

จลนศาสตร์การอบแห้งเมล็ดแตงโมพันธุ์ WM-104 ด้วยคลื่นไมโครเวฟ Drying kinetics of Water Melon Seeds; WM-104 (*Citrullus vulgaris*) Undergoing Microwave

ทัศนียา นาเสงี่ยม¹ มัสยา นันทรรัตน์¹ ภาณุวัฒน์ สังขมณี¹ วสันต์ ปินะเต² มะลิ นาชัยสินธุ์² วณิดา ฝารณัต³
Tussaneeya Nasangium¹ Matsaya Nantharat¹ Phanuwat Sungkamanee¹ Wasan Pinate² Mali Nachaisin² Wanida Pharanat³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาจลนศาสตร์การอบแห้งเมล็ดแตงโมพันธุ์ WM-104 ด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟ 3 ระดับ คือ 500, 600, 700 วัตต์ ตามลำดับ ทำการอบแห้งเมล็ดแตงโมโดยมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ $345 \pm 0.11 \text{ g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{dry matter}}$ จนกระทั่งมีค่าความชื้นสุดท้ายประมาณ 12-13 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง แล้วทำการตรวจสอบคุณภาพ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสี ค่าปริมาณน้ำอิสระ อัตราการงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของเมล็ด จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่อการเพิ่มระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟสูงขึ้น การอบแห้งที่ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟต่ำจะให้ค่าความสว่างน้อยกว่าการอบด้วยระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟสูง ความเป็นสีเหลืองมีค่าสูงขึ้น ส่วนค่าความเป็นสีแดงแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ค่าปริมาณน้ำอิสระมีค่าอยู่ระหว่าง 0.36-0.42 อัตราการงอกและค่าร้อยละการเจริญเติบโตของเมล็ดแตงโมมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกัน คือที่ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟต่ำให้ค่าใกล้เคียงกับเมล็ดแตงโมอ้างอิง

คำสำคัญ : จลนพลศาสตร์การอบแห้งเมล็ดแตงโม คลื่นไมโครเวฟ

Abstract

This study aimed to determine the drying kinetics of water melon seeds; WM-104 (*Citrullus vulgaris*) using microwave. Drying condition at microwave power level 3 levels were 500, 600, and 700 watts respectively, initial moisture content of water melon seeds approximate $345 \pm 0.11 \text{ g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{dry matter}}$ until a final moisture content approximate 12-13% dry basis. After drying process the qualities were investigated the color change, water activity, germination rate and growth of water melon seeds.

The results showed that the drying rate increases with increasing higher microwave power levels. Drying at low microwave power levels make the brightness values less than the high microwave power levels. The value in yellow color is increased and the value in red color is negligibly different. The water activity is in the range of 0.36-0.42. The germination rate and growth of water melon seeds have the same trend, namely at low microwave power level similar to watermelon reference.

Keywords : Drying kinetics, Water melon seed, Microwave

1 นักศึกษา สาขาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2 อาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

3 อาจารย์ประจำสาขาฟิสิกส์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

บทนำ

แตงโม (*Citrullus vulgaris*) เป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญที่ทำรายได้ให้แก่เกษตรกรไทย แตงโมเป็นพืชที่นิยมของผู้บริโภคทั้งภายในประเทศและการส่งออก ทั้งนี้ได้มีการผลิตเมล็ดพันธุ์แตงโมในเชิงพาณิชย์ (นิดดา หงส์วิวัฒน์ และทวีทอง หงส์วิวัฒน์, 2550) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวิธีการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ที่ดีเพื่อรักษาคุณภาพที่จะส่งผลกระทบต่อารงอกของเมล็ดพันธุ์ ปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษาที่สำคัญ คือ เมล็ดพืชเหล่านี้จะต้องมีความชื้นที่เหมาะสม ระยะเวลาของการเก็บรักษา ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ในการเก็บรักษา การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนานโดยการลดปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ (Water activity) ต่ำจนถึงระดับที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (ฤทธิชัย อัครวราชันย์ และคณะ, 2554 ก)

คลื่นไมโครเวฟจัดเป็นนวัตกรรมการสร้างความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งสามารถสร้างความร้อนภายในวัสดุชีวภาพได้ดีเนื่องจากไม่มีผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อนผ่านตัวกลางดังนั้นการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการอบแห้งโดยสามารถลดเวลาในการอบแห้งได้และลดอัตราการสูญเสียสารอาหารได้เป็นอย่างดี (ฤทธิชัย อัครวราชันย์ และคณะ, 2554) สอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Assawarachan et al. (2011) ได้ทดลองอบข้าวเปลือก ซึ่งผลการทดลองระบุถึงอิทธิพลของคลื่นไมโครเวฟที่มีต่อการลดลงของความชื้นในข้าวเปลือก รวมทั้งงานวิจัยของ Dadal et al. (2007) ได้ศึกษาการอบแห้งผักขมและกระเจียบเขียว ด้วยคลื่นไมโครเวฟสามารถช่วยเร่งอัตราการอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน

งานวิจัยนี้ศึกษาการอบแห้งเมล็ดพันธุ์แตงโมเพื่อหาผลกระทบของพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการอบแห้งต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดพันธุ์การเปลี่ยนแปลงสี ค่าปริมาณน้ำอิสระอัตราการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของเมล็ด โดยข้อมูลดังกล่าวจะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการอบแห้งเมล็ดพันธุ์ตลอดจนการ

ออกแบบระบบการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟให้เหมาะสมในเชิงพาณิชย์

วิธีการศึกษา

วัตถุดิบ

- เมล็ดแตงโมพันธุ์ WM-104 จำนวน 500 กรัม/เงื่อนไขการทดลอง

อุปกรณ์ เครื่องมือ

- เครื่องอบไมโครเวฟยี่ห้อ Panasonic
- ตู้อบไฟฟ้ายี่ห้อ Memmert รุ่น UNE 500
- เครื่องวัดค่าสี Hunter lab รุ่น Miniscan XE-Plus
- เครื่องวัดค่า a_w รุ่น Decagon Aqualab Lite
- เครื่องชั่งน้ำหนัก OHAUS รุ่น Adventurer, สหรัฐอเมริกา (ความละเอียด 0.01g)
- ถาดทนความร้อน อุปกรณ์พื้นฐานการทดลอง

สารเคมี

- กรด Peracetic acid ($\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$)

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำเมล็ดแตงโมลงในถังมีฝาปิดแล้วหมักเมล็ดแตงโมทิ้งไว้เป็นเวลา 2 คืน
2. ล้างทำความสะอาดเมล็ดแตงโมที่หมักไว้ โดยเอาเนื้อแตงโมส่วนที่ติดมาด้วยและสิ่งสกปรกออกแล้วนำเมล็ดแตงโมมาแช่กรด Peracetic acid ($\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$) เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างน้ำสะอาด 2 ครั้ง
3. นำเมล็ดแตงโมไปเกลี่ยบนตาข่ายลวด โดยเกลี่ยให้เป็นชั้นบางที่มีระดับความหนาเท่าๆกัน แล้ววางบนถาดอบแห้ง
4. ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 500, 600, 700 วัตต์ ทำการบันทึกน้ำหนักของเมล็ดแตงโมก่อนอบแห้ง และทุก 5 นาที จนกระทั่งน้ำหนักเริ่มคงที่

5. เมื่อผ่านกระบวนการอบแห้งเมล็ดแตงโมที่มีความชื้นประมาณ 12-13 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จากนั้นนำไปตรวจสอบคุณลักษณะทางกายภาพ

การวิเคราะห์

ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \frac{(w - d)}{d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง(%Dry Basis)
 M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%Wet Basis)

ค่าสี

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (2)$$

เมื่อ

L คือ ค่าความสว่าง
 a คือ ค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว
 b คือ ค่าความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน
 ΔE คือ ค่าการเปลี่ยนแปลงสีโดยรวม

การเปลี่ยนแปลงสี

เครื่องวิเคราะห์สีอาหารด้วยเครื่องวัดค่าสี Hunter lab รุ่นMiniscan XE-Plus เป็นการวัดในระบบ CIE แสดงค่า L (100-0 หมายถึง สว่าง-มืด), a (ค่า + หมายถึง สีแดง ค่า - หมายถึง สีเขียว) และ b (ค่า + หมายถึง สีเหลือง ค่า - หมายถึง สีน้ำเงิน) ทำการวัดโดยสุ่มตัวอย่างมาเงื่อนไขละ 30 ตัวอย่าง

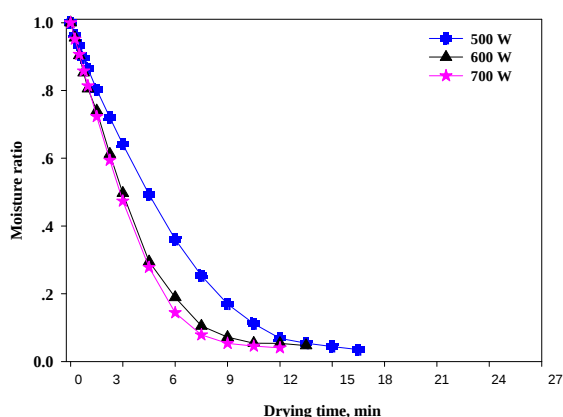
วัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity; a_w) โดยนำเนื้อเมล็ดแตงโมที่ผ่านการอบแห้งมาวัดและวัดค่า a_w โดยวางในช่องสำหรับวางชิ้นวัสดุในเครื่องวัดค่า a_w รุ่น Decagon Aqualab Lite ทำการวัดโดยสุ่มตัวอย่างมาเงื่อนไขละ 30 ตัวอย่าง

การงอกของเมล็ด

1. นำเมล็ดแตงโมที่ผ่านการอบแห้งในแต่ละเงื่อนไข มาคัดเลือกเอาเมล็ดที่มีลักษณะสมบูรณ์ จำนวน 100 เมล็ด
2. นำเมล็ดแตงโมที่คัดเลือกไว้ของแต่ละตัวอย่าง นำมาเพาะในภาชนะที่เตรียมไว้ในเรือนเพาะกล้า แล้วนำมาเปรียบเทียบอัตราการงอกของแต่ละเงื่อนไข
3. นำเมล็ดแตงโมที่งอกแล้วในแต่ละเงื่อนไขไปปลูกในภาชนะที่เตรียมไว้ แล้วนำมาเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต

ผลการศึกษาและวิจารณ์

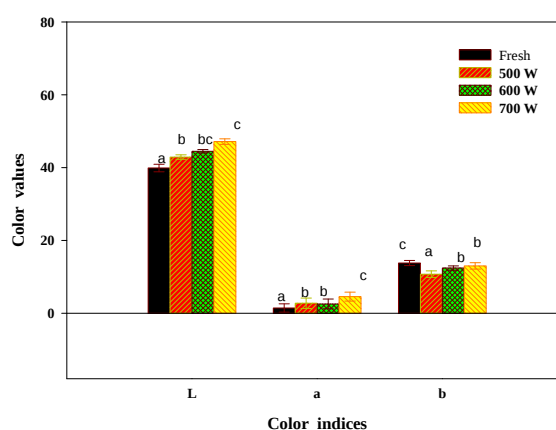
เมล็ดแตงโมที่ใช้ในการทดลองมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ $345 \pm 0.11 \text{ g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{dry matter}}$ และระดับพลังงานที่ใช้ในการศึกษานี้มีระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 500, 600, 700 วัตต์ ตามลำดับ เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 12-13 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง คือ 15, 12, 10 นาที ภาพประกอบที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดแตงโมที่เวลาใดๆในระหว่างการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟเมื่อคลื่นไมโครเวฟเหนี่ยวนำให้โมเลกุลของน้ำภายในเกิดการสั่นสะเทือนและมีผลทำให้วัสดุนั้นร้อนขึ้น (Dadal et al. 2007) ในการทดลองนี้เมล็ดแตงโมได้รับการกระตุ้นจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เมล็ดแตงโมมีอุณหภูมิสูงขึ้นรวมทั้งโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในเมล็ดแตงโมก็จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย และกลไกการอบแห้งนอกจากเกิดการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลที่ผิวของเมล็ดแตงโม จะเกิดการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลภายในเนื้อวัสดุพร้อมกันไปด้วยทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้อย่างรวดเร็ว ดังภาพประกอบที่ 1



ภาพประกอบที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดแตงโมที่เวลาใดๆในระหว่างการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

การเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดแตงโมในระหว่างการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟสีเมล็ดแตงโมที่ผ่านกระบวนการอบแห้งสามารถวัดได้โดยใช้ผลการทดลองแสดงในภาพประกอบ 2 แสดงอิทธิพลของระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสี เมื่อทดสอบค่าสีของเมล็ดแตงโมที่ผ่านการอบแห้งด้วยการเพิ่มระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟพบว่า การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟมีผลทำให้ค่าสีมีความแตกต่างกันที่ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 700 วัตต์มีผลให้ค่าความสว่าง (L) สูงสุด ค่าความเป็นสีเหลือง (b) มีค่าเพิ่มสูงเมื่อระดับพลังงานเพิ่มขึ้น และในแต่ละเงื่อนไขจะให้ค่าความเป็นสีแดง (a) แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากมีตัวแปรอื่นที่นอกเหนือจากการศึกษา เช่น ระยะเวลาในการอบแห้ง ตำแหน่งการวางวัสดุในถาดอบแห้ง จากผลการทดลองค่าความสว่างเฉลี่ยอยู่ในช่วง 44.52- 46.81 และค่าความเป็นสีเหลืองโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 11.83- 13.75 สำหรับค่าความเป็นสีแดง ซึ่งผลการทดลองในครั้งนี้ให้ค่าค่อนข้างต่ำ (1.77-5.82) โดยการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดแตงโม ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการอบแห้ง มีอิทธิพลเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาที่ไม่ได้มาจากการทำงานของเอนไซม์ (non-enzymatic browning) เกิดจากสารพวกเอมีน (amine), กรดอะมิโน หรือโปรตีนทำปฏิกิริยากับสารจำพวกน้ำตาล, อัลดีไฮด์ (aldehyde) หรือคีโตน (ketone) ในขณะที่อาหารผ่านความร้อนทำให้ได้

สารเมลานอยดิน (melanoidin) ที่ให้สีน้ำตาลหรือสีลักษณะที่เหลืองเข้มกว่าสีปกติของเมล็ดแตงโมทั่วไป (วิลโล รังสาทอง. 2547, Dadali et al. 2007) โดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อการเพิ่มระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟสูงขึ้น ซึ่งพบว่า การอบแห้งที่ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟต่ำจะให้ค่าความสว่าง ภายนอกและภายในมีค่าน้อยกว่าการอบแห้งที่การระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟสูง ดังภาพประกอบที่ 2



ภาพประกอบที่ 2 แสดงอิทธิพลของระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของเมล็ดแตงโม

ค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เป็นค่าที่มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีหลายชนิดที่เกิดขึ้นในอาหารและอัตราการเจริญของจุลินทรีย์ โดยค่า a_w ของเมล็ดแตงโมอบแห้งแสดงดังตาราง 1 ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.36-0.42 ซึ่งค่า a_w ส่วนมากอยู่ในช่วง Minimum Integral Entropy Zone (a_w มีค่า 0.36-0.44) เป็นช่วงที่เมล็ดมีอัตราการเกิดการเสื่อมเสียน้อย (Dominguez et al. 2007 : 566-571) และค่า a_w จากการอบแห้งที่สภาวะการอบแห้งต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนซึ่งกำหนดให้ค่า a_w ของเมล็ดแตงโมอบแห้งไม่เกิน 0.6 ดังตารางที่ 1 (กรมส่งเสริมการเกษตร. 2549 : เว็บไซต์)

ตารางที่ 1 แสดงค่า a_w ของเมล็ดแตงโมอบแห้ง

ระดับพลังงาน	ความชื้น	ค่าปริมาณน้ำอิสระ
reference	13.04±0.18	0.42±0.03
500 วัตต์	12.96±1.27	0.39±0.98
600 วัตต์	12.78±0.92	0.38±1.31
700 วัตต์	12.35±0.84	0.36±0.73

ผลการทดลองอัตราการงอกของเมล็ดแตงโมแสดงดังในตารางที่ 2 ที่ความชื้นสุดท้ายประมาณ 12-13 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อัตราการงอกเมื่อเทียบกับเมล็ดแตงโมอ้างอิงพบว่า อัตราการงอกของเมล็ดแตงโมที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 500, 600, 700 วัตต์ ตามลำดับ มีอัตราการงอกของเมล็ดแตงโมคือ 92.41, 91.75 และ 83.29 เปอร์เซ็นต์ สำหรับเมล็ดอ้างอิง คือ 95.25 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองอัตราการงอกของเมล็ดแตงโม

ระดับพลังงาน	ความชื้น	อัตราการงอก
reference	13.04±0.18	95.25
500 วัตต์	12.96±1.27	92.41
600 วัตต์	12.78±0.92	91.75
700 วัตต์	12.35±0.84	83.29

ค่าร้อยละการเจริญเติบโตของเมล็ดแตงโมดังแสดงในตาราง 3 ค่าร้อยละการเจริญเติบโตเมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ดแตงโมอ้างอิง พบว่าค่าร้อยละการเจริญเติบโตของเมล็ดแตงโมที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 500, 600, 700 วัตต์ ตามลำดับ มีร้อยละการงอกที่ 82.25, 71.33 และ 59.18 สำหรับเมล็ดอ้างอิง คือ 90.44 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลร้อยละการเจริญเติบโตของเมล็ดแตงโม

ระดับพลังงาน	ความชื้น	อัตราการงอก
reference	13.04±0.18	90.44
500 วัตต์	12.96±1.27	82.25
600 วัตต์	12.78±0.92	71.33
700 วัตต์	12.35±0.84	59.18

สรุปผล

กระบวนการอบแห้งเมล็ดแตงโม โดยมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ $345 \pm 0.11 \text{ g}_{\text{water}}/\text{g}_{\text{dry matter}}$ ใช้ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 500, 600, 700 วัตต์ ตามลำดับ พบว่าอัตราการงอกเพิ่มขึ้นเมื่อการเพิ่มระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลที่ผิวของเมล็ดแตงโม จะเกิดการถ่ายโอนความร้อนและการถ่ายโอนมวลภายในเนื้อวัสดุพร้อมกันไป ด้วยทำให้อัตราการอบแห้งเกิดได้อย่างรวดเร็ว การอบแห้งที่ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟต่ำจะให้ค่าความสว่าง ภายนอกและภายในมีค่าน้อยกว่าการอบแห้งที่การระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟสูง ค่าความเป็นสีเหลืองมีค่าเพิ่มสูงเมื่อระดับพลังงานเพิ่มขึ้น และในแต่ละเงื่อนไขจะให้ค่าความเป็นสีแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ค่าปริมาณน้ำอิสระมีค่าอยู่ระหว่าง 0.36-0.42 อัตราการงอกของเมล็ดที่ระดับพลังงานคลื่นไมโครเวฟต่ำให้ค่าใกล้เคียงกับเมล็ดแตงโมอ้างอิง ส่วนค่าร้อยละการเจริญเติบโตของเมล็ดแตงโมมีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับอัตราการงอกของเมล็ด

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาฟิสิกส์ทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2549). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน**. 10 ตุลาคม 2549.
<http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps1145_49.pdf>; สืบค้นเมื่อวันที่ 20 มีนาคม 2557.
- นิดดา หงส์วิวัฒน์ และทวีทอง หงส์วิวัฒน์. (2550). **แตงโม ใน ผลไม้ 111 ชนิด : คุณค่าอาหารและการกิน**.
กทม. แสงแดด. หน้า 77 - 80
- ฤทธิชัย อัคราพันธ์. (2554). การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยคลื่นไมโครเวฟ. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต** 1, 31-42.
- ฤทธิชัย อัคราพันธ์, ภาณุเดช แสงเจริญรัตน์, สุเนตร สืบคำ, เทียรณีย์ มั่งมุล และดวงกมล จินใจ. (2554). **จลนพลศาสตร์การด้วยลมร้อนของเปลือกทับทิม. วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย**. 17, 27-34.
- วิไล รังสาดทอง. (2547). **เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,
- Assawarachan, R., Sripinyowanich, J., Theppadungporn, K. and Noomhorm, A. (2011). Drying paddy by microwave vibro-fluidized drying using single mode applicator. **International Journal of Food, Agriculture & Environment**. 9, 50-54.
- Dadal, G., Apar, D. K. and Özbek, B. (2007). Microwave drying kinetics of okra. **Drying Technology** 25, 917-924.
- Dadali, G., Demirhan, E. and Özbek, B. (2007). Color kinetics of spinach undergoing microwave drying. **Drying Technology**. 25, 1713-1723.
- Dominguez, I.L. and others. (2006). Thermodynamic analysis of the effect of water activity on the stability of macadamia nut. **Journal of Food Engineering**. 81, 566-571.