กระเจี๊ยบเขียวอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

Okra drying using microwave assisted hot air

ละมุล วิเศษ[1*] จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์[1] และ ณัฐพล ภูมิสะอาด[2]

[1] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและเครื่องจักรกลเกษตร [2]หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
*ติดต่อ:lamulwiset@hotmail.com, Tel and Fax 043-754316

บทคัดย่อ

งานวิจัยการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งกระเจี๊ยบเขียว โดยใช้กำลังไมโครเวฟที่ 400 600 และ 900 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กระเจี๊ยบเขียวนำมาลวกในน้ำต้มเดือด ก่อนนำมาอบแห้ง อบแห้งครั้งละ 500 กรัม ความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 91-92 ฐานเปียก จนกระทั่งค่าปริมาณน้ำอิสระ ต่ำกว่า 0.5 ใช้เวลาอบแห้ง 510 300 และ 240 นาที ที่กำลังไมโครเวฟ 400 600 และ 900 วัตต์ ตามลำดับ ในขณะที่การอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาถึง 1500 นาที เมื่อวัดค่าแรงเฉือนพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นตามกำลังไมโครเวฟ โดยที่ไมโครเวฟ 900 วัตต์ ส่งผลให้ค่าแรงเฉือนสูงที่สุด ในขณะที่การใช้พลังงานมีค่าลดลงตามกำลังไมโครเวฟ เมื่อพิจารณาในแง่พลังงานและคุณภาพของกระเจี๊ยบทั้งปริมาณน้ำอิสระและแรงเฉือน พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งกระเจี๊ยบ คือ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่กำลัง 600 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส

คำหลัก: กระเจี๊ยบเขียว; ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน; จลนพลศาสตร์การอบแห้ง

Abstract

The research aims to study the okra drying using microwave assisted hot air. Microwave powers of 400, 600 and 900 watts combined with drying temperature of 60 °C were conditions used in this study. Okra was blanched before drying. Each run used for 500 g sample. Sample with initial moisture content of 91-92% wet was dried until activity of water was less than 0.5. The drying time was 510, 300 and 240 min at the microwave power of 400, 600 and 900 watts, respectively. While as the drying only hot air at 60 °C took for 1500 min. In addition, the shear force was increased with microwave power which had the highest value at microwave power of 900 watts. Moreover, the energy consumption was decreased when the microwave power increased. When considering in energy consumption and quality including activity of water and shear force, the suitable drying condition is drying at microwave power of 600 watts combined with hot air at 60 °C.

Keywords: Okra; microwave assisted hot air; drying kinetics

1. บทนำ

กระเจี๊ยบเขียว (*Abelmoschus esculentus* L. Moench.) เป็นผักที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ [1] และมีประโยชน์ต่อระบบการย่อย [2] ทำให้ได้รับความนิยมในกลุ่มคนรักสุขภาพ การแปรรูปกระเจี๊ยบเขียวสามารถนำมาอบแห้งแล้วปรุงรสต่างๆ [3] หรือทำกระเจี๊ยบเขียวแผ่นอบแห้ง [4] ก่อนการอบแห้งจะหั่นกระเจี๊ยบเป็นวงกลมแนวขวาง [5] เพื่อให้สามารถลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้การอบแห้งยังสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและสะดวกในการขนส่ง จากงานวิจัยพบว่าวิธีการในการอบแห้งมีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของกระเจี๊ยบเขียว [6]

การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ ใช้หลักการของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในวัสดุ ทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการหมุนตัวอย่างรวดเร็วและเกิดการชนกระแทกของโมเลกุลของน้ำ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว จากปฏิกิริยาดังกล่าวความร้อนจะเกิดขึ้นภายในผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดความดันภายในผลิตภัณฑ์ผลักน้ำจากภายในออกมายังผิวนอกได้เร็วขึ้น ด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้ไมโครเวฟถูกนำมาใช้ร่วมกับลมร้อนเพื่อชดเชยและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว และได้นำไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมาใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอย่างแพร่หลาย เช่น) ลำไย [7] ปลา [8] ข้าวสุก [9] เปลือกส้ม [10] เป็นต้น พบว่าการอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งและประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับการอบแห้งชนิดอื่น

งานวิจัยนี้สนใจศึกษาการอบแห้งกระเจี๊ยบทั้งผลโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่กำลังไมโครเวฟแตกต่างกัน เพื่อดูระยะเวลาในการลดความชื้น ความเหนียวของผลิตภัณฑ์ พลังงานที่ใช้ เปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 การเตรียมตัวอย่างกระเจี๊ยบเขียว

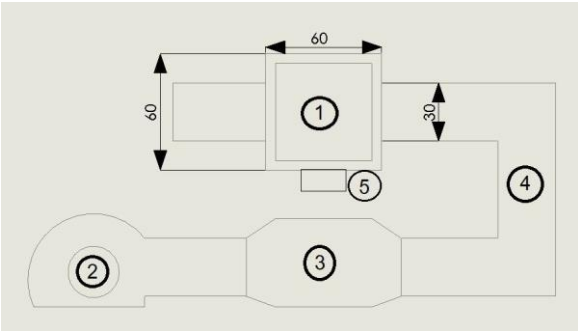
ซื้อกระเจี๊ยบเขียวสดจากห้างแมคโครในจังหวัดมหาสารคาม ก่อนการทดลองนำมาลวกในน้ำเดือด โดยต้มน้ำ 1.5 ลิตร ด้วยกระทะไฟฟ้า และใส่กระเจี๊ยบ 500 กรัม ลงไป หลังน้ำเดือด เป็นเวลา 5 นาที แล้วนำมาแช่ในน้ำเย็น แล้วสะเด็ดน้ำส่วนเกินออก สุ่มตัวอย่างไปหาความชื้นเริ่มต้นด้วยตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง

2.2. เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนได้ถูกออกแบบและสร้างโดยนิสิตระดับปริญญาโทและบุคคลากร สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ดังแสดงในภาพที่ 1

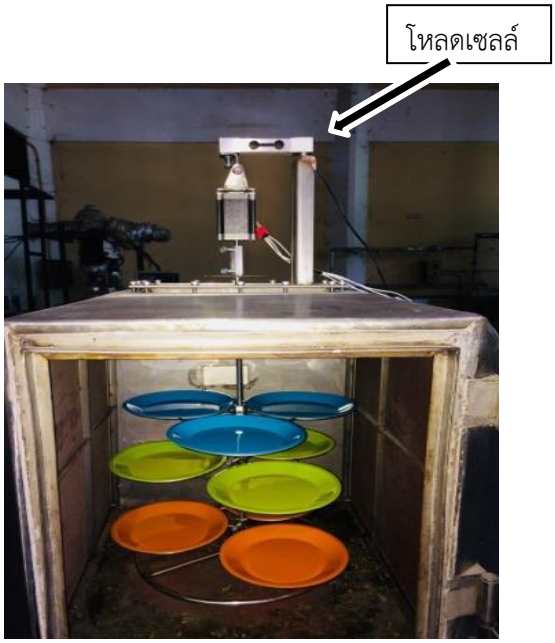
รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ใช้ในการทดลอง

แผนผังโครงสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแสดงในรูปที่ 2 ห้องอบเป็นรูปทรงลูกบาศก์ กว้างด้านละ 60 เซนติเมตร ใช้แมกนีตรอน ขนาด 800 วัตต์ 2 ตัว ความถี่ 2.45 จิกกะเฮิร์ท เป็นตัวสร้างคลื่นไมโครเวฟ



(1) Microwave oven (3) Heater 20 kW
(2) Blower 1 hp (4) Air duct
(5) Control motor Gear box

รูปที่ 2 แผนผังเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน



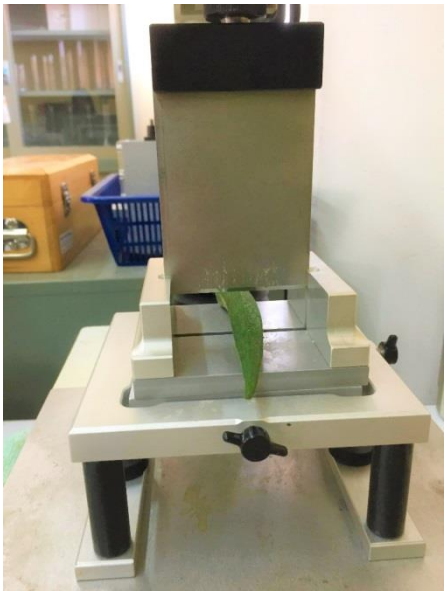
รูปที่ 3 ถาดใส่ตัวอย่างและโหลดเซลล์

2.3 เงื่อนไขในการอบแห้ง

ตัวอย่างกระเจี๊ยบเขียวที่ผ่านการลวกครั้งละ 500 กรัม นำมาจัดเรียงบนจานใส่ตัวอย่างในตู้อบดังแสดงในรูปที่ 3 และมีโหลดเซลล์สามารถอ่านค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้งได้ ความเร็วรอบจานหมุน 5 รอบต่อนาที ความเร็วลมในห้องอบแห้ง 0.23 m/s โดยมีเงื่อนไขในการอบแห้ง คือ ไมโครเวฟที่กำลังวัตต์ 400 600 และ 900 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จดน้ำหนักทุกๆ 10 นาที จนกระทั่งความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 14% ฐานเปียก (ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ต่ำกว่า 0.5)

2.4 การวัดค่า a_w และการวัดค่าแรงเฉือน

นำตัวอย่างกระเจี๊ยบอบแห้งมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในช่องใส่ตัวอย่างเครื่องวัดค่า a_w (Aqua Lab) อ่านค่าสำหรับการวัดค่าแรงเฉือนเตรียมตัวอย่างโดยนำกระเจี๊ยบเขียวที่ผ่านการอบแห้งมาลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 5 นาที นำมาใส่ถุงซิบจนกระทั่งตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง จึงนำมาทดสอบวัดค่าแรงเฉือน ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส รุ่น TA.XT.plus ใช้หัววัด Blade set (HDP/BS)(Warner Bratzler) และ Heavy Duty Platform (HDP/90) โดยเลือกตัวอย่างที่มีขนาดใกล้เคียงกัน วางตัวอย่างดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะการวางตัวอย่างเพื่อทดสอบแรงเฉือน

2.5 การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

ในการวิเคราะห์พลังงานในการอบแห้งจะวิเคราะห์จากอุปกรณ์หลักที่ใช้อันได้แก่ พัดลม ฮีตเตอร์อุ่นอากาศ และไมโครเวฟ

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ที่พัดลม หาได้จาก สมการที่ 1 โดยการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V) กระแสไฟฟ้า (I) โดยใช้ Clamp-on Meter และ t คือระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

$$E_{fan} = VIt \quad (1)$$

ในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อุ่นอากาศเป็นแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคำนวณพลังงานไฟฟ้า จากพลังงานที่อากาศได้รับดังสมการที่ 2

$$E_{heater} = \frac{\rho A_n \nu C_p (T_d - T_{amb})}{\eta_h} t \quad (2)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร), A_n คือพื้นที่หน้าตัดของหัวเป่าลม (ตารางเมตร), ν ความเร็วของอากาศในท่อ (เมตรต่อวินาที), C_p ค่าความจุความร้อนของอากาศชื้น (กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส),T_d อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส) T_{amb} คืออุณหภูมิอากาศแวดล้อม (องศาเซลเซียส) and η_h คือประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานของอุปกรณ์อุ่นอากาศ

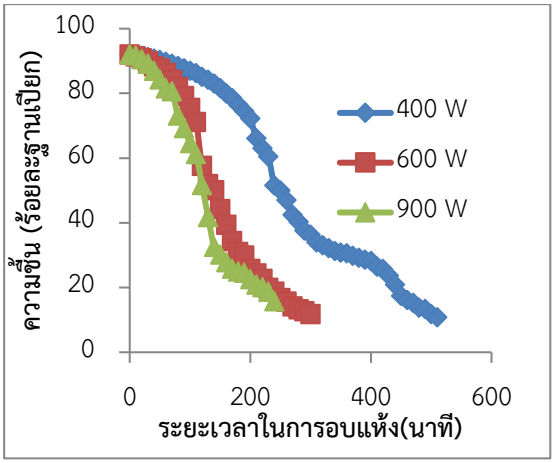
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับไมโครเวฟ คำนวณจากกำลังงานไฟฟ้าตามเงื่อนไขการทดลอง คูณด้วยระยะเวลาการอบแห้งดังสมการที่ 3

$$E_{mw} = P_{mw} t \quad (3)$$

เมื่อได้ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างแล้วจึงนำมารวมกันเป็นการใช้พลังงานงานรวม

3. ผลการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของกระเจี๊ยบในระหว่างการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 600 และ 900 วัตต์ แสดงในรูปที่ 5 การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส เพียงอย่างเดียว ใช้เวลา 1500 นาที (ผลการทดลองไม่ได้แสดง) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้กำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจาก ว่าไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนจากภายในส่งผลให้ความชื้นสามารถเคลื่อนมาที่ผิวและระเหยได้อย่างรวดเร็ว การใช้ไมโครเวฟช่วยในการอบแห้งสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่า 3 เท่า ที่กำลังไมโครเวฟ 400 วัตต์ กราฟการอบแห้งแสดงให้เห็นว่าเป็นการลดความชื้นแบบคงที่



รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นกระเจี๊ยบเขียวในระหว่างการอบแห้งที่กำลังวัตต์แตกต่างกัน

หลังการอบแห้งถ่ายรูปกระเจี๊ยบที่สภาวะต่างๆ แสดงในรูปที่ 5 สังเกตเห็นได้ว่าการใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวตัวอย่างมีลักษณะเหี่ยวย่นมากกว่าการอบแห้งที่มีไมโครเวฟร่วมด้วย ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีสังเกตได้ว่ามีความเป็นสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้น ความร้อนทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เรียกว่าเมลลาร์ด ซึ่งการเกิดสีน้ำตาลในกระเจี๊ยบเกิดได้ทั้งปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลแบบมีเอนไซม์เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการลวกก่อนอบแห้งจึงเป็นการทำลายเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาล

ก) กระเจี๊ยบลวกก่อนอบแห้ง

ข) กระเจี๊ยบอบแห้งที่ลมร้อน 60 ℃

ค) กระเจี๊ยบอบแห้งที่ลมร้อน 60 ℃ ร่วมกับไมโครเวฟที่ 400 วัตต์

ง). กระเจี๊ยบอบแห้งที่ลมร้อน 60 ℃ ร่วมกับไมโครเวฟที่ 600 วัตต์

จ). กระเจี๊ยบอบแห้งที่ลมร้อน 60 °C ร่วมกับไมโครเวฟที่ 900 วัตต์

รูปที่ 5 กระเจี๊ยบลวกก่อนอบแห้งและหลังอบแห้งที่สภาวะต่างๆ

ตารางที่ 1 แสดงค่าความชื้น ปริมาณน้ำอิสระและแรงเฉือนที่ใช้ในการตัดกระเจี๊ยบเขียวต้ม จะเห็นว่าค่า a_w ของตัวอย่างในทุกเงื่อนไขจะอยู่ในช่วง 0.44-0.47 ซึ่งอาหารอบแห้งจะดูค่า a_w เป็นหลัก ซึ่งค่า a_w นี้เป็นปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ ค่า a_w โดยส่วนใหญ่ของอาหารอบแห้งจะต่ำกว่า 0.6

จากผลการทดลองในทุกเงื่อนไขถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยในการเก็บรักษา

ค่าแรงเฉือนกระเจี๊ยบเขียวสดลวกมีค่าน้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างทางสถิติกับกระเจี๊ยบอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว และการอบแห้งร่วมกับกำลังไมโครเวฟที่ 400 และ 600 วัตต์ ในขณะที่การอบแห้งที่ไมโครเวฟกำลัง 900 วัตต์ ส่งผลให้ค่าแรงเฉือนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่าแรงเฉือนนอกจากจะขึ้นอยู่กับเส้นใยที่เป็นองค์ประกอบในผลิตภัณฑ์ กระบวนการอบแห้งยังเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าแรงเฉือน อาจเป็นไปได้ว่าการใช้กำลังไมโครเวฟ 900 วัตต์ ดึงน้ำออกอย่างรวดเร็วทำให้กระเจี๊ยบมีความแข็งกว่าสภาวะอื่นเมื่อดูดน้ำคืนกลับ

ตารางที่ 1 ค่าความชื้น ปริมาณน้ำอิสระและแรงเฉือนที่ใช้ในการตัดกระเจี๊ยบเขียวต้ม

เงื่อนไขการอบแห้ง	ความชื้น (%ฐานเปียก)	ค่า a_w	แรงเฉือน (kg)
กระเจี๊ยบสดลวก	97.10	-	6.65 ± 1.23^{b}
60 °C	11.62	0.444 ± 0.009	8.66 ± 0.92^{b}
60 °C + 400 W	13.55	0.465 ± 0.018	7.67 ± 1.47^{b}
60 °C + 600 W	13.50	0.469 ± 0.025	7.61 ± 1.54^{b}
60 °C + 900 W	10.34	0.470 ± 0.012	13.27 ± 1.89^{a}

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะต้องคิดพลังงานจากพัดลม ฮีตเตอร์ และไมโครเวฟ แหล่งพลังงานหลักมาจากฮีตเตอร์ จากผลการทดลองพบว่าระยะเวลาในการอบแห้งที่นานทำให้ใช้พลังงานจากฮีตเตอร์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการใช้ไมโครเวฟช่วยในการอบแห้งทำให้สามารถลดความชื้นได้เร็วขึ้น ระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง

ตารางที่ 2 ระยะเวลาการอบแห้งและการใช้พลังงานที่สภาวะต่างๆ

Drying Conditions	Drying time (min)	E_{Fan} kW•h	E_{Heater} kW•h	E_{mw} kW•h	E_{total} kW•h
60 °C	1500	9.375	46.31298	0	55.68798
60°C+ 400W	510	3.1875	15.74641	3.4	22.33391
60°C+ 600W	300	1.875	9.262596	3.0	14.1376
60°C+ 900W	240	1.5000	7.410077	3.6	12.51008

6. สรุปผล

จากการอบแห้งกระเจี๊ยบเขียวลวกทั้งผลที่กำลังไมโครเวฟ 400 600 และ 900 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพื่อลดความชื้นให้ต่ำกว่าร้อยละ 14 ฐานเปียก โดยมีค่าปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.44-0.47 พบว่าการใช้กำลังไมโครเวฟสูงขึ้นทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงอย่างชัดเจน ส่งผลให้การใช้พลังงานลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในแง่คุณภาพการใช้กำลังไมโครเวฟที่ 900 วัตต์ ทำให้กระเจี๊ยบลวกมีความแข็งเพิ่มขึ้น ดังนั้นจากผลการทดลองที่กำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ ร่วมกับลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส จึงมีความเหมาะสมเมื่อพิจารณาในแง่ของพลังงานและคุณภาพ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Petropoulos, S., Fernandes, A., Barros, L. and Ferreira, I.C.F.R. (2018). Chemical composition, nutritional value and antioxidant properties of Mediterranean okra genotypes in relation to harvest stage, *Food Chemistry*, vol. 242, pp 466-474.

[2] Gao, H., Zhang, W., Wu, Z., Wang, H., Hui, A., Meng, L., Chen, P., Xian, Z., He, Y., Li, H., Du, B. and Zhang, H. (2018). Preparation, characterization and improvement in intestinal function of polysaccharide fractions from okra, *Journal of Functional Foods*, vol. 50, pp. 147-157.

[3] กระเจี๊ยบกรอบไพรทิพ (2561). [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา http://www.pritipbrand.com/article/4, เข้าดูเมื่อวันที่ 28/04/2562

[4] เพ็ญพิชญา เตียว (2556). กระเจี๊ยบเขียวแผ่นอบแห้ง ช่องทางใหม่เกษตรไทย.[ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา https://www.thairath.co.th/content/334936 เข้าดูเมื่อวันที่ 28/04/2562

[5] Wankhade, P.K., Sapkal, R.S. and Sapkal, V.S. (2013). Drying characteristics of okra slices on drying in hot air dryer. *Procedia Engineering*, vol. 51, pp 371-374.

[6] Li, H., Xie, L., Zhang, M., Zhao, Y. and Zhao, X. (2019). Effects of drying methods on drying characteristics, physicochemical properties and antioxidant capacity of okra. *LWT-Food Science and Technology*, vol. 101, pp 630-638.

[7] Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A. and Achariyaviriya, S. (2007). Combined microwave-hot air drying of peeled longan. *Journal of Food Engineering*, vol. 81, pp. 459–468.

[8] Duan, Z., Jiang, L., Wang, J., Yu, X., Wang, T. (2011). Drying and quality characteristics of tilapia fish fillets dried with hot air-microwave heating. *Food and Bioproducts Processing*, vol. 89 (4), pp. 472–476.

[9] Jiao, A., Xu, X., Jin, Z. (2014). Modelling of dehydration-rehydration of instant rice in combined microwave-hot air drying. *Food and Bioproducts Processing*, vol. 9(2), pp. 259–265

[10] Clara, T., Marta, C. and Pedro, J. (2016) Study of the effect of microwave power coupled with hot air drying on orange peel by dielectric spectroscopy. *LWT-Food Science and Technology*, vol. 66, pp. 622-628.