

ผลของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของเนื้อลำไย

ไผ่แดง ขวัญใจ* และ สุวลี พองอินทร์

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา
19 หมู่ 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

รับบทความ 23 มีนาคม 2565 แก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2565 ตอรับบทความ 9 กุมภาพันธ์ 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300 และ 450 วัตต์ เป็นเวลา 3.6 และ 9 นาที ตามลำดับ ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง ต่อคุณลักษณะทางกายภาพและเคมี รวมถึงคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อลำไย พบว่าปริมาณความชื้นในเนื้อลำไยอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนลดลงได้รวดเร็วกว่าวิธีการอบแห้งแบบดั้งเดิม (อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง) เนื้อลำไยอบแห้งตัวอย่างควบคุม และเนื้อลำไยอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ เป็นเวลา 6 หรือ 9 นาที ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานลำไยอบแห้ง ส่วนเนื้อลำไยผ่านการอบแห้งที่สภาวะอื่น ๆ จัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (IMF) การใช้กำลังไฟฟ้าไมโครเวฟที่ 450 วัตต์ ความแข็งของเนื้อลำไยสูงกว่าการใช้กำลังไมโครเวฟ 300 วัตต์ และพบว่าการลดลงของค่าความสว่าง (L^*) หรือการเพิ่มขึ้นของค่าความเป็นสีแดง (a^*) และดัชนีการเกิดสีน้ำตาลในเนื้อลำไยอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่ 450 วัตต์ เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ใช้เอนไซม์และไม่ใช้เอนไซม์หลังกระบวนการอบแห้ง นอกจากนี้ ผู้ทดสอบส่วนใหญ่พึงพอใจต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อลำไยอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่ 450 วัตต์ เป็นเวลา 9 นาที ที่ตามด้วยเวลาอบแห้งด้วยลมร้อนนาน 6 ชั่วโมง การอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 450 วัตต์ (9 นาที) และตามด้วยอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง สามารถลดระยะเวลาอบแห้งลงได้ถึงร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง โดยที่ยังคงเป็นที่ยอมรับในการผลิตเนื้อลำไยผ่านการอบแห้ง

คำสำคัญ : ลำไย; ไมโครเวฟ; การอบแห้งด้วยลมร้อน; การยอมรับทางประสาทสัมผัส

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 9705 1849, อีเมล: paidaeng.kh@up.ac.th

Effect of Microwave Drying and then Hot-Air Drying on Quality of Longan Flesh

Paidaeng Khwanchai* and Suwalee Fong-In

Division of Food Science and Technology, School of Agriculture and Natural Resources,
University of Phayao

19 Moo 2 Tambon Maeka Amphur Muang Phayao 56000

Received 23 March 2022; Revised 20 December 2022; Accepted 9 February 2023

Abstract

The effect of microwave power at 300 and 450 W for 3, 6 and 9 min followed by hot air drying with temperature of 65 °C for 6 and 8 h on the physical and chemical properties as well as consumer acceptability of flesh longan was investigated. It was found that the moisture content in the dried longan flesh using microwave drying followed by hot air convective drying was faster than the hot air drying alone at 65 °C for 10 h. Longan flesh with hot air at 65 °C for 10 hours and longan flesh with microwave at 450 W for 6 or 9 min followed by hot air at 65 °C for 8 h were obtained the dried longan standard criteria, while other drying conditions of dried longan flesh products were in the range of intermediate moisture food (IMF). The hardness of longan flesh at 450 W was higher than that of dried longan flesh at 300 W. The loss of lightness (L^* parameter) or the increase of redness (a^* parameter) and browning index in dried longan flesh at 450 W could be associated with the increase of enzymatic and non-enzymatic browning reactions after drying process. Panelists were most satisfied with sensory qualities of the dried longan flesh using microwave power 450 W for 9 min followed by hot air drying for 6 h. It was indicated that drying at 450 W (for 9 min) and hot air drying for 6 h was acceptable for the production of dried longan flesh. Moreover, compared to the 65 °C hot air drying, microwave followed by hot air-drying process reduced drying time by 40%.

Keywords : Longan; Microwave; Hot air drying; Sensory acceptability

* Corresponding Author. Tel.: +668 9705 1849, E-mail Address: paidaeng.kh@up.ac.th

1. บทนำ

ลำไยจัดเป็นพืชในตระกูล Sapindaceae ปลูกแพร่หลายในประเทศไทย จีน พม่า เวียดนาม และฟิลิปปินส์ ลำไยเป็นที่นิยมบริโภคกันมากทั้งชาวไทยและชาวต่างประเทศ [1], [2] เป็นไม้ผลเศรษฐกิจของประเทศไทยที่เป็นสินค้าส่งออกของประเทศ ข้อมูลจากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร รายงานสถิติการส่งออกลำไยสดในปี พ.ศ.2564 มีมูลค่าถึง 23,133 ล้านบาท ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกรวมทั้งสิ้นประมาณ 1,581,590 ไร่ ให้ผลผลิตประมาณ 1,181,607 ตัน ความต้องการการใช้ลำไยของประเทศไทยแบ่งได้ 4 ลักษณะคือ การบริโภคสดภายในประเทศ ลำไยอบแห้ง ลำไยกระป๋อง และลำไยแช่แข็ง [3] การส่งออกผลิตภัณฑ์ลำไยปริมาณ 156,685 ตัน คิดเป็นมูลค่าถึง 7,417 ล้านบาท ของการส่งออกลำไยแปรรูปในปี 2564 ได้จากการส่งออกลำไยอบแห้ง [4] โดยตลาดส่งออกส่วนใหญ่ในแต่ละปีส่งออกไปยังประเทศในแถบเอเชีย เช่น จีน (รวมถึงฮ่องกง) พื้นที่เพาะปลูกหลักสำหรับลำไย (มากกว่าร้อยละ 90 ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด) อยู่ในเขตภาคเหนือของประเทศไทย เช่น จังหวัดเชียงใหม่และลำพูน พันธุ์ที่นิยมปลูกกันอย่างแพร่หลายคือ พันธุ์ดอ เพราะมีปริมาณผลผลิตที่สูงและมีฤดูการเก็บเกี่ยวยาว โดยเริ่มต้นเก็บเกี่ยวในต้นเดือนมิถุนายนและสิ้นสุดในเดือนสิงหาคม รองลงมาคือพันธุ์สีชมพู พันธุ์เปี้ยวเขียว และพันธุ์แก้ว [4] ปัญหาลำไยสดล้นตลาดเกือบทุกปีส่งผลให้มีราคาต่ำและลำไยสดมีอายุการเก็บรักษาสั้นและเน่าเสียได้ง่าย การอบแห้งจึงเป็นมาตรการหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาลำไยสดล้นตลาด ปัจจุบันการผลิตและส่งออกลำไยอบแห้งได้ขยายตัวอย่างต่อเนื่องและกลายมาเป็นตลาดรองรับที่สำคัญสำหรับเกษตรกรผู้ปลูกลำไย สามารถช่วยเพิ่มมูลค่าของลำไยและสามารถเก็บไว้บริโภคคนนอกฤดูได้ กรรมวิธีการอบแห้งลำไยโดยทั่วไปมี 2 แบบคือ แบบแกะเปลือกอบเนื้อ และแบบอบทั้งเปลือก การอบแห้งลำไยที่อบเฉพาะเนื้อให้

คุณลักษณะที่ดีกว่าแบบที่อบทั้งเปลือก ทั้งทางด้านสี กลิ่น รูปร่าง ความสะอาด ความน่ารับประทาน สามารถรับประทานได้ทันที ประหยัดค่าใช้จ่ายในการอบแห้งและการขนส่ง เพราะใช้ระยะเวลาในการอบน้อยกว่า ได้น้ำหนักเนื้อมากกว่า [5]

การอบแห้งเนื้อลำไยด้วยลมร้อนโดยทั่วไปใช้เวลาค่อนข้างนานเนื่องจากใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำเพื่อรักษาคุณภาพด้านสี กลิ่น และรูปร่าง ให้เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะอยู่ระหว่าง 60-70 องศาเซลเซียส [5] ในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันมีงานวิจัยต่าง ๆ ที่ศึกษากรรมวิธีการอบแห้งลำไยด้วยเทคนิคอื่น ๆ ร่วมกับการใช้ลมร้อนเพื่อลดระยะเวลาในการอบแห้งลง และยังเป็นการช่วยลดความเสี่ยงพลังงานในระหว่างกระบวนการอบแห้งลง สำหรับเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการอบแห้งลำไยร่วมกับลมร้อน ได้แก่ กระบวนการอบแห้งลำไยโดยใช้รังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน [6], [7] การอบแห้งลำไยด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งในช่วงแรกและตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อน [8] กระบวนการอบแห้งลำไยด้วยไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน [9]-[11] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเหล่านี้ได้มุ่งเน้นศึกษาการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งลำไย โดยพัฒนาแบบจำลองให้สามารถทำนายการลดลงของความชื้น อุณหภูมิของตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งที่ออกจากเครื่องอบแห้ง และสมรรถนะการอบแห้ง แต่ยังขาดงานวิจัยที่ศึกษาผลของการใช้ไมโครเวฟอบแห้งก่อนตามด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของเนื้อลำไย

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาผลของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟในการให้ความร้อนแก่ลำไย ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของเนื้อลำไย โดยทำการตรวจสอบคุณลักษณะทางเคมีกายภาพ ได้แก่ ความชื้น สี และเนื้อสัมผัส รวมถึงการทดสอบทางประสาทสัมผัส

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ลำไยสดพันธุ์ดอ (*Dimocarpus longan* Lour) ซึ่งจากสวนลำไยในอำเภอเมือง จังหวัดพะเยา เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคม พ.ศ. 2564 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.0 ± 1 มิลลิเมตร นำมาแกะเปลือกแล้วควั่นเมล็ดออกเหลือแต่เนื้อ ล้างน้ำให้สะอาด เทน้ำออกโดยใช้ตะแกรง ทิ้งไว้เป็นเวลา 2-3 นาที

2.2 การศึกษาผลของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณภาพของเนื้อลำไย

นำเนื้อลำไยซึ่งน้ำหนักก่อนการอบแห้งปริมาณรวมรอบละ 450 กรัม โดยแบ่งใส่จาน จำนวน 9 จาน จานละประมาณ 50 กรัม นำเนื้อลำไยไปให้ความร้อนด้วยเตาไมโครเวฟ (รุ่น NE-1353 ยี่ห้อ Panasonic ประเทศญี่ปุ่น) ใช้กำลังไฟฟ้า 2 ระดับ ได้แก่ 300 และ 450 วัตต์ และระยะเวลา 3 ระดับ ได้แก่ 3 6 และ 9 นาที ตามลำดับ จากนั้นนำลำไยที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟมาอบแห้งต่อด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิง (รุ่น UFE500 ยี่ห้อ Memmert ประเทศเยอรมนี) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.5 เมตร/วินาทีเป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง นำลำไยที่ผ่านการอบแห้งไปวิเคราะห์คุณภาพและคุณลักษณะต่างๆ เปรียบเทียบกับตัวอย่างลำไยอบแห้งชุดควบคุม (Control) ที่เตรียมโดยอบแห้งเนื้อลำไยที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ด้วยตู้อบลมร้อนไฟฟ้าเครื่องเดียวกัน ซึ่งดัดแปลงสถานะอบแห้งจากการศึกษาของ Somjai et al. [5] ทุกสถานะทำการทดลองอบแห้ง จำนวน 3 ซ้ำ

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพเนื้อลำไย

2.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนซึ่งเป็นตัวอย่างควบคุม และเนื้อลำไย

ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยลมร้อนที่สภาวะต่าง ๆ ตามวิธีการของ AOAC [12] และรายงานเป็นความชื้นมาตรฐานเปียก

2.3.2 การวิเคราะห์ห่อหุ้มแอกติวิตี

วัดห่อหุ้มแอกติวิตีของเนื้อลำไยโดยใช้เครื่อง Water Activity Meter (รุ่น Series 4 TE ยี่ห้อ AQUA LAB ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยนำตัวอย่างเนื้อลำไยบดละเอียด ประมาณ 2.5 กรัม นำมาวัดค่า a_w แต่ละการวิเคราะห์ทำการวัดทั้งหมดจำนวน 3 ซ้ำ

2.3.3 การวิเคราะห์ค่าสี

วัดค่าสีของเนื้อลำไยผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องวัดสี Hunter Lab รุ่น ColorQuest XE ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยค่า L^* คือค่าความสว่างของสี ซึ่งมีค่า 0 – 100 โดยที่ 0 แสดงถึง สีดำ และ 100 แสดงถึงสีขาว ค่า a^* แสดงถึง สีแดง-สีเขียว ค่า b^* แสดงถึง สีเหลือง – น้ำเงิน จากนั้นนำมาคำนวณหาดัชนีการเกิดสีน้ำตาล (Browning Index; BI) ดังสมการ $BI = [100 (x - 0.31)] / 0.17$ เมื่อ $x = (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 0.3012b^*)$ ตามวิธีการของ Kasim and Kasim [13]

2.3.4 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส

การทดสอบคุณภาพด้านเนื้อสัมผัสหลังการอบแห้งเนื้อลำไย ได้แก่ ความแข็งและความยืดหยุ่น นำมาทดสอบโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer รุ่น TA.XT.plus (Stable Microsystems Texture Technologies Inc., UK) ค่าความถูกต้อง 0.001 N ทำการทดสอบในลักษณะของแรงกด หัวกดเป็นเหล็กสแตนเลสทรงกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัดกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm ความเร็วของหัวกด 30 mm/s และความเร็วยกกลับ 20 mm/s โดยทำการกดจนทะลุเนื้อลำไย บันทึกค่าแรงกดและการเปลี่ยนรูปด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Texture Exponent 32 อัตราการบันทึก 400 จุดต่อวินาที ค่าความแข็งหาได้จากค่าแรง

สูงสุดที่กระทำต่อชิ้นทดสอบ ส่วนค่าความยืดหยุ่นหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเปลี่ยนรูป (Deformation) กับค่าแรงสูงสุด (Peak Force) ที่กระทำต่อชิ้นทดสอบ

2.3.5 การทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีให้คะแนนความชอบแบบ 9 - Point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน ประเมินความชอบต่อลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม ที่มีต่อเนื้อลำไย โดยให้ผู้ทดสอบชิมแต่ละคนบันทึกระดับของความชอบของตัวเองอย่างเป็นคะแนนความชอบ 9 ระดับคือ ระดับที่ 9 ชอบมากที่สุด 8 ชอบมาก 7 ชอบปานกลาง 6 ชอบเล็กน้อย 5 รู้สึกเฉยๆ 4 ไม่ชอบเล็กน้อย 3 ไม่ชอบปานกลาง 2 ไม่ชอบมาก และ 1 ไม่ชอบมากที่สุด ตามลำดับ

2.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) สำหรับการวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีกายภาพ โดยวิเคราะห์คุณภาพด้านต่างๆ ของตัวอย่างทั้งหมด 3 ซ้ำ ส่วนการทดสอบทางประสาทสัมผัส วางแผนการทดลองแบบ Randomized Completed Block Design (RCBD) วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA ที่ระดับนัยสำคัญร้อยละ 95 จากนั้นเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) และ Paired t-test โดยใช้โปรแกรม SPSS รุ่นที่ 27.0

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอกติวิตีของเนื้อลำไย

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยผ่านการอบแห้ง พบว่าปริมาณความชื้นในแต่ละสภาวะการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ โดยปริมาณความชื้นของลำไยอบแห้งที่สภาวะต่าง ๆ มีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 15.22 ± 0.87 ถึง ร้อยละ 39.64 ± 0.65 (ตารางที่ 1) มาตรฐานลำไยอบแห้งโดยทั่วไปกำหนดปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งไว้ไม่เกินร้อยละ 18 และวอเตอร์แอกติวิตีต้องไม่เกิน 0.6 [14] จากผลการทดลองพบว่า สภาวะอบแห้งที่ปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอกติวิตีเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ได้แก่ 1) ตัวอย่างควบคุมที่อบแห้งด้วยลมร้อนนาน 10 ชั่วโมง 2) กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ นาน 6 นาที ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนนาน 8 ชั่วโมง และ 3) กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ นาน 9 นาที ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนนาน 8 ชั่วโมง วอเตอร์แอกติวิตีของเนื้อลำไยผ่านการอบแห้งสัมพันธ์กับความชื้นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.581 ± 0.016 ถึง 0.870 ± 0.014 ปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอกติวิตีของเนื้อลำไยผ่านการอบแห้งสอดคล้องกับ Somjai et al. [8] ที่มีค่าร้อยละ 16.42 และ 0.627 ตามลำดับ ขณะที่เนื้อลำไยสดมีปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอกติวิตีประมาณร้อยละ 80 และ 0.940 ตามลำดับ [15]

การใช้สภาวะการอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ นาน 9 นาที ตามด้วยอบแห้งด้วยลมร้อน 6 ชั่วโมง ให้ผลในการช่วยลดระยะเวลาอบแห้งได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ๆ (ตารางที่ 1) ลำไยที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยอบแห้งด้วยลมร้อนทำให้เกิดการระเหยน้ำได้ดีกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว เนื่องจากพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อลำไย ทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดการสั่นสะเทือนและโมเลกุลเกิดการชนกันเกิดเป็นพลังงานจลน์แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในที่สุด ส่งผลให้ความชื้นในเนื้อลำไยระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว [9] ดังนั้น การใช้ไมโครเวฟ

อบแห้งลำไยจึงช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้มากถึงร้อยละ 40 โดยที่ผลิตภัณฑ์ลำไยผ่านการอบแห้งไม่สูญเสียลักษณะที่ดีของเนื้อลำไย

สำหรับเนื้อลำไยผ่านการอบแห้งที่ไม่ได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานลำไยอบแห้ง [14] กล่าวคือปริมาณความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งเกินร้อยละ 18 และวอเตอร์แอคทิวิตีเกิน 0.6 Taoukis and Richardson [16] รายงานว่าผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งที่มีปริมาณความชื้นร้อยละ 15-40 และวอเตอร์แอคทิวิตีระหว่าง 0.6-0.8 นิยามว่าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (Intermediate Moisture Food; IMF) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เทคนิคทำให้แห้งบางส่วนสำหรับผลไม้ที่

มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่มาก (ลูกเกด ลูกพรุน มะเดื่อ แอปริคอต พีช อินทผลัม และแอปเปิล) โดยที่วัตถุดิบมีความชื้นตามธรรมชาติ และสามารถเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไว้ที่อุณหภูมิห้องได้ ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเนื้อลำไยอบแห้งในทุกสภาวะในการศึกษานี้จัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (เนื้อลำไยที่จัดเป็น IMF) ยกเว้น เนื้อลำไยอบแห้งชุดตัวอย่างควบคุม เนื้อลำไยอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ เป็นเวลา 6 หรือ 9 นาที ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง ที่จัดว่าเป็นผลิตภัณฑ์อาหารแห้ง เนื่องจากอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเนื้อลำไยอบแห้ง [14]

ตารางที่ 1 ปริมาณความชื้นและวอเตอร์แอคทิวิตีของเนื้อลำไยอบแห้งที่สภาวะการใช้กำลังไมโครเวฟตามด้วยลมร้อนแตกต่างกัน

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลาในการให้ความร้อนด้วย MW (นาที)	เวลาในการให้ความร้อนด้วยลมร้อน (ชั่วโมง)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	วอเตอร์แอคทิวิตี; a_w
Control		10	15.43±0.38 ^f	0.589±0.003 ^s
	3	6	39.64±0.65 ^a	0.870±0.014 ^a
	6	6	38.47±0.50 ^a	0.867±0.018 ^a
	9	6	32.28±0.55 ^b	0.858±0.005 ^a
300	3	8	20.57±0.44 ^{def}	0.785±0.021 ^c
	6	8	21.36±0.79 ^{de}	0.796±0.014 ^c
	9	8	17.52±0.69 ^{def}	0.692±0.020 ^e
	3	6	27.25±0.82 ^{bc}	0.843±0.004 ^b
450	6	6	22.57±0.34 ^{cd}	0.822±0.007 ^b
	9	6	18.16±0.42 ^{def}	0.722±0.008 ^d
	3	8	16.73±0.78 ^{ef}	0.634±0.006 ^f
	6	8	15.58±0.56 ^{ef}	0.595±0.009 ^s
450	9	8	15.22±0.87 ^f	0.581±0.016 ^s

หมายเหตุ: MW หมายถึงไมโครเวฟ; เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแต่ละสภาวะการทดลอง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

3.2 ผลของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อค่าสีของเนื้อลำไย

สีเป็นลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์อาหารที่ส่งผลกระทบต่อกรยอมรับของผู้บริโภค ค่าสีของเนื้อลำไยอบแห้งจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดสีด้วยระบบ CIELAB ซึ่งแสดงด้วยค่า L^* , a^* และ b^* พบว่าค่าสีในแต่ละสถานะที่ใช้อบแห้งมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) และมีความแตกต่างกันกับตัวอย่างควบคุม ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเนื้อลำไยอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยลมร้อนที่

300 วัตต์ 3 6 และ 9 นาที และลมร้อนเป็นเวลา 6 และ 8 ชั่วโมง ให้ค่าสีแดง (a^*) ที่ต่ำกว่า แต่มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ส่วนเนื้อลำไยอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยลมร้อนที่ 450 วัตต์ 3 6 และ 9 นาที และลมร้อนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ให้ค่าสีแดง (a^*) ที่ต่ำกว่า แต่มีค่าความสว่าง (L^*) และค่าสีเหลือง (b^*) ที่สูงกว่า นอกจากนี้ ค่าความสว่างของสี (L^*) สำหรับเนื้อลำไยอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยลมร้อนมีความสว่างที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2 ค่าสีของเนื้อลำไยอบแห้งที่สภาวะการใช้กำลังไมโครเวฟตามด้วยลมร้อนแตกต่างกัน

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลาในการให้ความร้อนด้วย MW (นาที)	เวลาในการให้ความร้อนด้วยลมร้อน (ชั่วโมง)	ค่าสี			ดัชนีการเกิดสีน้ำตาล
			L^*	a^*	b^*	
	Control	10	35.26±1.05 ^c	8.93±0.42 ^{ab}	16.88±0.28 ^{bc}	22.18±0.96 ^a
300	3	6	47.55±1.36 ^a	4.80±0.56 ^e	20.04±0.32 ^c	11.28±0.82 ^d
	6	6	46.21±1.43 ^a	4.00±0.28 ^e	18.73±0.43 ^{ab}	10.12±1.18 ^d
	9	6	39.15±1.14 ^b	4.38±0.36 ^e	15.64±0.36 ^{cd}	11.82±0.72 ^d
300	3	8	39.20±0.87 ^b	7.84±0.18 ^{bcd}	20.05±0.19 ^a	18.98±0.88 ^b
	6	8	39.66±1.68 ^b	8.31±0.64 ^{bc}	20.28±0.22 ^a	19.62±1.06 ^b
	9	8	37.17±1.87 ^{bc}	7.86±0.42 ^{bcd}	17.29±0.26 ^{bc}	19.23±1.15 ^b
450	3	6	39.52±1.56 ^b	7.14±0.27 ^{cd}	20.21±0.48 ^a	17.68±0.94 ^c
	6	6	39.44±0.76 ^b	6.63±0.16 ^d	20.95±0.34 ^a	17.04±1.02 ^c
	9	6	39.08±0.98 ^b	7.58±0.46 ^{bcd}	20.07±0.21 ^a	18.60±1.14 ^b
450	3	8	36.85±1.29 ^{bc}	9.00±0.34 ^{ab}	12.34±0.18 ^e	20.07±1.08 ^{ab}
	6	8	34.72±1.12 ^c	8.71±0.52 ^{ab}	14.41±0.24 ^{de}	21.27±0.86 ^a
	9	8	34.36±1.73 ^c	9.03±0.42 ^{ab}	15.24±0.33 ^{cd}	22.40±1.22 ^a

หมายเหตุ: MW หมายถึงไมโครเวฟ; เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแต่ละสภาวะการทดลอง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดง ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p \leq 0.05$

เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อลำไยผ่านการอบแห้งมีค่าอยู่ระหว่าง 10.12±1.18 ถึง 22.40±1.22 เนื้อลำไยอบด้วยไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ 3 6 และ 9 นาที ตามด้วยอบแห้งด้วยลมร้อนนาน 8 ชั่วโมง มีค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) เมื่อเทียบกับเนื้อ

ลำไยอบแห้งด้วยลมร้อนนาน 10 ชั่วโมง เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการอบแห้งด้วยลมร้อน พบว่าการใช้เวลาในการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเวลานาน (8 ชั่วโมง และตัวอย่างควบคุม) ให้ค่าสี a^* ที่สูงกว่าการใช้เวลาในการอบแห้งด้วยลมร้อนที่สั้นกว่า (6 ชั่วโมง) ดังแสดงในตารางที่ 2 แสดงว่าผลิตภัณฑ์ลำไยผ่านการอบแห้งมีความเป็นสี

แดงเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเวลานานอาจเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ (Enzymatic Browning Reaction) และที่ไม่ใช่เอนไซม์ (Maillard Reaction) และปฏิกิริยาการเกิดคาราเมล (Caramelization Reaction) จึงทำให้สีของผลิตภัณฑ์เข้มข้น [8], [17]-[20] นอกจากนี้ ความสว่างของเนื้อลำไยผ่านการอบแห้งมีค่าลดลงซึ่งเกิดจากผลของปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล ในขณะเดียวกันช่วยให้เกิดความเป็นสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น ค่าความสว่างที่ลดลงสัมพันธ์กับค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาลที่เพิ่มขึ้นซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดสีน้ำตาลที่เกี่ยวข้องและไม่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ [21], [22]

สีน้ำตาลที่เกิดขึ้นของเนื้อลำไยในระหว่างกระบวนการอบแห้งทำให้ได้เนื้อลำไยมีสีเหลืองทอง คุณลักษณะดังกล่าวนี้เป็นที่นิยมของผู้บริโภคในประเทศไทยโดยทั่วไป [5], [19], [23] ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับเอนไซม์ ได้แก่ สารตั้งต้น (Substrate) คือสารประกอบฟีนอล (Phenolic Compounds) เอนไซม์ในกลุ่มฟีนอกเลส (Phenolase) เช่น polyphenol oxidase (PPO) และออกซิเจน ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่ใช่เอนไซม์ ได้แก่ อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส แรงการเกิดปฏิกิริยา pH (ระหว่าง 6-10) วอเตอร์แอคทิวิตี (a_w 0.3-0.7) และอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดแอมิโนต่อน้ำตาล [21], [22] นอกจากนี้การที่มีน้ำตาลรีดิวซ์มากกว่าปริมาณกรดแอมิโนช่วยให้เกิดสีน้ำตาลในระบบอาหารได้มากขึ้น ดังนั้น จึงทำให้เนื้อลำไยผ่านการอบแห้งมีสีคล้ำลง และเกิดสีแดงมากขึ้น [24] นอกจากนี้ ค่าความเป็นสีเหลือง b^* ที่มากกว่าของเนื้อลำไยผ่านการอบแห้งร่วมกับการใช้ไมโครเวฟบ่มบอกลงถึงเนื้อลำไยที่มีคุณภาพดีเนื่องด้วยคุณลักษณะที่มีสีเหลืองทอง [25] ในการศึกษานี้จะเห็นได้ว่าความเป็นสีเหลือง b^* ที่มากกว่าพบในสภาวะของอบแห้งที่ได้รับเนื้อลำไยที่จัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหารกึ่งแห้ง (IMF)

3.3 ผลของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อคุณลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อลำไย

เนื้อสัมผัสของเนื้อลำไยอบแห้งในการทดลองนี้มีการตรวจสอบ 2 ค่า ได้แก่ ความแข็ง (Hardness) พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.18 ± 0.03 ถึง 1.75 ± 0.03 กิโลกรัมแรง และความยืดหยุ่น (Toughness) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.10 ± 0.00 ถึง 0.49 ± 0.05 กิโลกรัมแรง.มิลลิเมตร ความแข็งและความยืดหยุ่นของเนื้อลำไยอบแห้งแต่ละสภาวะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยขึ้นอยู่กับสภาวะอบแห้งที่ใช้ (ตารางที่ 3)

การใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ ที่เวลาต่าง ๆ ตามด้วยอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ได้รับค่าความแข็งและความยืดหยุ่นที่สูงกว่าที่สภาวะอื่น ๆ (ตารางที่ 3) ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งด้วยลมร้อนที่นานกว่า ประกอบกับการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟสูงกว่า ทำให้น้ำอิสระในเนื้อลำไยเปลี่ยนเป็นไอน้ำระเหยออกมาจากเนื้อลำไยอย่างรวดเร็ว จึงเหลือน้ำอิสระในเนื้อลำไยแห้งน้อยลง และเนื้อลำไยจะหดตัว (Shrinkage) ลงอย่างรวดเร็ว [11], [20] ทำให้ผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยอบแห้งที่สภาวะดังกล่าวมีความแข็งแรงมากกว่า ผลที่ได้สอดคล้องกับการศึกษาของ Somjai et al. [8] ในการอบแห้งลำไยด้วยลมร้อน อย่างไรก็ตาม เมื่ออบแห้งเนื้อลำไยด้วยไมโครเวฟตามด้วยลมร้อนช่วยให้ผลิตภัณฑ์เกิดการหดตัวลดลง อันเป็นผลมาจากการใช้ไมโครเวฟช่วยในการอบแห้งในเบื้องต้นทำให้โครงสร้างพองขยายตัวและเมื่ออบแห้งด้วยลมร้อนทำให้โครงสร้างหดตัว สำหรับค่าความแข็งของเนื้อลำไยที่อบด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวในตัวอย่างควบคุม รวมถึงอบแห้งที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ แล้วตามด้วยอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง มีความแข็งแรงมากกว่าสภาวะอื่น ๆ อาจเป็นผลมาจากการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยลมร้อนเป็นระยะเวลานานกว่านั่นเอง ทำให้โครงสร้างยุบตัว

ส่งผลให้น้ำสัมผัสแข็งและเหนียวมากกว่า ส่วนการรอบอบแห้งที่ กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ แล้วตามด้วยอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเวลา 8 ถึงแม้จะใช้เวลาในการอบแห้งด้วยลม

ร้อนเป็นเวลานานเช่นกัน แต่การใช้กำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่าส่งผลให้น้ำสัมผัสมีความแข็งต่ำกว่านั่นเอง

ตารางที่ 3 เนื้อสัมผัสของเนื้อลำไยอบแห้งที่สภาวะการใช้กำลังไมโครเวฟตามด้วยลมร้อนแตกต่างกัน

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลาในการให้ความร้อนด้วย MW (นาท)	เวลาในการให้ความร้อนด้วยลมร้อน (ชั่วโมง)	ความแข็ง (กิโลกรัมแรง)	ความยืดหยุ่น (กิโลกรัมแรง. มิลลิเมตร)
Control		10	1.45±0.08 ^b	0.39±0.04 ^b
300	3	6	0.18±0.03 ^d	0.10±0.00 ^f
	6	6	0.21±0.04 ^d	0.11±0.00 ^{ef}
	9	6	0.29±0.07 ^d	0.12±0.01 ^f
300	3	8	0.54±0.05 ^c	0.17±0.01 ^{def}
	6	8	0.58±0.02 ^c	0.20±0.03 ^{de}
	9	8	0.68±0.04 ^c	0.22±0.03 ^d
450	3	6	0.23±0.04 ^d	0.16±0.01 ^{def}
	6	6	0.26±0.02 ^d	0.12±0.02 ^{def}
	9	6	0.70±0.07 ^c	0.30±0.06 ^c
450	3	8	1.28±0.06 ^b	0.40±0.07 ^b
	6	8	1.65±0.04 ^a	0.41±0.08 ^{ab}
	9	8	1.75±0.03 ^a	0.49±0.05 ^a

หมายเหตุ: MW หมายถึงไมโครเวฟ; เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยตามแนวตั้งในแต่ละสภาวะการทดลอง ตัวอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดง ความแตกต่างทางสถิติที่ $p < 0.05$

3.4 ผลของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยการอบแห้งลมร้อนต่อคุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อลำไย

สภาวะในการอบแห้งที่เลือกมาทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสคือ อบแห้งด้วยไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ เป็นเวลา 9 นาที ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง (เนื้อลำไยที่จัดเป็น IMF) และอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็น

เวลา 8 ชั่วโมง (เนื้อลำไยอบแห้ง) เปรียบเทียบกับลำไยอบแห้งด้วยลมร้อนนาน 10 ชั่วโมง (ตัวอย่างชุดควบคุม) เมื่อนำผลิตภัณฑ์ผ่านการอบแห้งทั้งสามสภาวะมาทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้าน ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวม โดยใช้ผู้ทดสอบชิมทั้งหมด 30 คน ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งจากผลการทดสอบ พบว่าเนื้อลำไยที่จัดเป็น IMF และเนื้อลำไยอบแห้งตัวอย่างชุดควบคุมได้รับคะแนนในทุกๆ ด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมีระดับความชอบส่วนใหญ่จากผู้ทดสอบชิมอยู่ที่

ระดับ 6 ถึง 7 ซึ่งมีความชอบเล็กน้อย และชอบปานกลางตามลำดับ ในขณะที่เนื้อลำไยอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่ กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเวลา 8 ชั่วโมง ได้รับคะแนนในด้านลักษณะปรากฏ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเนื้อลำไยอบแห้งที่สภาวะการใช้กำลังไมโครเวฟตามด้วยลมร้อนแตกต่างกัน

กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	เวลาใน การให้	เวลาใน การให้	ลักษณะ ปรากฏ	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส	การยอมรับ โดยรวม
	ความ ร้อนด้วย MW (นาที)	ความร้อน ด้วยลม ร้อน (ชั่วโมง)						
Control		10	6.68±0.52 ^a	6.80±0.44	6.96±0.49	6.68±0.45	6.70±0.36 ^a	6.94±0.43 ^a
450	9	6	6.74±0.39 ^a	7.10±0.50	7.12±0.55	6.87±0.42	6.93±0.38 ^a	7.20±0.39 ^a
450	6	8	6.57±0.39 ^b	6.60±0.50	6.82±0.55	6.57±0.42	6.23±0.38 ^b	6.30±0.39 ^b

หมายเหตุ: MW หมายถึงไมโครเวฟ; ^{ns} สิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ในการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสสำหรับการใช้ไมโครเวฟตามด้วยอบแห้งด้วยลมร้อนในการอบแห้งเนื้อลำไย เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ร่วมกับคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์เนื้อลำไย พบว่าสภาวะการอบแห้งด้วยไมโครเวฟตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ดีที่สุด ได้แก่สภาวะที่ใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ เป็นเวลา 9 นาที ตามด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด (6 ชั่วโมง) และได้ผลิตภัณฑ์เนื้อลำไยอบแห้งที่มีสีเหลืองทอง มีความแข็งน้อย มีความชื้นที่จัดเป็นผลิตภัณฑ์ IMF ซึ่งสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ และได้รับการยอมรับจากผู้ทดสอบชิมในเกณฑ์ที่ชอบปานกลาง (ตารางที่ 4)

4. สรุป

ในการศึกษาการอบแห้งเนื้อลำไยโดยการอบแห้งด้วยไมโครเวฟก่อนนำไปอบแห้งด้วยลมร้อนต่อ คุณลักษณะทางเคมีกายภาพและคุณภาพของเนื้อลำไย โดยศึกษาการใช้ไมโครเวฟที่กำลังไฟ 2 ระดับ คือ 300

และ 450 วัตต์ ด้วยระยะเวลาในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่ 3 ระดับ คือ 3 6 และ 9 นาที แล้วนำไปอบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลานาน 6 และ 8 ชั่วโมง โดยนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่มีการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิเดียวกันเป็นเวลานาน 10 ชั่วโมง พบว่าที่กำลังไฟฟ้า 450 วัตต์ เป็นเวลา 9 นาที แล้วนำมาอบด้วยลมร้อนที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ลำไยอบแห้งที่ได้มีความชื้นและวอเตอร์แอคติวิตีที่จัดเป็นผลิตภัณฑ์อาหาร IMF และให้คุณลักษณะทางกายภาพของเนื้อลำไยที่ดี และยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค นอกจากนี้ยังช่วยลดระยะเวลาอบแห้งลงได้ถึงร้อยละ 40 เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ รวมถึงเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Gan, C. Feng, H. Lan, R. Yang, J. Zhang, C. Li and W. Li, “ Comparison of the structure and immunomodulatory activity of polysaccharides from fresh and dried longan,” *Journal of Functional Foods*, vol. 76, p. 104323, 2021.
- [2] C. Somjai, T. Siriwoharn, K. Kulprachakarn, S. Chaipoot, R. Phongphisutthinant and P. Wiriacharee, “ Utilization of Maillard reaction in moist- dry- heating system to enhance physicochemical and antioxidative properties of dried whole longan fruit,” *Heliyon*, vol. 7, p. E07094, 2021.
- [3] K. Rakariyatham, D. Zhou, N. Rakariyatham and F. Shahidi, “Sapindaceae (*Dimocarpus longan* and *Nephelium lappaceum*) seed and peel by-products: Potential sources for phenolic compounds and use as functional ingredients in food and health applications,” *Journal of Functional Foods*, vol. 67, p. 103846, 2020.
- [4] Office of Agricultural Economics. (2022, Nov. 30). Longan and products export statistics 2019- 2021. [Online]. Available: http://impexp.oae.go.th/service/export.php?S_YEAR=2562&E_YEAR=2563&PRODUCT_GROUP=5252&PRODUCT_ID=4990&wf_search=&WF_SEARCH=Y
- [5] C. Somjai, T. Siriwoharn, K. Kulprachakarn, S. Chaipoot, R. Phongphisutthinant, W. Chaiyana, S. Srinuanpan and P. Wiriacharee, “Effect of drying process and long- term storage on characterization of Longan pulps and their biological aspects: Antioxidant and cholinesterase inhibition activities,” *LWT Food Science and Technology*, vol. 154, p. 112692, 2022.
- [6] S. Surbkar, T. Wongsiriamnuay, S. Ratanamarno and R. Surbkar, “ Drying characteristics of longan flesh by infrared radiation,” *KKU Research Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 201-214, 2014.
- [7] P. Nuthong, A. Achariyaviriya, K. Namsanguan and S. Achariyaviriya, “ Kinetics and modeling of whole longan with combined infrared and hot air,” *Journal of Food Engineering*, vol. 102, pp. 233–239, 2011.
- [8] T. Somjai, S. Achariyaviriya, A. Achariyaviriya and K. Namsanguan, “ Strategy for longan drying in two-stage superheated steam and hot air,” *Journal of Food Engineering*, vol. 95, pp. 313–321, 2009.
- [9] J. Varith, P. Dijkanarukkul, A. Achariyaviriya and S. Achariyaviriya, “ Combined microwave- hot air drying of peeled longan,” *Journal of Food Engineering*, vol. 81, pp. 459–468, 2007.
- [10] D. Su, M. Zhang., Z. Wei, X. Tang, R. Zhang, L. Liu and Y. Deng, “ Effect of microwave power on kinetics and characteristics of microwave vacuum- dried longan (*Dimocarpus longan* Lour.) pulp,” *Food*

- Science and Technology International*, vol. 21, no. 2, pp. 124-132, 2013.
- [11] K. Apinyavisit, A. Nathakarakul, G. S. Mittal and S. Soponronnarit, "Heat and mass transfer properties of longan shrinking from a spherical to an irregular shape during drying," *Biosystems Engineering*, vol. 169, pp. 11-21, 2018.
- [12] AOAC, "Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists," 18th ed. Washington DC: Gaithersburg, 2010.
- [13] R. Kasim, and M.U. Kasim, "Biochemical changes and color properties of fresh-cut green bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. gina) treated with calcium chloride during storage," *Food Science and Technology*, vol. 35, no. 2, pp. 266-272, 2015.
- [14] Thai Agricultural Standard, "Dried longan flesh (TAS 8-2006)," Bangkok, Thailand: National Bureau of Agricultural Commodity and Food Standard, Ministry of Agriculture and Cooperatives, 2006.
- [15] M. Yunchalad, R. Supasri, K. Wongkrajank, C. Hiraga and A. Watanasook, "Preconcentration of longan juice extract with microfiltration and reverse osmosis," *Journal of Food and Agro-Industry*, vol. 1, no. 01, pp. 17-23, 2008.
- [16] P. S. Taoukis, and M. Richardson, "Principles of intermediate-moisture foods and related Technology," in *Water Activity in Foods*, G. V. Barbosa-Canovas, ' A. J. Fontana, S. J. Schmidt and T. P. Labuza, 2nd Ed. Chicago, USA, John Wiley & Sons, Inc. 2020, pp. 273-312
- [17] A. Figiel, "Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum- microwave methods," *Journal of Food Engineering*, vol. 98, pp. 461-470, 2010.
- [18] A. Nathakarakul, P. Jaiboon and S. Soponronnarit, "Far- infrared radiation assisted drying of longan fruit," *Journal of Food Engineering*, vol. 100, no. 4, pp. 662-668, 2010.
- [19] S. Chunthaworn, S. Achariyaviriya, A. Achariyaviriya and K. Namsanguan, "Color kinetics of longan flesh drying at high temperature," *Procedia Engineering*, vol. 32, pp. 104-111, 2012.
- [20] W. Senadeera, G. Adiletta, B. Önal, M. Di Matteo and P. Russo, "Influence of different hot air drying temperatures on drying kinetics, shrinkage, and colour of persimmon slices." *Food*, vol. 101, no. 9, pp. 1-12, 2020.
- [21] M. M. Han, Y. Yi, H. X. Wang and F. Huang, "Investigation of the maillard reaction between polysaccharides and proteins from longan pulp and the improvement in activities," *Molecules*, vol. 22, no. 6, pp. 1-14, 2017.
- [22] M. Corzo-matinez, N. Corzo, M. Villamiel and M. D. del Castillo, "Browning reactions," in *Food Biochemistry and Food Processing*, B.

- K. Simpson, L. Nollet, G. Paliyath, S. Benjakul, G. Paliyath, Y. H. Hui, 2nd ed. Iowa, John Wiley & Sons, Inc., 2012, pp. 56–83.
- [23] A. Achariyaviriya, S. Soponronnarit and J. Tiansuwan, “Study of longan flesh drying,” *Drying Technology*, vol. 19, no. 9, pp. 2315–2329, 2007.
- [24] Y. F. Shang, H. Cao, C. K. Wei, K. Thakur, A. M. Liao, J. H. Huang and Z. J. Wei, “Effect of sugar types on structural and flavor properties of peony seed derived Maillard reaction products,” *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 44, no. 3, p. e14341, 2020.
- [25] T. Rithmanee, and P. Intipunya, “Effects of high power ultrasonic pretreatment on physicochemical quality and enzymatic activities of dried longan,” *Journal of Agricultural Science*, vol. 4, no. 11, pp. 299–306, 2012.