การอบแห้งเนื้อลำไยด้วยไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศ

Microwave-Vacuum Drying of Peeled Longan

สุวิทย์ แพงกันยา*, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และอดิศักดิ์ นาถกรณกุล
สายวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถ.ประชาอุทิศ เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 โทร 0-2470-8623 โทรสาร 0-2470-8623 E-mail: suwit_energy@hotmail.com

Suwit Paengkanya*, Somchart Soponronnarit and Adisak Nathakaranakule
School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi
126 Prachautit Rd., Tungku, Bangkok 10140 Thailand Tel: 0-2470-8623 Fax: 0-2470-8623 E-mail: suwit_energy@hotmail.com

บทคัดย่อ

ลำไยเป็นผลไม้รสหวาน มีลักษณะเป็นทรงกลมและเบี้ยว ที่มีมูลค่าการส่งออกในส่วนของลำไยอบแห้งประมาณ 60 ล้านเหรียญสหรัฐต่อปี การอบแห้งลำไยโดยทั่วไปใช้การอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งมีข้อเสียคือใช้เวลาอบแห้งนาน และสูญเสียคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการอบแห้งทางเลือกที่ใช้ไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศในการอบแห้งลำไยพันธุ์ดอจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 500-670 % มาตรฐานแห้ง (83-86 % มาตรฐานเปียก) จนได้ความชื้นสุดท้ายที่ 20 % มาตรฐานแห้ง (18 % มาตรฐานเปียก) โดยศึกษาผลกระทบของกำลังไมโครเวฟ 240 และ 270 W และระดับความดันสุญญากาศในช่วง 100-300 mbar ที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งลำไยและคุณภาพของลำไยทางด้านสี การหดตัว และเนื้อสัมผัส จากการศึกษาพบว่า อัตราการอบแห้งของลำไยเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้นและความดันสุญญากาศต่ำลง โดยกำลังไมโครเวฟที่เปลี่ยนแปลงไปจะมีผลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าระดับความดันสุญญากาศ กำลังไมโครเวฟที่สูงและระดับความดันสุญญากาศที่ต่ำทำให้ลำไยเปลี่ยนแปลงสีน้อยกว่าที่กำลังไมโครเวฟต่ำและระดับความดันสุญญากาศที่สูง และมีแนวโน้มที่จะส่งผลต่อการหดตัว ความแข็ง และความหยุ่นตัวที่ลดลง ลำไยที่อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 270 W ความดันสุญญากาศ 100 mbar จะให้ลำไยสีเหลืองทอง การหดตัว ความแข็งและความหยุ่นตัวน้อยที่สุด

คำสำคัญ: ไมโครเวฟ/สุญญากาศ/การอบแห้ง/ลำไย/คุณภาพ

Abstract

Longan is a sweet fruit with nearly spherical shape and has annually exported values of around 60 million US$ for its dried product. A hot air drying is commonly a technique for producing dried longan. Due to some disadvantages of this hot air drying technique in long drying time and final product's quality deterioration, microwave drying under vacuum pressure was proposed as an optional technique in this study for drying longan from an initial moisture content of approximately 500-670 %d.b. (83-86 %w.b.) to the final moisture content of 20 %d.b. (18 %w.b.). The effects of a microwave power and vacuum pressure on drying kinetics and qualities of dried longan were studied in the range of 240-270 W and 100-300 mbar respectively. The drying kinetics and qualities of dried longan; in terms of color, shrinkage and texture. The experimental results showed that drying rate of longan increased with an increase of microwave power and a decrease of vacuum pressure. The change in microwave power had more effective to the drying rate than the change in vacuum pressure. High microwave power and low vacuum pressure gave dried longan with less color change than at low microwave power and high vacuum pressure, and also had a trend to decrease shrinkage, hardness and toughness of dried longan. Under microwave at 270 W and 100 mbar condition, dried longan had a golden yellow color and tended to have the least shrinkage, hardness and toughness.

Keywords: Microwave/Vacuum/Drying/Longan/Quality

1. บทนำ

ลำไยเป็นผลไม้กึ่งเมืองร้อน มีลักษณะเป็นทรงกลมและเบี้ยว เก็บเกี่ยวได้ตามฤดูกาลในช่วงระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน แหล่งปลูกลำไยที่สำคัญได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย พะเยา

น่าน ลำปาง และแพร่ ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกลำไยรายใหญ่ของโลก มูลค่าการส่งออกปีละกว่า 4,500 ล้านบาท จากข้อมูลสถิติการส่งออกของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร [1] ในปี พ.ศ. 2551 พบว่ามีการส่งออกในรูปลำไยสด-แช่เย็น มีปริมาณ 168,633 ตัน (มูลค่า 2,630.2 ล้านบาท) ลำไยบรรจุภาชนะอัดลม มีปริมาณ 26,129 ตัน (มูลค่า 588.2 ล้านบาท) และลำไยอบแห้ง มีปริมาณ 91,568 ตัน (มูลค่า 1,832.6 ล้านบาท) ตลาดที่สำคัญได้แก่ สาธารณะรัฐประชาชนจีน อินโดนีเซีย ฮ่องกง และสหรัฐอเมริกา เนื่องจากลำไยเป็นผลไม้ที่เน่าเสียได้ง่าย มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น ทำให้ลำไยมีคุณภาพไม่ดี จึงมีการนำลำไยมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ การอบแห้งลำไยเป็นกระบวนการแปรรูปลำไยสดให้มีมูลค่าของลำไยเพิ่มขึ้นและเก็บรักษาไว้ได้นาน ซึ่งการอบแห้งที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ การใช้ลมร้อน [2] เนื่องจากมีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับวิธีอื่นและยังสามารถหาแหล่งความร้อนได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือใช้เวลาในการอบแห้งนาน [3] เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำเพื่อรักษาคุณภาพด้านสี กลิ่น และรูปร่างให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค [4] ส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก และการกระจายของลมร้อนมักจะไม่ทั่วถึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่บริเวณต่าง ๆ แห้งไม่เท่ากัน โดยผลิตภัณฑ์ที่บริเวณทางเข้าของลมร้อนจะแห้งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่อยู่บริเวณทางออก

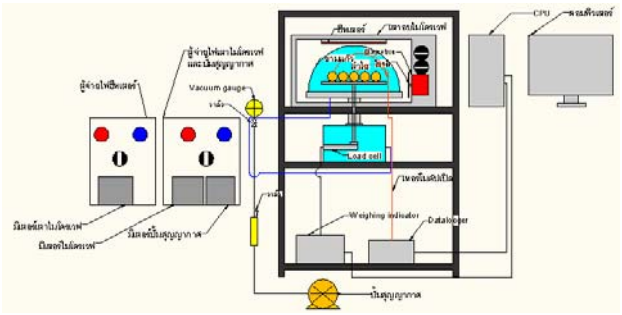
การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศสามารถประยุกต์ใช้แทนการอบแห้งแบบแช่แข็ง (Freeze Drying) ได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งจะมีความสามารถในการคืนตัว (Rehydration) ในน้ำอุ่นได้ดีกว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งด้วยลมร้อน [5] มีสีที่สว่างมากกว่า สีแดงอ่อนกว่า และสีเหลืองเข้มกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้ความดันบรรยากาศ [6] การอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศสามารถอบแห้งได้ที่อุณหภูมิต่ำและใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้นลง การกระจายของความชื้นในผลิตภัณฑ์มีความสม่ำเสมอ และมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูง เมื่อเปรียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนทั่วไป [7, 9, 10] ทั้งนี้เนื่องจากไมโครเวฟสามารถถูกดูดกลืนโดยน้ำในชิ้นวัสดุชื้นได้ดี การอบแห้งแบบนี้สามารถคงคุณค่าทางโภชนาการ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความสะอาด เพราะไม่มีฝุ่นเข้ามาเกี่ยวข้องเหมือนกับการอบแห้งด้วยลมร้อน [8] แต่มีข้อเสียคือ การกระจายของพลังงานที่ไม่สม่ำเสมอในเตา [6] ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้งวัสดุด้วยไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศคือ ความหนาของชิ้นวัสดุ [11-12] น้ำหนักของชิ้นวัสดุ (Load mass) [7, 11, 13] ตำแหน่งของวัสดุที่อยู่ในเตาไมโครเวฟ [6] ระดับกำลังไมโครเวฟ [7-9, 12-15] และความดัน [16] โดยความดันมีผลกระทบน้อยมาก [5]

จากข้อดีของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศที่กล่าวมาในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะนำวิธีการอบแห้งดังกล่าวมาใช้ในการอบแห้งผลไม้ ซึ่งน่าจะได้ผลดีเนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีความชื้นเริ่มต้นสูง

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 อุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

เครื่องอบแห้งที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ดัดแปลงพัฒนาเพิ่มเติมจากงานวิจัยของพูนพัฒน์ พูนน้อย [17] ประกอบด้วยเตาอบไมโครเวฟ ยี่ห้อ Whirlpool รุ่น XT-25MG/S ขนาดความจุ 25 ลิตร ความถี่คลื่นไมโครเวฟ 2,450 MHz กำลังไฟฟ้าจ่ายออก (Output) สูงสุด 900 W และ ฮีตเตอร์ (Heater) ขนาด 1,000 W โหลดเซลล์ รุ่น 1022 ต่อกับ Weighing Indicator รุ่น AD-4329 ความละเอียด 0.001 kg เกจวัดความดันสุญญากาศ เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ ยี่ห้อ YOGOKAVA รุ่น MW 100 เทอร์คัปเปิล ชนิด K ปั๊มสุญญากาศแบบ Rotary Vane ยี่ห้อ Elmo Rietschle รุ่น R5-021 มีอัตราการไหล 21 m^3/h สามารถดูดออกอากาศได้ต่ำสุด 2 mbar ขนาดของมอเตอร์ 0.75 kW ใช้กับระบบไฟฟ้า 1 Ph 220V 50Hz ตู้จ่ายไฟให้กับไมโครเวฟ และฮีทเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศ (ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ พูนพัฒน์ พูนน้อย [17])

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำลำไยสดพันธุ์ดอขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25.0±1 mm แกะเอาเปลือกออกแล้วคว้านเมล็ดออกเหลือเฉพาะเนื้อจำนวน 180±1 g ล้างน้ำให้สะอาด ทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ นำไปวางเรียงในเตาอบไมโครเวฟ ในลักษณะคว่ำขั้วผลลง วางไม่ให้ซ้อนทับกัน จากนั้นใช้ชามแก้ววางครอบ เปิดปั๊มสุญญากาศแล้วปรับวาล์วให้ได้ระดับสุญญากาศตามที่กำหนด ความชื้นเริ่มต้นของเนื้อลำไยมีค่าประมาณ 500-670 % มาตรฐานแห้ง (83-86 % มาตรฐานเปียก) อบจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 20 % มาตรฐานแห้ง (18 % มาตรฐานเปียก) หลังจากอบเนื้อลำไยเสร็จแล้วนำมาบรรจุลงในถุงพลาสติก เก็บไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 2-5°C เพื่อที่จะนำไปทดสอบคุณภาพต่อไป

2.3 วิเคราะห์คุณภาพเนื้อลำไยหลังการอบแห้ง

2.3.1 การทดสอบคุณภาพด้านสี

การทดสอบคุณภาพด้านสีของเนื้อลำไยหลังการอบแห้ง โดยใช้เครื่องมือวัดสีและสเปกตรัม (Spectrophotometer) ยี่ห้อ HunterLab รุ่น ColorFlex ก่อนการวัดทุกครั้งจะต้องปรับเทียบอุปกรณ์กับแผ่นสีขาวมาตรฐาน (White Blank Luminant D65 10°, L*= 93.19, a* = -1.12, b* = 1.33) ค่าสี L* คือ ความสว่าง (Lightness) ของวัตถุ โดยค่า L* เท่ากับ 100 แสดงว่าวัตถุมีสีขาว ค่า L*เท่ากับ 0 แสดงว่าวัตถุมีสีดำ a* คือ ค่าที่แสดงถึงสีแดงและสีเขียวของวัตถุ ถ้าค่า a* เป็นบวก (+) แสดงว่าวัตถุเป็นสีแดงและถ้าค่า a* เป็นลบ (-) แสดงว่าวัตถุเป็นสีเขียว b* คือ ค่าที่แสดงถึงสีเหลืองและสีน้ำเงินของวัตถุ ถ้า b* เป็นบวก (+) แสดงว่าวัตถุเป็นสีเหลือง ถ้าค่า b* เป็นลบ (-) แสดงว่าวัตถุเป็นสีน้ำเงิน โดยวัดทั้งหมด 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยซึ่งจะได้ค่าสีของเนื้อลำไยอบแห้ง

2.3.2 การทดสอบคุณภาพด้านการหดตัว

การทดสอบคุณภาพด้านการหดตัวของเนื้อลำไย อาศัยหลักการแทนที่ปริมาตรของเนื้อลำไยในของเหลว n-heptane [$CH_3(CH_2)_5CH_3$]

ความหนาแน่น 0.684 g/cm^3 โดยเนื้อลำไยที่นำมาทดสอบจะมีทั้งเนื้อลำไยสดและเนื้อลำไยหลังการอบแห้ง [4] ใช้เครื่องชั่งดิจิตอล ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP 3202S อ่านค่าความละเอียดได้ 0.001 g การหดตัว (Shrinkage) ของเนื้อลำไยคำนวณได้ดังสมการ

$$\%\text{Shrinkage} = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ V_0 คือ ปริมาตรของเนื้อลำไยสด, cm^3

V คือ ปริมาตรของเนื้อลำไยหลังการอบแห้ง, cm^3

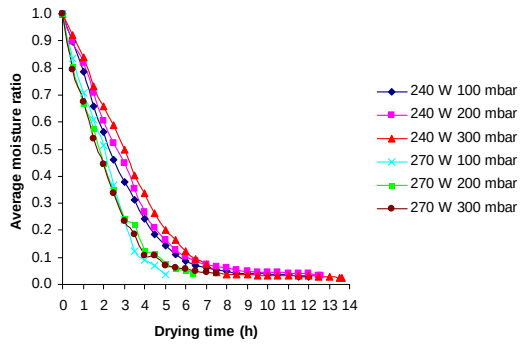
2.3.3 การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อลำไยหลังการอบแห้ง ได้แก่ ความหยุ่นตัวและความแข็ง ใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT.plus (Stable Microsystems Texture Technologies Inc., UK) มีค่าความถูกต้อง 0.001 N โดยใช้หัวกดทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm ความเร็วในการกดเท่ากับ 30 m/s ปรับค่า Threshold Force เท่ากับ 30 g ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง ส่วนค่าความหยุ่นตัวจะได้จากการหาความสัมพันธ์พื้นที่ใต้กราฟระหว่างการเปลี่ยนรูป (Deformation) กับค่าแรงสูงสุด (Peak Force) ที่กระทำบนชิ้นทดสอบ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 จลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเนื้อลำไย

ผลการอบแห้งลำไยหนัก 180±1 g ด้วยไมโครเวฟที่ระดับกำลัง 240 และ 270 W และระดับความดันสุญญากาศ 100, 200 และ 300 mbar โดยที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 500-670 %มาตรฐานแห้ง (83-86 %มาตรฐานเปียก) ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่า อัตราอบแห้งของลำไยที่กำลังไมโครเวฟ 270 W มีค่าสูงกว่าที่กำลังไมโครเวฟ 240 W ทุกระดับความดัน เนื่องจากเนื้อลำไยได้รับพลังงานมากกว่าที่กำลังไมโครเวฟสูง ทำให้อุณหภูมิของลำไยเพิ่มขึ้นสูงกว่าที่กำลังไมโครเวฟต่ำส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลที่ดีขึ้น ในขณะที่ระดับความดันสุญญากาศต่ำจะให้ค่าอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าที่ระดับความดันสุญญากาศสูง เนื่องจากที่ระดับความดันสุญญากาศต่ำน้ำในลำไยจะเดือดที่อุณหภูมิต่ำกว่าที่ระดับความดันสุญญากาศสูง ทำให้ความแตกต่างของความดันระหว่างความดันไอภายในเนื้อลำไยที่อบแห้งที่ระดับความดันสุญญากาศต่ำกับความดันไอรอบ ๆเนื้อลำไยมีค่าแตกต่างกันมากส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทมวลที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามระดับความดันสุญญากาศที่ลดลงมีผลต่ออัตราการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยที่กำลังไมโครเวฟสูง เนื่องจากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่กำลังไมโครเวฟสูงมีอิทธิพลต่ออัตราการถ่ายเทมวลภายในเนื้อลำไยมากกว่าความแตกต่างของระดับความดัน



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยกับเวลา

3.2 คุณภาพด้านสี

ผลการวัดสีของเนื้อลำไยทั้งก่อนและหลังการอบแห้ง (แสดงในตารางที่ 1) พบว่า ที่กำลังไมโครเวฟต่ำ (240 W) จะให้ค่าสี +L* (ความสว่าง) และ +b* (สีเหลือง) ต่ำกว่า แต่ +a* (สีแดง) สูงกว่าที่กำลังไมโครเวฟสูง (270 W) เนื่องจากการอบแห้งด้วยด้วยกำลังไมโครเวฟต่ำจะใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด ส่งผลทำให้เนื้อลำไยมีสีเข้มขึ้น ในขณะที่ระดับกำลังไมโครเวฟเดียวกัน ความดันสุญญากาศจะไม่ส่งผลต่อค่าสีของเนื้อลำไยมากนัก เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งไม่แตกต่างกันมากนัก โดยกำลัง 240 W ความดันสุญญากาศ 300 mbar มีค่าสีแดงสูงสุด

ตารางที่ 1 การวัดสีของลำไยก่อนและหลังการอบแห้ง[1]

	L*	a*	b*	เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)
ลำไยสด	55.88±0.77^{e}	-1.99±0.13^{a}	6.02±0.51^{a}	-
MW 240 W + 100 mbar	36.71±1.13^{ab}	5.20±1.23^{c}	20.92±1.64$^{b c}$	12
MW 240 W +200 mbar	35.25±3.18^{a}	4.09±0.53^{bc}	19.57±1.87^{b}	12.6
MW 240 W + 300 mbar	35.55±1.41^{a}	5.40±1.36^{c}	21.50±1.30$^{c d}$	13.6
MW 270 W + 100 mbar	41.61±1.80^{d}	3.19±0.58^{b}	22.98±1.21^{d}	5
MW 270 W +200 mbar	38.59±2.36^{bc}	3.30±1.30^{b}	21.23±0.71$^{b cd}$	6.3
MW 270 W + 300 mbar	40.62±1.82^{cd}	4.14±1.77^{bc}	22.69±1.12$^{c d}$	7.5

[1] อักษรที่อยู่คอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันจะไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ p = 0.05

3.3 การหดตัว

ผลการวิเคราะห์การหดตัวของเนื้อลำไยหลังการอบแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า เนื้อลำไยที่อบด้วยไมโครเวฟที่ทุกระดับกำลังทุกระดับความดันไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มของการหดตัวแสดงให้เห็นว่าที่กำลัง 270 W ความดันสุญญากาศ 100 mbar ให้ค่าการหดตัวต่ำที่สุด ส่วนการอบด้วยไมโครเวฟที่ระดับกำลัง 240 W ความดันสุญญากาศ 300 mbar ให้ค่าการหดตัวสูงที่สุด เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด การระเหยของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์ช้ามาก ค่อยเป็นค่อยไป และเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องมากกว่าที่ระดับกำลังไมโครเวฟสูง ๆ ทำให้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีการหดตัวสูงที่สุด

ตารางที่ 2 การหดตัวของเนื้อลำไยอบแห้ง[1]

Drying method	Shrinkage (%)
MW 240 W +100 mbar	81.13±2.82^{a}
MW 240 W +200 mbar	81.46±2.34^{a}
MW 240 W +300 mbar	82.25±0.53^{a}
MW 270 W +100 mbar	80.20±0.28^{a}
MW 270 W +200 mbar	80.55±0.61^{a}
MW 270 W +300 mbar	80.80±1.10^{a}

[1] อักษรที่อยู่คอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันจะไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ p = 0.05

3.4 คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส

การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสของเนื้อลำไยหลังการอบแห้งในการทดลองนี้ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) และความหยุ่นตัว

(Toughness) ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า ลำไยที่อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 270 W ความดันสุญญากาศ 100 mbar มีแนวโน้มให้ค่าความแข็งและความหยุ่นตัวของเนื้อลำไยอบแห้งต่ำที่สุด ส่วนที่กำลังไมโครเวฟ 240 W ความดันสุญญากาศ 300 mbar มีแนวโน้มให้ค่าความแข็งและความหยุ่นตัวสูงสุด เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด ความชื้นภายในเนื้อลำไยระเหยออกมาอย่างช้าๆ ทำให้เกิดการหดตัวมากกว่าการอบแห้งแบบอื่น

ตารางที่ 3 ความแข็งและความหยุ่นตัวของเนื้อลำไยอบแห้ง[1]

Drying method	Hardness (N)	Toughness (N-mm)
MW 240 W +100 mbar	19.15±2.86^{a}	92.27±5.98^{bcd}
MW 240 W +200 mbar	19.27±3.76^{a}	96.69±2.63^{cd}
MW 240 W +300 mbar	19.41±3.92^{a}	98.95±6.31^{d}
MW 270 W +100 mbar	15.86±5.37^{a}	83.56±10.06^{a}
MW 270 W +200 mbar	16.27±1.40^{a}	87.50±2.85^{ab}
MW 270 W +300 mbar	17.11±0.93^{a}	89.78±2.97^{abc}

[1] อักษรที่อยู่คอลัมน์เดียวกันที่เหมือนกันจะไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติที่ p = 0.05

4. สรุป

ผลการทดลองการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศแสดงให้เห็นว่าการนำรังสีไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งร่วมกับภายใต้ความดันสุญญากาศช่วยให้ลดเวลาการอบแห้งลง โดยอัตราการอบแห้งลดลงเมื่อระดับของกำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้นและความดันสุญญากาศต่ำลง โดยระดับกำลังของไมโครเวฟมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าระดับความดันสุญญากาศ จากการวิเคราะห์คุณภาพทางด้านสี การหดตัว และเนื้อสัมผัส พบว่า ที่กำลังไมโครเวฟ 270 W ความดันสุญญากาศ 100 mbar จะให้สีของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีเหลืองทอง ซึ่งมีค่าสีแดงน้อยที่สุด และมีแนวโน้มให้ค่าการหดตัว ความแข็ง และความหยุ่นตัวที่มีค่าน้อยที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยการสนับสนุนของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และสำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน [Online], Available: http://www.oae.go.th [3 เมษายน 2552], 2552.
2. สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, “การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท”, หนังสือในโครงการส่งเสริมการสร้างตำรามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พิมพ์ครั้งที่ 7, 338 หน้า, 2540.
3. อาคม ไชยนา, ณัฐพล ภูมิสะอาด, กิตติศักดิ์ วิธินัทกิตต์ และละมุล วิเศษ, “การอบแห้งฝักถั่วลิสงด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ”, วารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 38, ฉบับที่ 5 (พิเศษ), หน้า 341-344, 2550.
4. เพชรรัตน์ ใจบุญ, “การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งลำไยด้วยเทคนิคแบบต่าง ๆ”, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,150 หน้า, 2549.
5. Drouzas, A.E. and Schubert, H., 1996, “Microwave Application in Vacuum Drying of Fruits”, Journal of Food Engineering, Vol. 28, pp. 203-209.
6. Drouzas, A.E., Tsami, E. and Saravacos, G. D., “Microwave/Vacuum Drying of Model Fruit Gels”, Journal of Food Engineering, Vol. 39, pp. 117-122, 1999.
7. Hu, Q.-G., Zhang, M., Mujumdar, A.S., Xiao, G.-N. and Sun, J.-C., “Drying of Edamames by Hot Air and Vacuum Microwave Combination”, Journal of Food Engineering, Vol. 77, pp. 977-982, 2006.
8. เหมการ์ จินดาวัฒนภูมิ, “การศึกษาแบบจำลองการทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟกับพริกไทย”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 117 หน้า, 2545.
9. Cui, Z.-W., Xu, S.-Y. and Sun, D.-W., “Microwave-Vacuum Drying Kinetics of Carrot Slices”, Journal of Food Engineering. , Vol. 65, pp. 157-164, 2004.
10. Alibas, I., “Energy Consumption and Colour Characteristics of Nettle Leaves during Microwave, Vacuum and Convective Drying”, Biosystems Engineering, Vol. 96, pp. 495-502, 2007.
11. Wang, J. and Xi, Y.S., “Drying Characteristics and Drying Quality of Carrot Using a Two-Stage Microwave Process”, Journal of Food Engineering, Vol. 68, pp. 505-511, 2004.
12. ฤทธิไกร งามชุ่ม, ‘การอบแห้งกล้วยหอมหั่นบางด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล’, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 97 หน้า, 2547.
13. Mitra, P. และ Meda, V., “Optimization of Microwave-Vacuum Drying Parameters of Saskatoon Berries Using Response Surface Methodology”, Drying Technology, Vol. 27, pp. 1089-1096, 2009.
14. คำนึง วาทโยธา, “การอบแห้งชิ้นมันสำปะหลังด้วยไมโครเวฟและลมร้อน”, ผลงานวิจัยโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ปี 2545-2546, หน้า 91-94, 2548.
15. Wang, Z.-F., Fang, S.Z. and Hu, X.S., “Effective Diffusivities and Energy Consumption of Whole Fruit Chinese Jujube (*Zizyphus jujuba Miller*) in Microwave Drying”, Drying Technology, Vol. 27, pp. 1097-1104, 2009.
16. Alibas, I., “Microwave, Vacuum, and Air Drying Characteristics of Collard Leaves”, Drying Technology, Vol. 27, pp. 1266-1273, 2009.
17. Poonnoy, P., Using Artificial Network Approach for Modeling of Microwave-Vacuum Drying of Plant Materials, Thesis for the Degree of Doctor of Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, pp. 1-86, 2006.