Agricultural Sci. J. 44 : 3 (Suppl.) : 378-381 (2013) ว. วิทย. กษ. 44 : 3 (พิเศษ) : 378-381 (2556)

คุณสมบัติไดอิเล็กทริกข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวใหม่พันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์สันป่าตอง 1

The Dielectric Properties of Freshly Harvested Paddy Rice var. PathumThani1and Sanpatong 1

นุชจารี มงคล[1] แสงทิวา สุริยงค์[1] ณัฐศักดิ์ กฤติกาเมษ[1] สงวนศักดิ์ ธนาพรพูนพงษ์[1,2] Dieter von Hoersten[3] และสุชาดา เวียรศิลป์[1, 2]

Nutcharee Mongkol[1], SangtiwaSuriyong[1], Nattasak Krittigamas[1], Sa-nguansak Thanapornpoonpong[1, 2], Dieter von Hoersten[3] and Suchada Vearsilp[1, 2]

Abstract

The dielectric property of material is the main factor of drying efficiency by radio frequency techniques.The objective of this study was to measured the properties of dielectric constants and their loss factors of the two paddy rice varities, PathumThani **1** and Sanpatong 1(sticky rice).The freshly harvested paddy rice with initial moisture content of 26% on a wet weight basis (wb) was used. The dielectric properties were measured by the precision impedance analyzer in the frequency range 1-50 MHz at the distance of 1.50 cm. The completely randomized design (CRD) with 4 replications were conducted. The variances and the least significant difference (LSD) comparison between means were analyzed at confidence interval 95%. The results showed that the dielectric constant, the loss factor and the loss tangent of Pathum Thani**1** and Sanpatong 1 were statistically different. The dielectric constant value of PathumThani**1** (2.24-3.44±0.03) were 19% higher than Sanpatong 1 (1.96-2.85 ±0 02) while the loss factor values of PathumThani**1** (1.27-6.44±0.21) were 35% higher than those of Sanpatong 1 (0.94-4.17 ± 0.13) and the loss tangent values of PathumThani**1** (0.39-2.57±0.08) were 21% higher than those of Sanpatong 1 (0.37-2.01 ± 0.06).The highest loss tangent value was found at 46 MHz for rice var. PathumThani**1** and at 47 MHz for var. Sanpatong 1. Therefore, the frequency of 46 and 47 MHz were the most suitable frequencies in this experiment which provided minimum energy used and generated maximum heat in PathumThani**1** and Sanpatong 1 respectively.

Keywords: dielectric proprety, paddy rice,radio frequency

บทคัดย่อ

คุณสมบัติไดอิเล็กทริกของวัสดุเป็นปัจจัยหลักของประสิทธิภาพการลดความชื้นด้วยเทคนิคคลื่นความถี่วิทยุ การทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดค่าการสะสมพลังงานไฟฟ้า (Dielectric constant) และค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้า (Loss factor) ของเมล็ดข้าวเปลือกเก็บเกี่ยวใหม่ 2 พันธุ์คือ ข้าวจ้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวเหนียวพันธุ์สันป่าตอง 1โดยนำเมล็ดข้าวเปลือกเก็บเกี่ยวใหม่ที่มีความชื้น 26% มาตรฐานเปียก มาวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริก ด้วยเครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง ช่วงความถี่1-50 MHzที่ระยะห่าง 1.50 ซม. วางแผนการทดลองแบบ Completely randomized design(CRD) จำนวน 4 ซ้ำ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ผลการทดลองพบว่าค่าการสะสมพลังงานไฟฟ้า ค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าและค่ามุมสัมผัสการสูญเสีย (loss tangent) ของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และพันธุ์สันป่าตอง 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าการสะสมพลังงานไฟฟ้าของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (2.24-3.44±0.03) สูงกว่าพันธุ์สันป่าตอง 1 (1.96-2.85±0.02) 19% มีค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (1.27-6.44±0.21) สูงกว่าพันธุ์สันป่าตอง 1 (0.94-4.17±0.13) 35% และมีค่ามุมสัมผัสการสูญเสีย ของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (0.39-2.57±0.08) สูงกว่าพันธุ์สันป่าตอง 1 (0.37-2.01±0.06) 21% โดยเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่คลื่นความถี่ 46 MHz และเมล็ดข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่คลื่นความถี่ 47 MHz มีค่ามุมสัมผัสการสูญเสียสูงสุด ดังนั้น คลื่นความถี่ที่ 46 MHzและคลื่นความถี่ที่ 47 MHz มีการใช้พลังงานต่ำสุดและเกิดความร้อนสูงสุด กับพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 และพันธุ์ข้าวสันป่าตอง1 ตามลำดับ

[1]ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[1]Department of Plant Science and Natural Resources, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

[2]สถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว / ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[2]Postharvest Technology Research Institute/ Postharvest Technology Innovation Center, Chiang Mai University

[3]Department of Crop Sciences, Faculty of Agricultural Sciences , George – August University Goettingen, Germany

คำสำคัญ: คุณสมบัติไดอิเล็กทริก, ข้าวเปลือก, คลื่นความถี่วิทยุ

บทนำ

คุณสมบัติไดอิเล็กทริกเป็นคุณสมบัติทางไฟฟ้าทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุที่สามารถใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกได้จะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากล่าวคือจะต้องเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรือประกอบไปด้วยน้ำซึ่งมีโมเลกุลแบบมีขั้วเช่นกันเป็นองค์ประกอบ ในปัจจุบันสมบัติไดอิเล็กทริกโดยเฉพาะการหาค่าคงตัวไดอิเล็กทริก (Dielectric constant) เป็นค่าที่วัดความสามารถในการสะสมพลังงานสนามไฟฟ้าและค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้า (Dielectric loss) เป็นค่าที่วัดความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่สะสมไว้ให้เป็นความร้อน (Liao *et al*., 2001) ได้ถูกนำมาใช้กับพืชผลทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น ข้าว ข้าวสาลี ยางพารา เป็นต้น มีการนำเอาค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของผลิตผลบางชนิดไปประยุกต์ใช้และได้นำเสนอหลักการใช้สมบัติไดอิเล็กทริกสำหรับตรวจวัดปริมาณความชื้นในพืช สมบัติทางไฟฟ้าของผลิตผลมีความสัมพันธ์กับปริมาณที่บ่งบอกถึงคุณภาพของผลิตผล ซึ่งค่าคงตัวไดอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย เช่น ความชื้นของเมล็ด ความหนาแน่นของเมล็ด อุณหภูมิ และความถี่ (Wang *et al*., 2003) ถ้าความชื้นของเมล็ดมีค่าสูงจะทำให้ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกสูงขึ้นด้วย กาญจนา และนรินทร์ (2552) รายงานว่าค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของข้าวที่มีอายุต่างกัน คือ ข้าวที่เก็บเกี่ยวหลังต้นข้าวตั้งท้องประมาณ 1 สัปดาห์ ถึง 5 สัปดาห์ ที่ความชื้นต่างกันโดยใช้ความถี่ 5 ค่า คือ 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz และ 1 MHz พบว่า ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของรวงข้าวที่เก็บเกี่ยวทุกช่วงอายุและเมล็ดข้าวเปลือกมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณความชื้นในรวงข้าวและเมล็ดข้าวเปลือก เมื่อตัวอย่างรวงข้าวมีความชื้นลดลงค่าคงตัวไดอิเล็กทริกของรวงข้าวมีค่าลดลงในทุกช่วงอายุสอดคล้องกับจิตรกานต์ และคณะ (2554) ที่พบว่าค่าคงตัวไดอิเล็กทริกเพิ่มตามปริมาณความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยที่เมล็ดพันธุ์ข้าวที่ความชื้นเริ่มต้น 25% มีค่าคงตัวไดอิเล็กทริกอยู่ในช่วง 1.87-3.16±0.03 เมื่อทำการลดความชื้นให้เหลือ 14% ค่าคงตัวไดอิเล็กทริกลดลงเหลือ1.43-1.89±9.280E-03 โดยเมล็ดที่เก็บเกี่ยวใหม่มีระดับความชื้นสูงจำเป็นต้องลดระดับความชื้นให้เร็วที่สุดให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยการประยุกต์ใช้การลดความชื้นในเมล็ดได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องทราบคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของเมล็ดที่จะทำการลดความชื้นดังนั้น งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาสมบัติไดอิเล็กทริกของเมล็ดข้าวเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากค่าคงตัวไดอิเล็กทริกแล้วนำมาประยุกต์กับการจัดการลดความชื้นในเมล็ดข้าวให้มีประสิทธิภาพ

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ทำการทดลองณสถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทำการวัดคุณสมบัติสมบัติไดอิเล็กทริกด้วยเครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ความแม่นยำสูง(precision impedance analyzer) TE 1000 RF Impedance Analyzer ในช่วงความถี่ 1-50 MHz ในระยะห่าง 1.5 ซม.เมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 มีความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 26% วางแผนการทดลองแบบ **Completely randomized design**(CRD) จำนวน 4 ซ้ำ นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบความแตกต่างโดยวิธี Least significant difference (LSD) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่ระดับความชื้นเริ่มต้น 26% มาตรฐานเปียก ใช้ช่วงความถี่ 1-50 MHz ที่อุณหภูมิห้อง 25°C พบว่า ค่าการสะสมพลังงานไฟฟ้าของเมล็ดข้าวปทุมธานี 1 และเมล็ดข้าวสันป่าตอง 1 มีค่าการสะสมพลังงานไฟฟ้าของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (2.24-3.44±0.03) สูงกว่าพันธุ์สันป่าตอง 1 (1.96-2.85±0.02) 19% โดยมีการตอบสนองต่อคลื่นความถี่ที่ 46 MHz และ 47 MHz ซึ่งมีค่าคงตัวได้อิเล็กทริกเท่ากับ 2.25 และ 1.97 ตามลำดับ (Figure 1a)ในขณะที่ค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าของเมล็ดข้าวปทุมธานี 1 และเมล็ดข้าวสันป่าตอง 1 พบว่า ค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (1.27-6.44±0.21) สูงกว่าพันธุ์สันป่าตอง 1 (0.94-4.17±0.13) 35% โดยมีการตอบสนองต่อความถี่ที่ 49 MHzและ 49 MHz ตามลำดับ ซึ่งมีค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าสูงสุด แสดงว่ามีความสามารถในการกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนได้ดีเมื่อมีการเพิ่มความถี่ให้สูงขึ้น (Figure 1b) ส่วนค่ามุมสัมผัสการสูญเสียของเมล็ดข้าวปทุมธานี 1และเมล็ดข้าวสันป่าตอง 1 พบว่า มีค่ามุมสัมผัสการสูญเสียของเมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 (0.39-2.57±0.08) สูงกว่าพันธุ์สันป่าตอง 1 (0.37-2.01±0.06) 21% โดยตอบสนองได้ดีต่อคลื่นความถี่ที่ 46 MHzและ 47 MHz แสดงว่า เมล็ดข้าวมีระดับการทะลุทะลวงของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและระดับการกระจายพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนได้ดี (Figure 1c)

คุณสมบัติไดอิเล็กทริกของข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 และ ข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมุมสัมผัสการสูญเสียของเมล็ดข้าวปทุมธานี 1และเมล็ดข้าวสันป่าตอง 1 มีการตอบสนองได้ดีต่อคลื่นความถี่ที่ 46 MHz และ 47 MHzตามลำดับ คุณสมบัติไดอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย เช่น ความชื้นของเมล็ด ความหนาแน่นของเมล็ด อุณหภูมิ และความถี่ (Wang *et al*., 2003)การให้ความร้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเกิดพลังงานแก่เมล็ดจะมีความสัมพันธ์อย่างสูงกับปริมาณความชื้นในเมล็ด โดยที่ระดับความชื้นในเมล็ดที่สูงส่งผลให้เมล็ดมีการดูดซับพลังงานและเอื้อต่อการเกิดประสิทธิภาพในการเหนี่ยวนำและนำพาความร้อนในเมล็ดเกิดได้สูงการใช้ความถี่ในระดับต่างกันโดยคลื่นที่ความถี่ต่ำกว่าจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ลึกกว่า เหมาะสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ส่วนคลื่นความถี่สูงจะสามารถผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุได้ตื้นกว่า เหมาะสำหรับการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีขนาดเล็ก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2554) Jiao*etal.* (2011) รายงานว่าการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของถั่ว black-eyed และถั่วเขียวที่ความชื้น 4 ระดับด้วยเครื่องอิมพีแดนซ์ ที่ความถี่ 10-1800 MHz อุณหภูมิ 20-60 °C ทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียลดลงตามความถี่ที่เพิ่มขึ้น แต่ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกและค่าการสูญเสียจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความชื้นเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Sacilik and Colak (2010) ที่ทำการวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของข้าวโพด ที่ความชื้นอยู่ในช่วง 9.71-21.51% มาตรฐานเปียกความหนาแน่น 772.5-902.2 kg/m^3 ที่ความถี่ 1-100 MHz ทำให้ความชื้นความหนาแน่นและความถี่ของค่าคุณสมบัติไดอิเล็กทริก มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความชื้นและความหนาแน่นเพิ่มขึ้นTrabelsi and Nelson (2003) รายงานว่า ทั้งค่าการสะสมพลังงานไฟฟ้าและค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าของเมล็ดข้าวสาลี ข้าวโพด และถั่วเหลือง ต่างก็มีค่าสูงขึ้นตามอนุภาคเมล็ดที่มีความหนาแน่นของกองเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับลักษณะผิวเมล็ด และปริมาณความชื้นที่จำเพาะของเมล็ดแต่ละชนิดอีกด้วย นอกจากนั้นแล้วยังพบว่าองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันของพันธุ์ข้าวที่ต่างกันทั้งสองพันธุ์ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลให้คุณสมบัติไดอิเล็กทริกแตกต่างกัน โดยพันธุ์ข้าวเหนียว ให้ผลผลิตแป้งข้าวสูงกว่าพันธุ์ข้าวเจ้า ข้าวเหนียวมีความชื้นสูงกว่า แต่มีปริมาณอะไมโลสและไขมันต่ำกว่าข้าวเจ้า ทำให้ความแข็งแรงภายในเมล็ดของข้าวต่างพันธุ์มีความต่างกัน และส่งผลให้สมบัติทางกายภาพของข้าวต่างพันธุ์มีความต่างกัน (ชนินันท์. 2542)สอดคล้องกับ วุฒิไกร และ คณะ (2551) ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กตริกเพื่อใช้ในการวัดระดับความเข้มข้นของน้ำยางพาราโดยทำการทดลองวัดค่าในช่วงความถี่ตั้งแต่ 20MHz – 1.5GHz พบว่า ค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าที่มีประโยชน์ในการวัดระดับความเข้มข้นของเนื้อยางในน้ำยางพารา และ Piyasena and Dussault (1999)พบว่าเมื่อทำการเติมเกลือลงใน gravy มีผลทำให้ค่าการสะสมพลังงานไฟฟ้าและค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าความเข้มข้นของค่าการนำไฟฟ้าส่งผลต่อค่าการสะสมพลังงานไฟฟ้าและค่าการปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้า

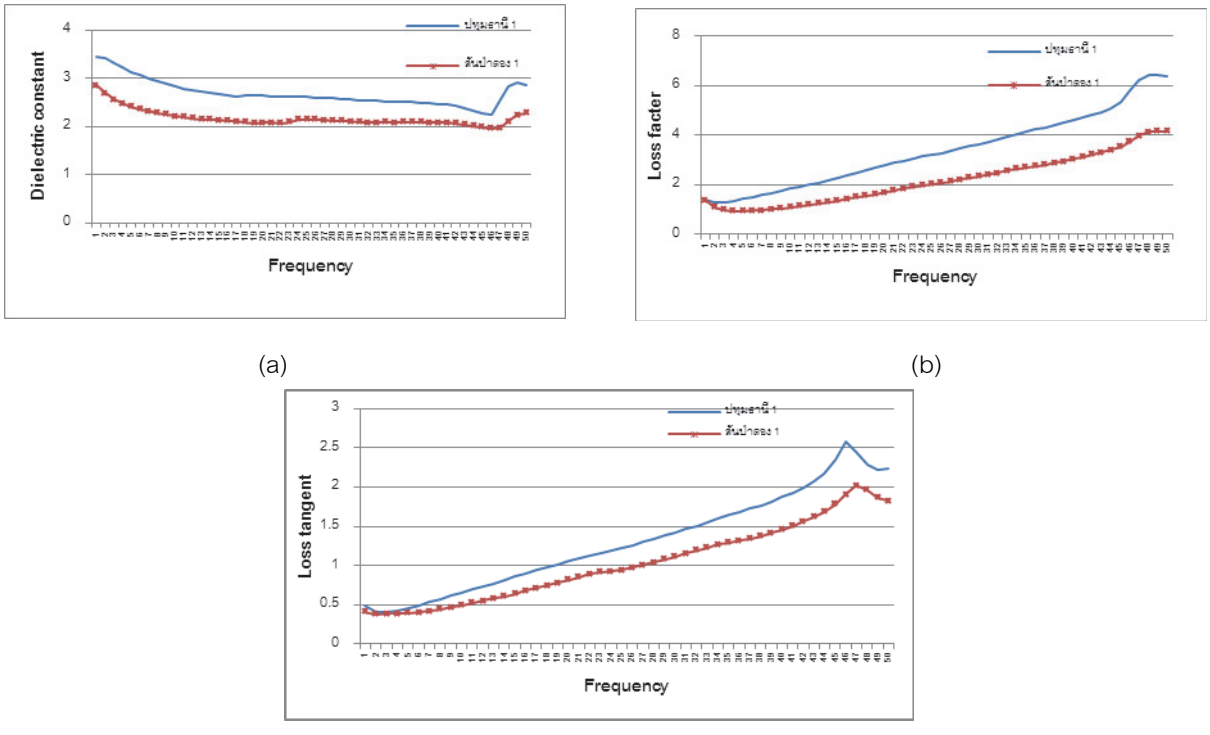

Figure 1 Variation of (a) dielectric constant, (b) loss factor and (c) loss tangent of rice verities, PathumThani1 and San-pah-tawng 1 at 25 °C, with 1-50 MHz frequency

สรุปผลการทดลอง

เมล็ดข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่คลื่นความถี่ 46 MHz และเมล็ดข้าวพันธุ์สันป่าตอง 1 ที่คลื่นความถี่ 47 MHz มีค่ามุมสัมผัสการสูญเสียสูงสุด ดังนั้น คลื่นความถี่ที่ 46 MHzและคลื่นความถี่ที่ 47 MHz มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่ำสุดและเกิดความร้อนสูงสุด กับพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 และพันธุ์ข้าวสันป่าตอง1ตามลำดับ การวัดคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของเมล็ดข้าวปทุมธานี 1 และข้าวสันป่าตอง 1 นี้ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความชื้นด้วยคลื่นความถี่วิทยุเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการลดความชื้นให้เร็วขึ้น

คำขอบคุณ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และสถาบันวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว/ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังเก็บเกี่ยวมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

กาญจนา สิริกุลรัตน์ และนรินทร์ สิริกุลรัตน์. 2552. สมบัติไดอิเล็กทริกของข้าวเปลือกเหนียว. ว. วิทย. มข. 37(2): 192-201.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. ข้อมูลเทคโนโลยีเชิงลึก การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (Diericlect Heating). [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www2.dede. go.th/Advancetech/Asset/Technology/Dielectric.pdf. (24 ธันวาคม 2554).

จิตรกานต์ ภควัฒนะ, พัชธิชาไชยชนะ, Dieter von Hörsten, Wolfgang Lücke, สงวนศักดิ์ธนาพรพูนพงษ์, และสุชาดาเวียรศิลป์ 2554. คุณสมบัติไดอิเล็กทริกของเมล็ดพันธุ์ข้าวและข้าวโพด. ว. วิทย. กษ. 42(3พิเศษ): 378-380

ชนินันท์ วรรธนะหทัย. 2542. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 211 หน้า.

วุฒิไกร จำรัสแนว, ปานหทัย บัวศรี และ กิตติพงษ์ ตันมิตร. 2551. ศึกษาคุณสมบัติไดอิเล็กทริกเพื่อใช้ในการวัดระดับความเข้มข้นของน้ำยางพารา. การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

Jiao, S., J. A. Johnson, J. Tang, G. Tiwari and S. Wang. 2011. Dielectric properties of Cowpea weevil, black-eyed peas and mung beans with respect to the development of radio frequency heat treatments.Biosystems Engineering 108: 280-291.

Liao, X., V.G.S. Raghavan, V. Meda and V.A. Yaylayan. 2001. Dielectric properties of supersaturated α-D-glucose aqueous solutions at 2450 MHz. JMPEE. 36(3): 131-138.

Piyasena, P and C. Dussault. 1999. Evaluation of a 1.5 kW radio-frequency heater for its potential use in a high temperature shot time (HTST) process. CIFST Annual Conference, Kelowna, BC.

Sacilik, K. and A. Colak. 2010. Determination of dielectric properties of corn seeds from 1 to 100 MHz. Journal Powder Technology 203: 365-370.

Trabelsi, S. and S.O. Nelson. 2003. Free-space measurement of dielectric properties of cereal grain and oilseed at microwave frequency. Measurement Science and Technology 14: 589-600.

Wang, S., J. Tang, J..A. Johnson, E. Mitcham, J.D. Hansen, G. Hallman, S.R. Drake and Y. Wang. 2003. Dielectric properties of fruits and insect pests as related to radio frequency and microwave treatments. Biosystems Engineering 85(2): 201-212.