหัว ศึกษาปัจจัย 3 ชนิด คือ เวลาให้ความร้อน (30, 60, 90 และ 180 วินาที) มุมวาง (แนวตั้ง, แนวนอน) และกำลังไฟฟ้า (300, 600 และ 800 วัตต์) พบว่าการวางหัวมันฝรั่งแนวตั้งมีอุณหภูมิที่จุดศูนย์กลาง (76.28±0.92°C) สูงกว่าในแนวนอน (73.05 ± 2.43°C) กำลังไฟฟ้าและเวลาที่เหมาะสม คือ 800 วัตต์ 90 วินาที ตามลำดับ กรณีมันฝรั่งตัดแต่ง ขนาด 2×2×3 ซม. กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ หาอุณหภูมิภายในที่ระยะ 0, 1, 2 และ 3 ซม. จากเปลือก ศึกษาจาก 2 ปัจจัย คือ เวลาให้ความร้อน (30, 60, 90 และ 180 วินาที) และมุมวาง (10-360 องศากับแนวระดับ) พบว่าอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในมุมที่อยู่ในควอดแดรนต์ที่ 1 และ 4 และมีแนวโน้ม ลดลงในมุมที่อยู่ในควอดแดรนต์ที่ 2 และ 3 ระยะเวลาให้ความร้อนที่เหมาะสมคือ 90 วินาที มุมที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือ มุม 10 และ 350 องศากับแนวระดับ (80.63±5.92°C และ 81.47±0.40°C) มุมที่มีอุณหภูมิต่ำสุดคือ มุม 180 องศากับแนวระดับ (59.70±0.72 °C) ได้สมการทำนายอุณหภูมิภายในมันฝรั่ง คือ $0.32X^2-6.70X+78.32$ (10°-180°) และ $0.16X^2+3.52X+49.67$ (190°-360°)

คำสำคัญ: มันฝรั่ง, การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ, การกระจายอุณหภูมิ

¹ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

¹ Postharvest Technology Research Institute, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai 50200

³ ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50100

³ Department of Food Engineering, Faculty of Agro-Industry, Chiang Mai University, Chiang Mai 50100

คำนำ

ปัญหาการเกิดสีที่ไม่ต้องการในกระบวนการแปรรูปมันฝรั่งเป็นมันฝรั่งทอดกรอบ คือ การเกิดสีที่ไม่ต้องการ (unwanted color) ซึ่งสาเหตุหลักเกิดจากน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่ง (reducing sugar) ได้รับความร้อนที่สูงจะเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบไม่ใช่เอนไซม์ (Non enzymetic browning reaction) ซึ่งการเกิดน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติภายในเซลล์ระหว่าง เก็บรักษามันฝรั่ง โดยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นน้ำตาลซูโครสโดยเอนไซม์อะไมเลส (amylase) แล้วเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตสโดยเอนไซม์อินเวอร์เทส (invertase) เพื่อใช้ในกิจกรรมภายในเซลล์ พบว่าความร้อนสามารถยับยั้งการทำงานของ เอนไซม์ได้ Cano *et al.* (1990) ได้ทำการเปรียบเทียบผลของการลวกด้วยไมโครเวฟ (650 W) เป็นเวลา 2 นาที และการลวกโดยใช้ น้ำเดือด (boiling water) เป็นเวลา 11 นาทีกับกล้วยแผ่น (banana slices) พบว่าวิธีการลวกด้วยไมโครเวฟสามารถลดปฏิกิริยา ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดส (PPO) และเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส (PO) ลง 65-75% จากการศึกษาของ Severini *et al.* (2003) ทำการลวกแผ่นมันฝรั่งสด (potato slices) ด้วยสารละลายร้อน พบว่าสารละลายร้อนทุกชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งกิจกรรม ของเอนไซม์โพลีฟีนอลออกซิเดสได้ Tijkens *et al.* (1997) ได้ทำการทดลองให้ความร้อน ด้วยการลวกด้วยน้ำร้อนกับพืช 3 ชนิด คือ ท้อ แครอท และ มันฝรั่ง พบว่าสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสได้ 96.4, 94.5 และ 70.0% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการใช้ความร้อนทำให้ลดการทำงานของเอนไซม์ได้ แต่รูปแบบการให้ความร้อนที่อาศัยตัวกลางนำความร้อน เช่น น้ำ จะทำให้มันฝรั่งและไม่สามารถนำไปแปรรูปได้ ดังนั้นการใช้คลื่นไมโครเวฟจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาขั้นต้นได้

อุปกรณ์และวิธีการ

วางมันฝรั่งทั้งหัวในแนวนอน ใช้กำลังไฟฟ้า 300, 600 และ 800 วัตต์ ระยะเวลาให้ความร้อน 30, 60, 90 และ 180 วินาที ตามลำดับ วัดอุณหภูมิภายในโดยการผ่านครึ่งผลแล้วถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal camera) เปลี่ยนแนวการวางเป็นวางในแนวตั้ง ใช้กำลังไฟฟ้า ระยะเวลาให้ความร้อน และวิธีวัดอุณหภูมิเหมือนดังการวางในแนวนอน นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิภายในระหว่างการวางในแนวนอนและแนวตั้ง

ใช้มันฝรั่งตัดแต่งขนาด 2x2x3 ซม. ให้มีเปลือกติดมาด้วย ใช้อะลูมิเนียมฟอยล์หุ้มทุกด้านยกเว้นส่วนเปลือก นำไปวางในเตาไมโครเวฟในมุมต่าง ๆ โดยเริ่มจากมุม 10 องศากับแนวระดับ วัดมุมโดยใช้เครื่องวัดมุมกอน (Angle of repose) ใช้กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ ระยะเวลาให้ความร้อน 30, 60, 90 และ 180 วินาที ตามลำดับ วัดอุณหภูมิภายในที่ระยะ 0, 1, 2 และ 3 เซนติเมตรจากเปลือก โดยผ่านครึ่งแล้วใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนถ่าย เปลี่ยนมุมวางโดยเพิ่มทีละ 10 องศา โดยทำการทดลอง ตามเดิมจนครบ 360 องศา นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเป็นสมการทำนายอุณหภูมิภายในของมันฝรั่ง โดยใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลข (Numerical methode)

ผลการทดลอง

การทดลองที่ 1 มันฝรั่งที่วางในแนวตั้งทุกเวลาให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางสูงกว่ามันฝรั่งที่วางในแนวนอน ส่งผลให้อุณหภูมิภายในเฉลี่ยสูงกว่าตามไปด้วย (Figure 1 และ Figure 2) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางของมันฝรั่งที่วางในแนวตั้งมีความแตกต่างกับอุณหภูมิจุดศูนย์กลางของมันฝรั่ง ที่วางในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญที่ความเชื่อมันร้อยละ 95 (Table 1)

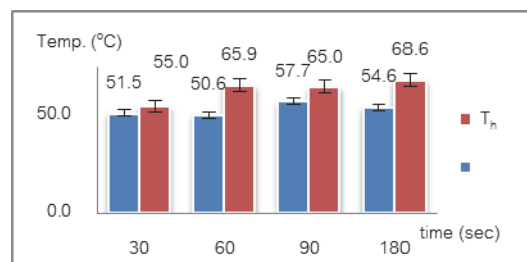
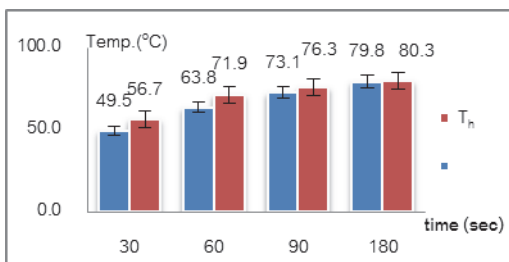


Figure 1 Comparison of internal temp. at center of potatoes between horizontal(T_h) and vertical(T_v) at positions 800 watt.

Figure 2 Comparison of average internal temp. of potatoes between horizontal(T_h) and vertical(T_v) positions at 800 watt.

Table 1 Showed temperature at the center of potatoes placed at horizontal (T_h) and vertical (T_v) position at 800 watt, time 30, 60, 90 and 180 seconds, respectively.

Temp.	30 second	60 second	90 second	180 second
T_h	49.533 ^a ± 2.947	63.800 ^a ± 6.822	73.050 ^a ± 2.426	79.800 ^a ± 3.505
T_v	56.717 ^b ± 0.624	71.883 ^b ± 2.395	76.283 ^b ± 0.924	80.283 ^a ± 2.743

note: - The number showed in table were average temperature ± standard deviation
 - ^{a,b} Different letters in the same column indicate a significant difference (p=0.05) by pair test

กำลังไฟฟ้าและเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสม คือ 800 วัตต์ 90 วินาที ตามลำดับ ในการทดลองที่ 2 พบว่าจะเกิดความร้อน บริเวณเปลือกซึ่งไม่ได้ห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์และลึกเข้ามาในเนื้อเป็นระยะทางประมาณ 1.50 ซม. (Figure 3 และ Figure 4)

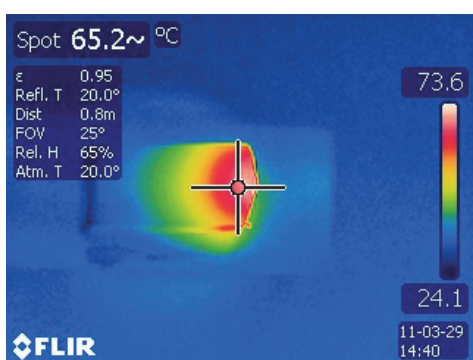


Figure 3 Showed the photo at 800 watt, 0 cm. depth, thermal camera

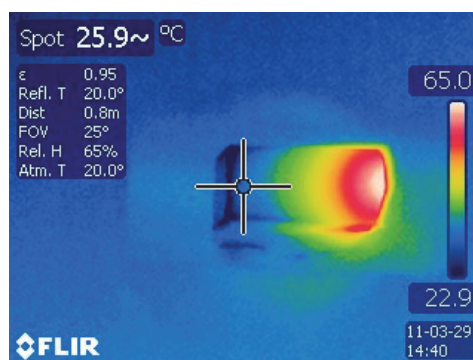


Figure 4 Showed the photo at 800 watt, 3 cm. depth, thermal camera

นอกจากนี้แนวโน้มของอุณหภูมิภายในมันฝรั่งตัดแต่งขนาด 2×2×3 ซม. เพิ่มสูงขึ้นในควอดแดรนต์ที่ 1 และ 4 ส่วนในควอดแดรนต์ที่ 2 และ 3 จะมีแนวโน้มลดลง ดังแสดงใน fig. 5 มุมที่มีอุณหภูมิภายในสูงที่สุด คือ มุม 10 และ 350 องศา กับแนวระดับ (80.63 ± 5.92 °C และ 81.47 ± 0.40 °C) ตามลำดับ ส่วนมุมที่มีอุณหภูมิต่ำสุด คือ มุม 180 องศา กับแนวระดับ (59.70 ± 0.72 °C) เวลาให้ ความร้อนที่เหมาะสม คือ 90 วินาที ได้สมการทำนายอุณหภูมิภายในมันฝรั่ง คือ $0.32X^2 - 6.70X + 78.32$ (10-180 องศา กับแนว ระดับ) และ $0.16X^2 + 3.52X + 49.67$ (190-360 องศา กับแนวระดับ)

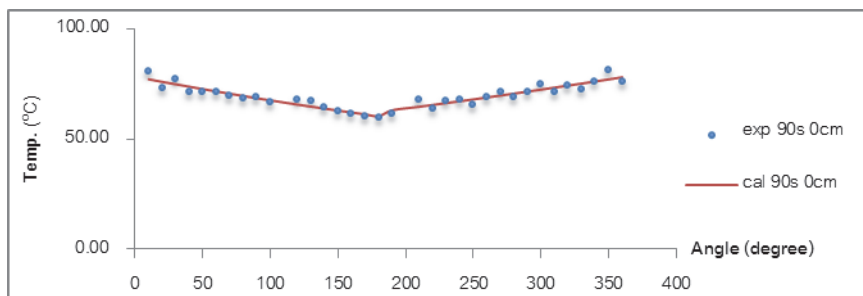


Figure 5 Comparison of internal temperatures in cut potato size 2×2×3 cm. between the experimental and calculation at 90 seconds and 800 watts of microwave power.

วิจารณ์ผล

จากการทดสอบลักษณะการวางของหัวมันฝรั่งต่ออุณหภูมิภายในหัว พบว่าทุกกำลังไฟฟ้าและทุกระยะเวลาให้ความร้อน ยกเว้นที่ 180 วินาที การวางหัวมันฝรั่งในแนวตั้งจะมีอุณหภูมิที่จุดศูนย์กลางสูงกว่าการวางในแนวนอนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ส่งผลให้มีอุณหภูมิภายในสูงกว่าตามไปด้วย ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอุณหภูมิภายในที่จุดใด ๆ ขึ้นอยู่ กับการทำปฏิสัมพันธ์ของคลื่นกับโมเลกุลมีชีวะภายในเซลล์ เกิดเป็นจุดความร้อน (hot spot) จึงทำให้มีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่น สอดคล้องกับการศึกษาของ Pandit and Prasad (2003) บริเวณใดที่มีโมเลกุลมีชีวะอยู่หนาแน่นกว่าก็จะมีอุณหภูมิ ที่สูงกว่าตามไปด้วย ซึ่งในมันฝรั่งจุดที่มีจำนวนโมเลกุลมีชีวะหนาแน่นที่สุดก็คือจุดศูนย์กลางผล การวางหัวมันฝรั่งในแนวตั้งระยะ จากเปลือกถึงจุดศูนย์กลางสั้นกว่าการวางในแนวนอน คลื่นที่ตกกระทบผิวในแนวตั้งจะเกิดการหักเหของคลื่นเข้าสู่จุดศูนย์กลาง ในระยะทางที่ใกล้กว่าแนวนอน จึงทำให้พลังงานที่สูญเสียเนื่องจากระยะทางมีน้อยกว่าจึงมีพลังงานคลื่นมากกว่า Varith *et al.* (2007) ส่วนการให้ความร้อนแก่มันฝรั่งตัดแต่งขนาด 2×2×3 ซม. เป็นการควบคุมไม่ให้รูปร่างของมันฝรั่งส่งผลต่ออุณหภูมิภายใน โดยการจำกัดพื้นที่ตกกระทบของคลื่นให้มีขนาดเท่ากัน (4 ตร.ซม.) โดยจะเกิดความร้อนขึ้นบริเวณเปลือกและลึกจากเปลือกเข้ามาประมาณ 1.50 ซม. แสดงให้เห็นว่าในการทดลองคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงได้เป็นระยะทางไม่เกิน 1.50 ซม. พบว่า มุมวางที่หันหน้าเข้าหาทิศทางเดินของคลื่น (ควอดแดรนต์ที่ 1 และ 4) จะมีอุณหภูมิสูงกว่ามุมวางที่หันหน้าออกจากทิศทางเดิน ของคลื่น (ควอดแดรนต์ที่ 2 และ 3) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทิศทาง การเกิดปฏิสัมพันธ์มีผลต่ออุณหภูมิภายในของมันฝรั่ง

สรุปผล

การวางหัวมันฝรั่งในแนวตั้งจะมีอุณหภูมิภายในสูงกว่าการวางในแนวนอน (แนวตั้ง 76.28 ± 0.92 °C และแนวนอน 73.05 ± 2.43 °C) กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมคือ 800 วัตต์ เวลาที่เหมาะสมคือ 90 วินาที มันฝรั่งตัดแต่งขนาด 2×2×3 ซม. เวลาที่เหมาะสม คือ 90 วินาที อุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในควอดแดรนต์ที่ 1 และ 4 และลดลงในควอดแดรนต์ที่ 2 และ 3 มุมที่มีอุณหภูมิสูงสุดคือ มุม 10 และ 350 องศา กับแนวระดับ (80.63 ± 5.92 °C และ 81.47 ± 0.40 °C) มุมที่มีอุณหภูมิต่ำสุดคือ มุม 180 องศา กับแนวระดับ (59.70 ± 0.72 °C) ได้สมการทำนายอุณหภูมิภายในมันฝรั่งคือ $0.32X^2 - 6.70X + 78.32$ (10-180 องศา) และ $0.16X^2 + 3.52X + 49.67$ (190-360 องศา)

คำขอขอบคุณ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่สนับสนุนอุปกรณ์และสถานที่ในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่สนับสนุนทุนและอุปกรณ์ในการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Cano, P., M. A. Marin and C. Fuster. 1990. Method for blanching of part cooking vegetable material. *Journal of Food Engineering*. 52: 25-30.
- Pandit, R. B. and S. Prasad. 2003. Finite element analysis of microwave heating of potato transient temperature profiles. *Journal of Food Engineering* 60: 193-202.
- Severini, C., A. Baiano, T. De Pilli, R. Romaniello and A. Derossi. 2003. Prevention of enzymatic browning in sliced potatoes by blanching in boiling saline solutions. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 36: 657-665.
- Tijskens, L. M. M., P. S. Rodis, M. L. A. T. M. Hertog, K. W. Waldron, L. Ingham, N. Proxenia and C. van Dijk. 1997. Activity of Peroxidase during Blanching of Peaches, Carrots and Potatoes. *Journal of Food Engineering*. 34: 355-370.
- Varith, J., W. Sirikajornjaru and T. Kiatsirirot. 2007. Microwave-vapor heat disinfestation on oriental fruit fly eggs in mangoes. *International Journal of Life Cycle Assessment* 3(3): 253-269.