ผลของการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนต่อพฤติกรรมการอบแห้ง อุณหภูมิ สี การหดตัวและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

Effect of Black Galingale Drying by Microwave-Hot Air Combination on Drying Behavior, Temperature, Color, Shrinkage and Specific Energy Consumption

ปกรณ์เกียรติ ภูกองพลอย[1]

Pakonkiad Poogungploy[1]

Received: 1 November 2016 ; Accepted: 19 April 2017

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยในครั้งนี้คือศึกษาผลของการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิของผิว สี การหดตัวและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ การทดลองใช้ขดลวดความร้อนขนาด 1100 วัตต์ เครื่องไมโครเวฟกำลังสูงสุด 850 วัตต์ เงื่อนไขของการอบแห้งที่ใช้ในการทดลอง คือ กำลังไมโครเวฟ 100 180 300 และ 450 วัตต์ และอุณหภูมิอากาศร้อน 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วของอากาศร้อน 0.5 เมตรต่อวินาทีคงที่ตลอดการทดลอง ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ ร้อยละ 80.14 มาตรฐานเปียก และความชื้นสุดท้ายร้อยละ 2.88 มาตรฐานเปียก ผลการวิจัย พบว่า เมื่อใช้กำลังไมโครเวฟสูงสุด (MW450W+HA60°C) จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อย และอุณหภูมิผิวกระชายดำอบแห้งสูงสุด 85 องศาเซลเซียส (MW450W+HA60°C) และเมื่อกำหนดเงื่อนไขอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งแตกต่างกัน พบว่าค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P<0.05) เมื่อใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงสุดจะมีการหดตัวและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุด

คำสำคัญ: กระชายดำ การอบแห้ง ไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน

Abstract

The objective of this paper is to study effect of black galingale drying by microwave-hot air combination on drying time, surface temperature, color, shrinkage and specific energy consumption. A 1.1 kW heater and a 850 W microwave ovens were used. The drying conditions were conducted at different drying conditions of microwave powers of 100, 180, 300, 450 W and hot air temperature of 40, 50, 60°C. The superficial air velocity of approximately 0.5 m/s was fixed throughout the experiment. The initial moisture content of black galingale about 80.14 % wet basis and it was dried until the final moisture content was 2.88 % wet basis. It was found that the highest microwave energy consumption resulted in the shortest drying time. At the highest temperature of drying of MW450W+HA60°C the surface temperature of black galingale of 85°C and the temperature conditions were conducted at different drying method, it was found that whiteness (L*), redness (a*) and yellowness (b*) of black galingale were significantly (P<0.05) different and the highest microwave energy consumption which in the resulted in the lowest value of shrinkage and specific energy consumption

Keywords: Black galingale, Drying, Microwave - hot air combination

[1] *อาจารย์, สาขาวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย จังหวัดเลย 42000*

[1] *Lecturer, Production Engineering, Faculty of Industrial Technology, Loei Rajabhat University, Loei Province 42000, Thailand*
Email: kham_smc@hotmail.com

บทนำ

กระชายดำ (Black Galingale) เป็นสมุนไพรซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง ในจังหวัดเลยมีพื้นที่เพาะปลูก ประมาณ 2,650 ไร่ รายได้ต่อปี 1,656 ล้านบาทต่อปี[1] กระชายดำมีสรรพคุณ ช่วยบำรุงธาตุในร่างกาย ช่วยบำรุงฮอร์โมนเพศชาย ช่วยรักษาโรคกระเพาะอาหาร ช่วยรักษาโรคท้องร่วง ช่วยรักษาโรคเก๊าท์และขับพิษต่างๆ ในร่างกาย นอกจากนี้ยังได้รับการยืนยันทางเภสัชวิทยาว่าสารสกัดของกระชายดำมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระได้ใกล้เคียงกับวิตามินอี[2] การรับประทานกระชายดำมีหลายรูปแบบ เช่น อบแห้งกระชายดำ ลูกอมกระชายดำ ไวน์กระชายดำ กระชายดำแคปซูล กระชายดำผงยาน้ำกระชายดำ และกาแฟกระชายดำ เป็นต้น[3] การแปรรูปกระชายดำอบแห้ง ได้จากการนำรากเหง้าหรือหัวสดมาล้างทำความสะอาด หั่นเป็นแว่นด้วยเครื่องหั่นที่มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิสูง เพื่อลดความชื้น[4] เทคโนโลยีการอบแห้งในปัจจุบันที่ถูกนำไปใช้กับกระชายดำคือ การอบแห้งด้วยกำลังแสงอาทิตย์ และการอบแห้งด้วยกำลังชีวมวลร่วมกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ CLOHP/CV[5] ซึ่งเทคโนโลยีการอบแห้งดังกล่าว เป็นการใช้อากาศร้อนร่วมกับความชื้นสัมผัสต่ำในช่วงร้อยละ 60-72[6] ในการอบแห้งจะมีการส่งผ่านความร้อนเข้าสู่ผิววัสดุโดยวิธีการถ่ายเทความร้อน และส่งผลให้อุณหภูมิและความชื้นลดลง[7] ปัญหาคือใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 2-3 วัน[8] ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานสูง และสูญเสียคุณค่าทางอาหารและสี เนื่องจากวัสดุสัมผัสกับอากาศร้อนสูงนานเกินไป และอาจเกิดกรณีการแห้งที่ผิวได้ (case hardening of surface)[9] หากพิจารณาการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนจึงเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในวัสดุที่อบแห้งมีอัตราการอบแห้งสูง ระยะเวลาการอบแห้งสั้นใช้พลังงานในการอบแห้งน้อย[10,11] และยังสามารถทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น เช่น การหดตัวของผลิตภัณฑ์น้อย[12] กลไกการเกิดความร้อนในไมโครเวฟเป็นผลจากขั้วโมเลกุลของน้ำภายในวัสดุ มีการเปลี่ยนแปลงตามสนามไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลส่งผลให้เกิดความร้อนอย่างรวดเร็ว และภายในวัสดุมีความดันสูงส่งผลให้เกิดการระเหยของน้ำอย่างรวดเร็ว[13] จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า Meena และคณะ[5] ได้ศึกษาการอบแห้งกระชายดำด้วยพลังงานชีวมวลร่วมกับระบบแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ CLOHP/CV โดยใช้สารทำงาน 2 ชนิด ได้แก่ เอทานอล (ethanol) และ น้ำ (water) ใช้กระชายดำหั่นที่มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 60 องศาเซลเซียสและทำการอบแห้งจากความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 143 มาตรฐานเปียก ไปถึงความชื้นสุดท้ายร้อยละ 2.88 มาตรฐานเปียก ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในการอบแห้ง 13.5 กิโลกรัม และ 25 กิโลกรัม ใช้เวลาในการอบแห้ง 6.30 ชั่วโมง และ10.30 ชั่วโมง อัตราการส่งถ่ายความร้อน 1,852 วัตต์และ 1,078.71วัตต์ และประสิทธิผลการอบแห้งร้อยละ 0.48 และ 0.31 และ Varith และคณะ[14] ได้ศึกษาการอบแห้งลำไยด้วยเทคนิคไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน เพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ระดับอุณหภูมิ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับกำลังไมโครเวฟ 100 180 300 และ 450 วัตต์ พบว่า การอบแห้งใช้เวลาอบแห้งนานสุด 10 ชั่วโมง สิ้นเปลืองพลังงานสูงสุด 9.5 kWh เมื่อพิจารณางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ สามารถแก้ไขปัญหาด้านการลดความชื้น ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และการสิ้นเปลืองพลังงานได้ แต่ยังไม่มีนักวิจัยใช้เทคโนโลยีดังกล่าวกับกระชายดำมาก่อน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาผลของการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนที่มีต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิของผิว สี การหดตัวและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งกระชายดำ

วิธีการดำเนินงานวิจัย

การเตรียมวัตถุดิบ

ใช้กระชายดำจากพื้นที่ตำบลท่าศาลา อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ล้างกระชายดำให้สะอาด นำเนื้อกระชายดำหั่นตามขวางที่ความหนา 2 มิลลิเมตร สุ่มตัวอย่างเพื่อหาความชื้นเริ่มต้น โดยใช้ตู้อบอากาศร้อน (Hot air oven) โดยใช้กระชายดำ 10 กรัม อบที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง[5] วัดความชื้นเริ่มต้นได้ค่าเฉลี่ย ร้อยละ 80.14 มาตรฐานเปียก

ระบบอุปกรณ์ในการทดลอง

เครื่องอบแห้งไมโครเวฟใช้รุ่น ME81Y มีกำลังสูงสุด 850 วัตต์ ถูกติดตั้งเข้ากับระบบขดลวดทำความร้อน (Heater) เครื่องเป่าลม (Blower) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) อุปกรณ์ถูกควบคุมโดยชุดควบคุมอุณหภูมิแบบ PID ในการตัด – ต่อ อุณหภูมิอากาศร้อนเข้าห้องอบแห้ง ในการวัดและบันทึกอุณหภูมิจะใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K ต่อเข้ากับ Data logger รุ่น MX - 100 วัดความเร็วอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งโดยเครื่องวัดความเร็วอากาศชนิด(Hot wire Anemometer) น้ำหนักของกระชายดำสำหรับทดสอบแต่ละเงื่อนไข 100 กรัม/ถาด (tray) ตัวอย่างทำจากโพลิเมอร์สไตล์ลิน (polypropylene)

มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตร ใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก รุ่น WT30002CF ความละเอียด ± 0.01 โดยนำมาติดตั้งด้านใต้ของถาดอบแห้งเพื่อบันทึกน้ำหนักระหว่างการอบแห้ง และส่วนอุปกรณ์ที่ใช้กระแสไฟฟ้าจะถูกติดตั้งผ่านหม้อมิเตอร์ไฟฟ้ารุ่น DD28, China ทั้งหมด เช่น ไมโครเวฟ ขดลวดความร้อน และพัดลม ในการวัดการใช้กำลังไฟฟ้า

ขั้นตอนในการทดลอง

เริ่มการทดลอง ปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำกระชายดำ เข้าห้องอบแห้งตู้ไมโครเวฟที่กำลัง 100 วัตต์ อุณหภูมิอากาศร้อน 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศร้อน 0.5 เมตร/วินาที อบแห้งจนความชื้นของกระชายดำ ลดลงถึงร้อยละ 2.88 มาตรฐานเปียก

2. ทำการอบแห้งเหมือนข้อ (1.) แต่ปรับเปลี่ยนกำลัง 180 วัตต์

3. ทำการอบแห้งเหมือนข้อ (1.) แต่ปรับเปลี่ยนกำลัง 300 วัตต์

4. ทำการอบแห้งเหมือนข้อ (1.) แต่ปรับเปลี่ยนกำลัง 450 วัตต์

การวิเคราะห์สี

สีเนื้อของกระชายดำจะหาได้โดยใช้เครื่องHunter Lab colorimeter (Color Flex) ซึ่งจะแสดงอยู่ 3 ค่า คือ ค่า (L*) จะแสดงค่าความสว่างโดยมีค่าตั้งแต่ 0 คือสีดำ ถึง 100 คือสีขาว ส่วนค่า (a*) จะบ่งชี้ความเป็นสีแดงและเขียว โดยค่าเป็นบวก (+a) คือสีแดง ค่าเป็นลบ (-a) คือสีเขียว และค่า (b*) จะบ่งชี้ความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน (b+) คือสีเหลือง (b-) คือสีน้ำเงิน ซึ่งการวัดค่าสีจะทำการวัด 3 ซ้ำ ในแต่ละหน่วยตัวอย่าง

การวิเคราะห์การหดตัว

การวิเคราะห์การหดตัวของกระชายดำอบแห้ง จะทำการวัดค่า ความกว้าง ความยาว และความหนา ของตัวอย่าง (กระชายดำ) ทั้งก่อนและหลังอบแห้งด้วยเครื่องมือวัดเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ที่มีความละเอียด ± 0.1 มิลลิเมตร จากนั้นนำค่าที่ได้ที่มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) มาแทนค่าในสมการ (1)[15] และทำการหาค่าการหดตัวจะทำ 3 ซ้ำแต่ละตัวอย่าง

$$Shrinkag. = \frac{V_0 - V_f}{V_0} x100\% \quad (1)$$

เมื่อ

$V_0 =$ ปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่างก่อนอบแห้ง (cm^3)

$V_f =$ ปริมาตรเริ่มต้นของตัวอย่างหลังอบแห้ง (cm^3)

การวิเคราะห์การใช้พลังงานจำเพาะ

อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลองที่ใช้กำลังไฟฟ้ามี 3 ส่วน ได้แก่ ขดลวดความร้อน (heater) เครื่องเป่าลม (blower) และเครื่องไมโครเวฟ (Microwave) ดังนั้นการใช้กำลังและความสิ้นเปลืองกำลังจำเพาะ (SEC) ในกระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนในครั้งนี้พิจาณาที่ระดับกำลังไมโครเวฟและอุณหภูมิในเงื่อนไขต่าง ๆ วิเคราะห์ด้วยสมการ (2)[16] ดังต่อไปนี้

$$SEC = \frac{E_{Microwave} + E_{Heater} + E_{Blower}}{m_{water}} \quad (2)$$

เมื่อ

SEC =ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของ กระบวนการ อบแห้ง (KWh / kg water)

E_{Blower} = กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เครื่องเป่าลม (kWh)

E_{Heater} = กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวดทำความร้อน (kWh)

$E_{Microwave}$ = กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้เครื่องไมโครเวฟ (kWh)

m_{Water} = ปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกจากวัสดุที่อบแห้ง (kg)

การวิเคราะห์ทางด้านสถิติ

สถิติที่ใช้ในการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าสีกระชายดำที่อบแห้งด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกันใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way Analysis of Variance) จากนั้นเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่โดยใช้ Duncan Multiple range test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญ $P<0.05$ และใช้แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely randomized design, CRD) ที่ระดับนัยสำคัญ $p>0.05$

ผลการวิจัย

1. พฤติกรรมการอบแห้งและอุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและอุณหภูมิของกระชายดำโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ผลการวิจัยพบว่า

1.1 การควบคุมกำลังไมโครเวฟคงที่ 100 Watt และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศร้อน คือ 40 50 และ 60°C พบว่า เงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 100 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 60 °C (MW100W+HA60 °C) ใช้เวลา 26 นาที ที่อุณหภูมิผิว 68°C และเงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 100 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 40 °C (MW100W+HA40 °C) ใช้เวลา 42 นาที ที่อุณหภูมิผิว 54 °C ผลการวิจัยแสดงดังรูป Figure 1

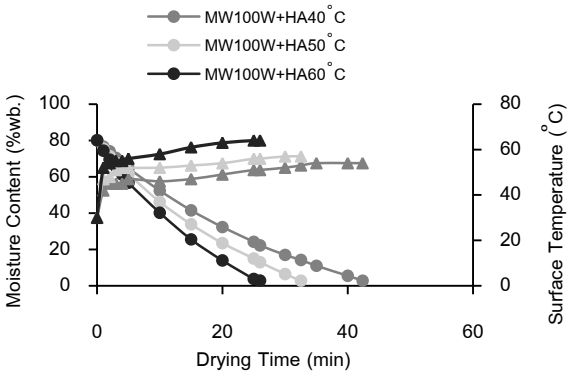

Figure 1 Change in moisture content surface temperature and time of black galingale drying which was fixed power microwave of 100 watt

1.2 การควบคุมกำลังไมโครเวฟคงที่ 180 Watt และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศร้อน คือ 40 50 และ 60°C พบว่า เงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 180 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 60°C (MW180W+HA60 °C) ใช้เวลา 17 นาที ที่อุณหภูมิผิว 70 °C และเงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 180 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 40 °C (MW180W+HA40 °C) ใช้เวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิผิว 56 °C ผลการวิจัยแสดงดังรูป Figure 2

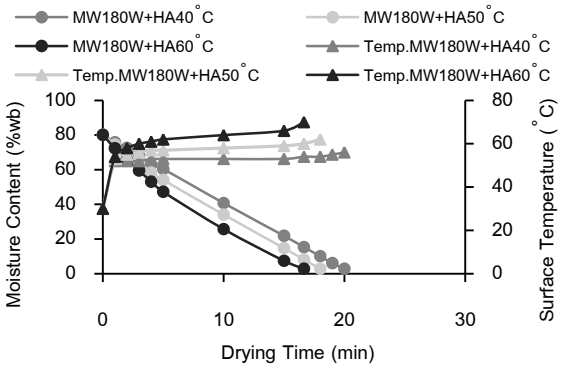

Figure 2 Change in moisture content surface temperature and time of black galingale drying which was fixed power microwave of 180 watt

1.3 การควบคุมกำลังไมโครเวฟคงที่ 300 Watt และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศร้อน คือ 40 50 และ 60°C พบว่า เงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 300 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 60 °C (MW300W+HA60°C) ใช้เวลา 9 นาที ที่อุณหภูมิผิว 81°C และเงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 300 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 40°C (MW300W+HA40°C) ใช้เวลา 13 นาที ที่อุณหภูมิผิว 70 °C ผลการวิจัยแสดงดังรูป Figure 3

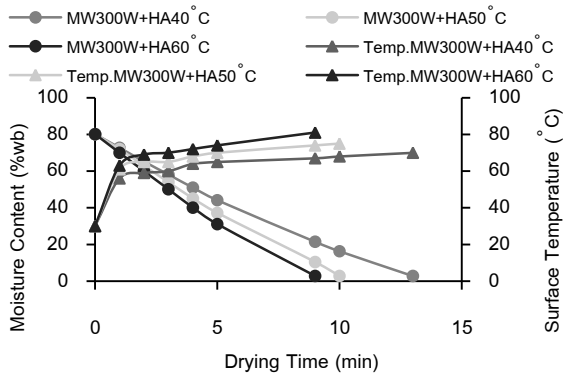

Figure 3 Change in moisture content surface temperature and time of black galingale drying which was fixed power microwave of 300 watt

1.4 การควบคุมกำลังไมโครเวฟคงที่ 450 Watt และปรับเปลี่ยนอุณหภูมิอากาศร้อน คือ 40 50 และ 60°C พบว่า เงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด คือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 450 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 60°C (MW450W+HA60°C) ใช้เวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิผิว 85°C และเงื่อนไขที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนานที่สุดคือ ใช้กำลังไมโครเวฟ 450 Watt ร่วมกับอากาศร้อน 40°C (MW450W+HA40°C) ใช้เวลา 8 นาที ที่อุณหภูมิผิว 62 °C ผลการวิจัยแสดงดังรูป Figure 4

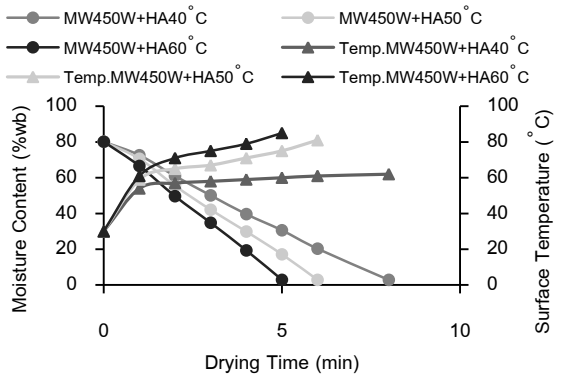

Figure 4 Change in moisture content surface temperature and time of black galingale drying which was fixed power microwave of 450 watt

2. สี (Color)

การเปลี่ยนแปลงสีของกระชายดำที่ได้จากการอบแห้งด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ผลการวิจัยพบว่า ค่าสี L*, a*, b* เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ค่าสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $P<0.05$ ผู้ศึกษานำผลการเปรียบเทียบค่าสีไปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยราย

คู่เพื่อตรวจสอบว่ามีเงื่อนไขใดบ้างที่มีค่าสีแตกต่างกัน พบว่าเงื่อนไข (1) Fresh, (2) MW100W+HA40°C และ(3) MW300W+HA60°C มีค่าความสว่าง (L*) แตกต่างจากเงื่อนไขอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ P<0.05 และเงื่อนไข (1) Fresh, (2) MW100W+HA50°C และ (3) MW180W+HA50°C มีค่าสีแดง (a*) แตกต่างจากเงื่อนไขอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ P<0.05 และเงื่อนไข(1) MW450W+HA40°C, (2) MW100W+HA50°C และ (3) MW180W+HA50°C มีค่าสีเหลือง (b*) แตกต่างจากเงื่อนไขอื่น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ P<0.05 รายละเอียดผลการวิจัยนำเสนอในตาราง Table 1

3. การหดตัว (Shrinkage)

การหดตัวของกระชายดำที่ได้จากการอบแห้งด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ผลการวิจัยพบว่าการหดตัวของกระชายดำต่ำสุดคือเงื่อนไขการอบแห้งที่ MW450W+HA60°C มีค่าการหดตัวร้อยละ 31.10 รองลงมาคือเงื่อนไข MW450W+HA50°C ค่าการหดตัวร้อยละ 31.42 ที่ และเงื่อนไขที่มีการหดตัวสูงสุดคือเงื่อนไข MW100W+HA40°C ค่าการหดตัวร้อยละ 47.10 รายละเอียดของผลการวิจัยนำเสนอในตาราง Table 1

4. การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption)

การสิ้นเปลืองกำลังจำเพาะของกระชายดำที่ได้จากการอบแห้งด้วยเทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ผลการวิจัย พบว่า การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดที่เงื่อนไขของ MW450W+HA60°C โดยสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 7.35 kWh/kg รองลงมาคือเงื่อนไข MW450W+HA50°C สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 7.70 kWh/kg และเงื่อนไขที่สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากที่สุด คือ MW100W+HA40°C สิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 31 kWh/kg

วิจารณ์ผลงานวิจัย

การอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิของผิว สี การหดตัว และการสิ้นเปลืองกำลังจำเพาะ เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการอบแห้ง พบว่า ลักษณะกราฟของกระบวนการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ความชื้นจะลดลงเป็นเส้นค่อนข้างตรงในทุกเงื่อนไขการอบแห้ง ทั้งนี้สาเหตุเกิดจากอิทธิของระดับกำลังไมโครเวฟในระหว่างการอบแห้ง ความชื้นของกระชายดำจะเริ่มเคลื่อนที่จากภายในของกระชายดำเคลื่อนที่มายังผิวของกระชายดำ หลังจากนั้นอิทธิพลของอากาศร้อนจะพาความชื้นของกระชายดำบริเวณที่ผิวของกระชายดำออกไป และบริเวณที่ผิวหน้าของกระชายดำจะเป็นสภาวะอุณหภูมิกระเปาะเปียก ซึ่งเป็นลักษณะพฤติกรรมของการอบแห้งแบบช่วงอัตราคงที่ (Constant rate period)

Table 1 The drying time quality and specific energy consumption for black galingale using microwave-hot air combination drying

Treatment	Drying time (min)	Color			SEC (kWh/kg)	Shrinkage (%)
		L*	a*	b*		
Fresh	-	42.83±1.79^{d}	7.63±0.74^{f}	0.07±0.11^{c}	0	0
MW100W+HA40°C	42.37	50.52±2.70^{a}	16.83±0.95^{bcd}	2.13±0.81^{abc}	31.00	47.08
MW180W+HA40°C	20	48.36±0.90^{abc}	21.43±1.86^{a}	4.57±0.49^{ab}	22.51	34.01
MW300W+HA40°C	13	46.69±0.72^{c}	14.07±2.81^{d}	2.47±1.62^{abc}	16.30	32.63
MW450W+HA40°C	8	47.09±0.24^{bc}	16.40±0.45^{bcd}	1.17±0.75^{c}	8.60	31.91
MW100W+HA50°C	32.32	47.44±3.52^{abc}	10.26±0.29^{e}	4.83±4.21^{a}	30.00	39.32
MW180W+HA50°C	18	46.88±1.65^{c}	16.27±1.50^{bcd}	2.70±1.12^{abc}	19.51	33.67
MW300W+HA50°C	10	46.43±0.57^{c}	15.73±0.75^{cd}	1.27±0.59^{c}	14.41	32.44
MW450W+HA50°C	6	49.13±1.96^{abc}	14.73±2.32^{cd}	1.87±0.75^{bc}	7.70	31.42
MW100W+HA60°C	26	50.21±1.25^{ab}	15.03±1.34^{cd}	2.43±1.26^{abc}	29.20	36.93
MW180W+HA60°C	16.65	46.93±1.61^{c}	18.97±1.70^{ab}	4.83±0.35^{a}	17.55	33.21
MW300W+HA60°C	9	47.09±0.48^{bc}	16.97±1.33^{bc}	2.33±0.06^{abc}	13.30	32.02
MW450W+HA60°C	5	48.21±0.65^{abc}	15.07 ± 1.03^{cd}	2.00±0.62^{bc}	7.35	31.09

Values are the mean ± standard deviation. Different superscripts (a, b, c, d, e and f) in the same column that the values are significant different P<0.05

อุณหภูมิที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งค่อนข้างคงที่ เนื่องจากระบบกลไกการทำงานของไมโครเวฟจะสร้างความร้อนในการอบแห้งด้วยภาวะคงที่ ส่งผลให้อุณหภูมิคงที่ ความชื้นของกระชายดำจะเข้าสู่ความชื้นสุดท้ายอย่างรวดเร็วและสิ้นสุดการอบแห้ง ซึ่งกระบวนการอบแห้งแบบนี้เรียกว่าการอบแห้งแบบคงที่ (Constant rate period) เมื่อพิจาณาระบวนการอบแห้งในการวิจัยครั้งนี้ จะพบว่า การอบแห้งแบบอัตราลดลง (Falling rate period) จะไม่เกิดขึ้นในการอบแห้งโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน สีของกระชายดำที่ได้จากการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ค่าสีความสว่าง (L*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ P<0.05 นั่นคือ เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนมีผลต่อค่าความสว่าง (L*) ของกระชายดำ โดยเฉพาะเงื่อนไข MW100W+HA40°C ดังนั้น อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจึงเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของสีความสว่าง (L*) ในการอบแห้งกระชายดำ การอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ค่าสีแดง (a*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ P<0.05 นั่นคือ เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนมีผลต่อค่าสีแดง (a*) ของกระชายดำ โดยเฉพาะเงื่อนไข MW100W+HA50°C และMW180W+HA40°C ดังนั้น อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจึงเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของสีแดง (a*) ในการอบแห้งกระชายดำ และการอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ค่าสีเหลือง (b*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ P<0.05 และจาก Table 1 ยังพบว่าค่าสีเหลือง (b*) จะมีความสอดคล้องกับค่าความสว่าง (L*) กล่าวคือ ค่า (b*) เพิ่ม ส่งผลให้มีแนวโน้มของค่า (L*) เพิ่มขึ้นตาม และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนมีผลต่อค่าสีเหลือง (b*) ของกระชายดำ โดยเฉพาะเงื่อนไข MW100W+HA50°C และMW180W+HA60°C ดังนั้น อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจึงเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของค่าสีเหลือง (b*) ในการอบแห้งกระชายดำ

การหดตัวของกระชายดำมีค่าต่ำสุดในเงื่อนไขการอบแห้ง MW450W+HA60°C มีค่าหดตัว ร้อยละ 31.10 สาเหตุเนื่องจากระดับกำลังวัตต์ไมโครเวฟสูง จะมีผลทำให้ร้อยละการหดตัวของกระชายดำอบแห้งน้อยกว่ากำลังวัตต์ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ กฤษณ์ และคณะ[17] ซึ่งพบว่าเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของระดับกำลังไมโครเวฟในการอบแห้ง และจะเห็นได้ชัดเจนว่าระดับกำลังไมโครเวฟที่สูงมีแนวโน้มทำให้ร้อยละการหดตัวของเนื้อลำไยอบแห้งน้อยกว่าระดับกำลังไมโครเวฟที่ต่ำ

การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดที่เงื่อนไข MW450W+HA60°C มีค่ากำลังจำเพาะเท่ากับ 7.35 kWh/kg เนื่องจากระดับกำลังไมโครเวฟสูง จะส่งผลให้ใช้เวลาน้อยในการอบแห้งและสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อย เมื่อพิจารณาความแตกต่างของระดับกำลังไมโครเวฟที่ใช้ในการอบแห้ง จะพบว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับกำลังไมโครเวฟสูงจะมีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่าระดับกำลังไมโครเวฟที่ต่ำ ดังแสดงใน Table 1

สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาผลของการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน ที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อุณหภูมิของผิว สี การหดตัวและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ พบว่าเทคโนโลยีนี้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งแบบทั่วไป อุณหภูมิมีแนวโน้มคงที่ และอุณหภูมิการอบแห้งที่แตกต่างกัน จะทำให้สีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าค่าสีเหลือง (b*) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ P<0.05 ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจึงเป็นสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของสีในกระชายดำ อิทธิพลของระดับกำลังไมโครเวฟที่สูงจะมีผลทำให้ร้อยละการหดตัวของกระชายดำอบแห้งน้อย และสิ้นเปลืองพลังงานน้อย สำหรับการศึกษาในครั้งต่อไปจะต้องควบคุมอุณหภูมิผิวในการอบแห้ง คาดว่าจะส่งผลดีต่อคุณภาพของการชายดำ เพราะเป็นการควบคุมอุณหภูมิในการอบแห้งให้สม่ำเสมอตลอดการอบแห้ง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ต่างๆในการทำวิจัยการอบแห้งกระชายดำด้วยไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อน จนสำเร็จสมบูรณ์ และสุดท้ายผู้วิจัยขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเลยที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินโครงการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานเกษตรจังหวัดเลย ข้อมูลผลผลิตเฉลี่ยและต้นทุนการผลิต-กระชายดำ ห้องสมุดดิจิทัลเกษตรไทย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ “กระชายดำ“ 2546.
2. เสริมสกุล พจนการุณ, ไชยยง รุจจนเวท. ความสัมพันธ์ระหว่างสีของเนื้อเหง้ากระชายดำกับฤทธิ์ต้านการเกิดอนุมูลอิสระ. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น 2547; 32: 270-277.

3. กรมวิชาการเกษตรระบบข้อมูลทางวิชาการ. กระชายดำ. สืบค้นจาก URL: http://www.it.doa.go.th.19 พฤษภาคม 2558.
4. เขาค้อไทยแลนด์ดอทคอม. (2558). กระชายดำ. สืบค้นจาก URL: http://www.khaokhothailand.com/krachaid-am.html 3 สิงหาคม 2558.
5. Meena P, Wongpakdee S, Pholkho A, Setwong S. Development of a black galingale dryer using biomass working together with a CLOHP/ CV heat exchanger. J Sci Techno MSU 2013; 33: March-April 2014.
6. Meena P, Rittidech S, Poomsa N. Application of Close-looped oscillating heat-pipe with check valves (CLOHP/CVs) air-pre heater for reduced relative humidity in drying systems. Applied Energy 2007; 84: 553-564.
7. Qing WZG, Jing B, Juan L, Hong L. Comparative Study of the characteristics of oil shale with hot air drying and microwave drying. Energy Procedia 2012; 17: 884 - 891.
8. กฤษณ์ ศรีสุริยะธาดา, จาฏวัจน์ พันพาล, ดามร บัณฑุรัตน์. “เตาอบสุญญากาศสำหรับอบแห้งกระชายดำ” วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 2546; 34: 116-118.
9. Zhang M, Tang J, Mujumdar AS, Wang S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. Trends Food Sci Techno 2006; 17: 524 - 534.
10. Mujumdar AS. Drying Technology in Agriculture and Food Sciences. Science Publishers, Inc., Enfield (NH), USA 2000.
11. Sutar PP, Prasad S. Modeling microwave vacuum drying kinetics and moisture diffusivity of carrot slices. Dry Techno 2007; 25: 1695 - 1702.
12. Maskan M. Drying shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. J Food Eng 2001; 48: 177-182.
13. Datta AK, Anantheswaran RC. Handbook of microwave technology for food applications. Marcel Dekker, New York-Basel 2001.
14. Varith J, Dijkanarukkul P, Achariyaviriya A, Achariyaviriya S. Combined microwave-hot air drying of peeled longan. J Food Eng 2007; 81: 459 - 468.
16. Xiaoyong S, Luming C. Study of Iron Yam-Chip (*Dioscoreaoppositа*Thunb. cv. Tiegun) Dehydration Using Far-Infrared Radiation Assisted Heat Pump Drying. J Food and Nutri Research 2015; 3: 20 - 25.
17. Soysal Y. Microwave drying characteristics of parsley. Biosyst Eng 2004; 89: 167-173.
18. กฤษณ์ อภิญญาวิศิษฐ์ อดิศักดิ์ นาถกรณกุล และ สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. การอบแห้งลำไยด้วยไมโครเวฟแบบเป็นช่วงร่วมกับลมร้อน.วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 2555; 43: 147-150.