



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการพัฒนากระบวนการแปรรูปสับปะรดพันธุ์ภูแลอบแห้ง
ด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

Development of Drying Process for 'Phulae' Pineapple Using
Microwave-hot Air Dryer

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธุ์สิริ สุทธิลักษณ์ และคณะ
ธันวาคม 2561

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการพัฒนากระบวนการแปรรูปสับปะรดพันธุ์ลูกแก้วแห้ง
ด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

Development of Drying Process for 'Phulae' Pineapple Using
Microwave-hot Air Dryer

คณะผู้วิจัย		สังกัด
1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธุ์สิริ	สุทธิลักษณ์	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิวัลย์	สีทา	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ละมุล	วิเศษ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ญัฐพล	ภูมิสะอาด	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” ปีงบประมาณ 2560

สนับสนุนโดย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานฉบับนี้เป็นของผู้วิจัย วช. - สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปผู้บริหาร

สับปะรดพันธุ์ภูแล เป็นผลไม้เศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งและนับเป็นอีกสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) ของจังหวัดเชียงราย มีลักษณะและรสชาติเป็นเอกลักษณ์แตกต่างจากสับปะรดที่ผลิตในพื้นที่อื่น ๆ อย่างไรก็ตามเกษตรกรมักประสบปัญหาผลผลิตราคาตกต่ำเนื่องจากการผลิตที่มากเกินไปความต้องการของตลาด การนำมาแปรรูปจึงเป็นแนวทางลดการสูญเสียและสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับสับปะรดผลสดได้ สับปะรดภูแลนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อบแห้งเนื่องจากมีลักษณะปรากฏที่โดดเด่นและมีเอกลักษณ์ เหมาะกับการซื้อเป็นของฝาก อย่างไรก็ตามการแปรรูปสับปะรดภูแลอบแห้งยังเป็นการผลิตในระดับครัวเรือน ซึ่งอาจใช้วิธีอบแห้งโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ทำให้มีข้อจำกัด เช่น ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ ความเข้มของแสง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นต้น หรือการใช้เตาอบลมร้อน ซึ่งใช้ระยะเวลานานในการทำแห้ง และต้นทุนค่อนข้างสูง ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งโดยนำเทคนิคไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมาใช้ในการแปรรูปผลิตผลเกษตร เพื่อลดระยะเวลาการอบแห้งและคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาและปรับปรุงกระบวนการแปรรูปสับปะรดภูแลอบแห้ง โดยการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง รวมถึงการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สับปะรดภูแลอบแห้งต้นแบบพร้อมวางจำหน่าย

จากผลการดำเนินงานวิจัย พบว่า เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถใช้อบสับปะรดผลสดได้ครั้งละ 15 กิโลกรัม ระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 7 ชั่วโมง จะได้สับปะรดภูแลอบแห้งประมาณ 2.8 – 3 กิโลกรัม โดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง คือ ใช้ไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง โดยมีช่วงการเปิด-ปิดแมกนิตรอน 4 และ 2 นาที ตามลำดับ ร่วมกับการใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง จากนั้นลดอุณหภูมิลมร้อนลงเป็น 45 องศาเซลเซียส อบอุ่นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงปิดแมกนิตรอนและเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเป็น 60 องศาเซลเซียส อบอุ่นจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีค่า a_w น้อยกว่า 0.6 หรือมีค่าความชื้นน้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ สามารถคำนวณเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 10.88 บาทต่อกิโลกรัมสับปะรดผลสด หรือ 54.40 บาทต่อกิโลกรัมของสับปะรดอบแห้ง เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตทั้งหมดคือ ค่าวัตถุดิบ ค่าพลังงาน ค่าแรงงาน และค่าบำรุงรักษาเปรียบเทียบกับค่าการอบแห้งด้วยลมร้อนภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน พบว่า การใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว คือมีค่าเท่ากับ 494.25 บาท และ 568.30 บาทต่อกิโลกรัมสับปะรดภูแลอบแห้ง ตามลำดับ

ผลิตภัณฑ์สับปะรดภูแลอบแห้งกึ่งแห้ง (Semi-dried) มีค่าวอเตอร์แอคทิวิตี (a_w) มากกว่า 0.7 บรรจุในกระปุกพลาสติกแบบมีฝาอะลูมิเนียมฟลอยด์ (Easy open can) และบรรจุในถ้วยพลาสติกปิดฟิล์มด้านบน (Top sealed) มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 5 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส สำหรับ ผลิตภัณฑ์สับปะรดภูแลอบแห้ง มีค่า a_w 0.5-0.6 บรรจุในกระปุกพลาสติกแบบมีฝาอะลูมิเนียมฟลอยด์ (Easy open can) มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง โดยผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้ ผลการวิจัยดังกล่าวจะเป็นแนวทางในการยกระดับการผลิตสับปะรดอบแห้งให้มีทั้งคุณภาพและความปลอดภัย เพิ่มมูลค่าให้กับสับปะรดภูแล เพิ่มโอกาสทางการตลาด ทำให้ชุมชนมีรายได้และสามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างยั่งยืน

บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับใช้แปรรูปสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต ซึ่งเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดเชียงราย เครื่องประกอบด้วยห้องอบตัวอย่างทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์มีความกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ $60 \times 60 \times 60$ เซนติเมตร จำนวน 3 ห้อง เชื่อมต่อกันตามแนวนอน และใช้ไมโครเวฟกำเนิดจาก แมกนีตรอนที่มีกำลังไฟฟ้าประมาณ 1.2 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัวต่อห้อง มีพัดลม (1.5 กิโลวัตต์) และฮีตเตอร์ (9 กิโลวัตต์) สำหรับผลิตและกระจายลมร้อน ศึกษาการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับอุณหภูมิลมร้อน ชุดควบคุม คือ ตัวอย่างที่อบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 ชั่วโมง จนกระทั่งปริมาณความชื้นต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์หรือมีค่าอัตราการแห้ง (a_w) เท่ากับ 0.6 การทดลองเริ่มจากนำสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่ปอกเปลือกและเลาะตาแล้ว (ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ระหว่าง 12-14 องศาบริกซ์) มาหั่นตามแนวนอนให้มีความหนาประมาณ 0.8 เซนติเมตร นำมาวางเรียงในชั้นใส่ตัวอย่าง ซึ่งจุได้ประมาณ 5 กิโลกรัม น้ำหนักผลสดต่อห้อง ศึกษาการอบแห้งที่ดีที่สุด คือ ใช้ไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง โดยมีการเปิด-ปิดแมกนีตรอน 4 และ 2 นาที ตามลำดับ ร่วมกับการใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง จากนั้นลดอุณหภูมิลมร้อนลงเป็น 45 องศาเซลเซียส อบต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงปิดแมกนีตรอนและเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเป็น 60 องศาเซลเซียส อบต่อจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีค่า a_w น้อยกว่า 0.6 หรือมีค่าความชื้นน้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด 7 ชั่วโมง

สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งที่มีค่า a_w ต่างกัน 3 ระดับ คือ อบแห้ง a_w>0.7 (Semi-dried) อบแห้ง 0.5-0.6 และ ชุดควบคุม 0.6 โดยทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธีการทดสอบความชอบตามสเกลฮีโดนิค (Hedonic test) 5 จุด ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 156 คน ให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะ คือ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม จากผลการทดลองพบว่า ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบโดยรวมของสับปะรดอบแห้งมากที่สุด คือ 4.07

นำสับปะรดอบแห้งกึ่งแห้ง (Semi-dried) และอบแห้ง มาบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 3 รูปแบบ คือ ถุงสุญญากาศ กระปุกพลาสติกแบบมีฝาอะลูมิเนียมฟลอยด์ (Easy open can) และบรรจุในถ้วยพลาสติกปิดฟิล์มด้านบน (Top sealed) ประเมินอายุการเก็บจากค่า a_w ปริมาณความชื้น จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช. 136/2558) และคะแนนความชอบโดยรวมจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส จากผลการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งกึ่งแห้ง (Semi-dried) บรรจุแบบ Easy open can และแบบ Top sealed มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 5 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5±1 องศาเซลเซียส สำหรับผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งบรรจุแบบ Easy open can มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้องโดยผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

Abstract

A microwave assisted hot air dryer was designed and set up to improve the drying process for 'Phulae' pineapple which is a Geographical Indication (GI) of Chiang Rai Province, Thailand. Three chambers with a dimension of 60 (L) x 60 (W) x 60 (H) cm was horizontal connected and two of 1000 W 2.4 GHz magnetrons were used to generate microwave in each chamber. The fan of 1.5 kW and electrical heater of 9 kW were used for the circulating and heating air. The drying conditions were performed with two variables: pulse ratio of microwave power and air temperature. Conventional hot air drying (45°C, 25 hours) was used as a control to obtain less than 12% moisture content and 0.6 a_w of dehydrated product. 'Phulae' pineapple (12-14°Brix) was peeled, cut into approximately 0.80 cm. and laid on the stainless steel rack (approximately 5 kg per chamber). The drying conditions was started from combination of 4 hours microwave (4 min on - 2 min off magnetron) with 2 hours of 70°C hot air followed by 45°C for 2 hours. After drying time reached 4 hours, magnetrons were turned off and only 60°C hot air was continued for drying until the a_w of sample was about 0.6 or %Moisture content less than 12. Total drying time has achieved within about 7 hours.

Sensory evaluation of three level dried 'Phulae' pineapple, $a_w > 0.7$ (Semi-dried), 0.5-0.6 (Dried) and 0.6 (Control) was performed using 5-points hedonic scale for acceptance test. One hundred fifty six of panelists were employed to score the attributes including color, flavor, taste, texture and overall acceptability. It was found that Semi-dried sample had the highest overall acceptability score as 4.07.

Semi-dried and Dried 'Phulae' pineapple were packed in three type of packaging including vacuum packing, easy open can and plastic cup with top sealed. Shelf life was estimated according to water activity, %Moisture content and Total plate count in Thai Community Product Standard (NO.136/2558) and overall acceptability score from sensory evaluation. It was found the Semi-dried 'Phulae' pineapple packed in easy open can and top sealed had about 5 weeks shelf life at $5 \pm 1^\circ\text{C}$. For dried 'Phulae' pineapple packed in easy open can, the shelf life was estimated about 6 weeks at room temperature.

สารบัญ

หัวข้อ		หน้า
บทสรุปผู้บริหาร		i
บทคัดย่อภาษาไทย		ii
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		iii
สารบัญ		iv
สารบัญตาราง		vi
สารบัญภาพ		vii
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา	2
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	3
	1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัย	3
	1.6 แผนงานโครงการ	4
บทที่ 2	การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
	2.1 สัมประรด	6
	2.2 การแปรรูปอาหารด้วยการอบแห้ง	8
	2.3 ไมโครเวฟ	8
	2.4 บรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์อบแห้ง	10
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย	11
	3.1 การทดลองที่ 1	12
	3.2 การทดลองที่ 2	13
	3.3 การทดลองที่ 3	14
	3.4 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	16
บทที่ 4	ผลการทดลอง	17
	4.1 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสัมประรดพันธุ์กล้วยแลด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	18
	4.2 สภาพที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับสัมประรดพันธุ์กล้วยแล	20
	4.3 รูปแบบบรรจุภัณฑ์และประเมินอายุการเก็บรักษาสัมประรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้ง	28
	4.4 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	36
บทที่ 5	สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ	40

หัวข้อ	หน้า
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	41
5.2 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่อ สกว.	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก 1	44
รายละเอียดของแบบและขั้นตอนการสร้างเครื่อง	
ภาคผนวก 2	55
การศึกษาการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับสับปะรดพันธุ์ภูแล (Lab scale)	
ภาคผนวก 3	63
การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค	
ภาคผนวก 4	68
ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์สับปะรดภูแลอบแห้ง	
ภาคผนวก 5	72
การถ่ายทอดเทคโนโลยี	
ภาคผนวก 6	77
ผลการวิเคราะห์คุณภาพสับปะรดภูแลอบแห้งตาม มผช.138/2558 และ คุณค่าทางโภชนาการ	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หัวข้อ	หน้า
1.1	ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานวิจัย	4
3.1	ตัวอย่างการคำนวณความคุ้มค่าและต้นทุนเปรียบเทียบระหว่างเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	16
4.1	สภาวะการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	23
4.2	การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของตัวอย่างสับประรดพันธุ์กล้วยแลในระหว่างการอบแห้ง	24
4.3	การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของตัวอย่างสับประรดพันธุ์กล้วยแลในระหว่างการอบแห้ง	24
4.4	คะแนนความชอบเฉลี่ยต่อคุณลักษณะของสับประรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้ง	28
4.5	ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความสว่าง L^* ของสับประรดพันธุ์กล้วยแลอบกึ่งแห้ง (Semi-dried) ที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน	30
4.6	ปริมาณวิตามินซีของสับประรดพันธุ์กล้วยแลอบกึ่งแห้ง (Semi-dried) ที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน	31
4.7	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g) ในสับประรดพันธุ์กล้วยแลอบกึ่งแห้ง (Semi-dried) ที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน	31
4.8	คะแนนความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์สับประรดกล้วยแลกึ่งอบแห้ง (Semi-dried) ที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน	32
4.9	ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความสว่าง L^* ของสับประรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้งที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน	33
4.10	ปริมาณวิตามินซีของสับประรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้งที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน	34
4.11	จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g) ในสับประรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้งที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน	34
4.12	จำนวนยีสต์และราทั้งหมด (log CFU/g) ในสับประรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้งที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน	35
4.13	คะแนนความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์สับประรดกล้วยแลอบแห้งที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน	35
4.14	เงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการแปรรูปสับประรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเปรียบเทียบกับการใช้เตาอบลมร้อน	36
4.15	สรุปสภาวะการทดลองที่ใช้ในการอบแห้งสับประรดกล้วยแล	37
4.16	สรุปการค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของการอบแห้งสับประรดกล้วยแล	37
4.17	การเปรียบเทียบต้นทุนแปรผันของผลิตภัณฑ์สับประรดกล้วยแลอบแห้งเมื่อใช้กระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกัน	38
4.18	การวิเคราะห์ระยะเวลาดำเนินการ	39

สารบัญภาพ

ภาพที่	หัวข้อ	หน้า
2.1	สับปรดพันธุ์กล้วยแล	7
2.2	สับปรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้งด้วยลมร้อน 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 25 ชั่วโมง	7
2.3	คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ	9
2.4	กลไกการเกิดความร้อนคลื่นไมโครเวฟ	10
3.1	ระบบการอบลมร้อนร่วมกับเตาอบไมโครเวฟต้นแบบ	12
3.2	ชั้นวางสำหรับใส่สับปรดในห้องอบแห้ง	13
4.1	เครื่องอบแห้งสับปรดพันธุ์กล้วยแลด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	19
4.2	ชั้นวางสับปรดสดสามารถถอดประกอบได้เพื่อความสะดวกในการใช้งาน	19
4.3	แผนผังการใช้ไมโครเวฟโดยการเปิด-ปิดแมกนิตรอน 2 และ 2 นาที ตามลำดับ	21
4.4	แผนผังการใช้ไมโครเวฟโดยการเปิด-ปิดแมกนิตรอน 4 และ 2 นาที ตามลำดับ	22
4.5	ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อน	23
4.6	การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของสับปรดพันธุ์กล้วยแลในระหว่างการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	25
4.7	รูปแบบการบรรจุสับปรดพันธุ์กล้วยแลอบกึ่งแห้ง (Semi-dried)	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สับปะรด เป็นอีกหนึ่งในผลไม้เศรษฐกิจของไทยที่ได้รับความนิยมทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากสามารถผลิตได้ตลอดปี ผู้บริโภคสามารถเลือกซื้อได้ในราคาไม่แพง และยังอุดมไปด้วยสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น วิตามินซี เบต้าแคโรทีน แร่ธาตุและสารออกฤทธิ์สำคัญทางชีวภาพ ทั้งยังเป็นผลไม้ที่ให้กากใยอาหารมาก ช่วยในการขับถ่ายอีกด้วย สับปะรดพันธุ์ทางการค้าที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีหลากหลาย ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวีย สวี (ชุมพร) นางแลและภูแล (เชียงราย) ภูเก็ตปัตตานี อินทรีชิตขาว-แดง (ฉะเชิงเทรา) ตราดสีทอง (สิงคโปร์) ลักกะตา สิงคโปร์ปัตตาเวีย (คล้ายกับพันธุ์สวีและภูเก็ต) ซึ่งผลผลิตสับปะรดสดภายในประเทศร้อยละ 70-80 จะส่งเข้าโรงงานแปรรูป ที่เหลือใช้บริโภคสดภายในประเทศร้อยละ 20-30 ผลผลิตพันธุ์สับปะรดที่มีวางจำหน่ายรวมถึงเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออก ได้แก่ สับปะรดแช่แข็ง สับปะรดแห้ง สับปะรดกวน สับปะรดกระป๋อง และน้ำสับปะรดเข้มข้น

สับปะรดพันธุ์ภูแล เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญและนับเป็นอีกสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indication: GI) ของจังหวัดเชียงราย มีลักษณะและรสชาติเป็นเอกลักษณ์แตกต่างจากสับปะรดที่ผลิตในพื้นที่อื่น ๆ นิยมบริโภคในรูปผลสด โดยทั่วไปราคากิโลกรัมละ 20-35 บาท อย่างไรก็ตามในบางฤดูกาลผลผลิตมีมากเกินความต้องการของตลาด ส่งผลราคาดุลลงเป็นกิโลกรัมละ 10-15 บาท ทั้งยังเกิดปัญหาการกระจายผลผลิตไม่ทัน ทำให้เกิดการเน่าเสีย เกษตรกรจึงจำเป็นต้องนำมาแปรรูปเพื่อลดการสูญเสียและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสับปะรดผลสด โดยส่วนใหญ่นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สับปะรดกวนและแห้ง เนื่องจากมีลักษณะปรากฏที่โดดเด่นและมีเอกลักษณ์ จึงเหมาะแก่การซื้อเป็นของฝาก ปัจจุบันการแปรรูปสับปะรดกวนและแห้งยังเป็นการผลิตในระดับครัวเรือน โดยอาจใช้วิธีอบแห้งโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งมีข้อจำกัด เช่น ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ ความเข้มของแสง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นต้น หรือการใช้เตาอบลมร้อน ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิต่ำ ประมาณ 45-50 องศาเซลเซียส ในการอบแห้งเพื่อให้สีของสับปะรดดูน่ารับประทาน ทำให้ต้องใช้ระยะเวลานานในการทำแห้งไม่ต่ำกว่า 25 ชั่วโมง และต้นทุนสำหรับเตาอบลมร้อนค่อนข้างสูงอีกด้วย มีการพัฒนาการอบแห้งโดยการนำเทคนิคไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมาใช้ในการแปรรูปผลิตผลเกษตรที่หลากหลาย เพื่อลดระยะเวลาการอบแห้งและคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น แอปเปิ้ล พริกทอง มันฝรั่ง แมคคาเดเมีย และลำไย เป็นต้น (Silva et al., 2006; Alibus, 2007; Pereira et al., 2007; Varith et al., 2007; Li et al., 2010) ซึ่งปัจจัยที่จะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง เช่น ความชื้นและลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม การกระจายตัวของความร้อน เป็นต้น นอกจากนี้บรรจุภัณฑ์เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จะสามารถช่วยยืดอายุและคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษาได้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและปรับปรุงกระบวนการแปรรูปสับปะรด กวนและแห้ง ด้วยเทคนิคการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยจะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง รวมถึงการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาสับปะรดกวนและแห้ง ผลงานจากการวิจัยพร้อมใช้เพื่อวางจำหน่าย เป็นการยกระดับการผลิตให้มีทั้งคุณภาพและความปลอดภัย เพิ่มมูลค่าให้กับสับปะรดภูแล เพิ่มโอกาสทางการตลาด ทำให้ชุมชนมีรายได้และสามารถพึ่งพาตนเองได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสับปะรดพันธุ์แลด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน
- (2) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับสับปะรดพันธุ์แล
- (3) ศึกษาแบบบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและประเมินอายุการเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์แลอบแห้ง
- (4) ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาทดลองเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบระบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อใช้สำหรับการแปรรูปสับปะรดพันธุ์แลอบแห้ง และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ส่วนที่สองเป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งสับปะรดพันธุ์แลด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่สร้างขึ้น โดยเน้นการลดระยะเวลาในการอบแห้ง และส่วนที่สาม เป็นการศึกษาผลของบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและการประเมินอายุการเก็บรักษาสับปะรดอบแห้ง พร้อมกับศึกษาข้อมูลทางโภชนาการ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต้นแบบพร้อมวางจำหน่าย นอกจากนี้เมื่อดำเนินการทดลองเสร็จสิ้นแล้วทำการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับผู้สนใจต่อไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

- (1) เพิ่มขีดความสามารถของกระบวนการผลิตสับปะรดอบแห้งให้กับกลุ่มโอท็อปและวิสาหกิจชุมชน ในตำบลนางแล และชุมชนใกล้เคียงในจังหวัดเชียงราย
- (2) เพิ่มมูลค่า ยืดอายุการเก็บรักษาและวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้ง
- (3) เพื่อรักษามาตรฐานคุณภาพและความปลอดภัยผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้ง
- (4) ได้เครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนต้นแบบสำหรับผลิตสับปะรดอบแห้ง
- (5) เป็นองค์ความรู้สำหรับนักวิจัยที่สนใจทั้งในภาครัฐและเอกชน รวมทั้งนิสิตนักศึกษาทั้งในระดับปริญญาตรีและบัณฑิตศึกษา

1.5 กรอบแนวความคิดของการวิจัย

สับปะรดพันธุ์แล เป็นสับปะรดพันธุ์พื้นเมืองมีการเพาะปลูกเฉพาะในจังหวัดเชียงราย มีศักยภาพในการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้ง เนื่องจากมีเอกลักษณ์ทั้งในด้านลักษณะปรากฏ รสชาติและคุณค่าทางอาหาร ทั้งการนำมาแปรรูปจะช่วยแก้ปัญหาการขาดตลาดในบางฤดูกาล ลดการสูญเสียผลผลิตทางการเกษตรได้ อย่างไรก็ตามการแปรรูปสับปะรดอบแห้งยังเป็นการผลิตในระดับครัวเรือน โดยอาจใช้วิธีอบแห้งโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งมีข้อจำกัด หรือการใช้เตาอบลมร้อน ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิต่ำในการอบแห้งเพื่อให้สีของสับปะรดดูน่ารับประทาน ทำให้ต้องใช้เวลานานในการทำแห้ง และต้นทุนสำหรับเตาอบลมร้อนค่อนข้างสูงอีกด้วย ปัจจุบันมีการพัฒนาการอบแห้งโดยการนำเทคนิคไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมาใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์

หลากหลาย เพื่อลดระยะเวลาการอบแห้งและคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้พัฒนากระบวนการแปรรูปสับปะรดฤดูแลอบแห้งจะช่วยยกระดับการผลิตให้มีทั้งคุณภาพและความปลอดภัย เพิ่มมูลค่าให้กับสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต เพิ่มโอกาสทางการตลาด สร้างรายได้และเป็นเอกลักษณ์ของชุมชน สร้างความเข้มแข็งให้กับชุมชนได้

1.6 แผนงานโครงการ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	เดือน												ผู้รับผิดชอบ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน													ดร. ละมุล ดร. ญัฐพล
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต													ดร. พันธุ์สิริ ดร. สุทธิวัลย์ ดร. ละมุล ดร. ญัฐพล
3. ศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและประเมินอายุการเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตแลอบแห้ง													ดร. พันธุ์สิริ ดร. สุทธิวัลย์
4. จัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการการอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน													ดร. พันธุ์สิริ ดร. สุทธิวัลย์ ดร. ละมุล ดร. ญัฐพล
5. สรุปผลการทดลอง และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์													ดร. พันธุ์สิริ ดร. สุทธิวัลย์ ดร. ละมุล ดร. ญัฐพล

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 สับปะรด

สับปะรด (*Ananas comosus* L. Merr) อยู่ในวงศ์ Bromeliaceae เป็นผลไม้เมืองร้อนที่นิยมบริโภคในรูปผลไม้สดกันอย่างแพร่หลาย ประเทศไทยมีลักษณะภูมิอากาศเหมาะสมในการปลูกสับปะรดสามารถผลิตและส่งออกสับปะรดได้มากเป็นอันดับ 1 ของโลก ในปี 2556 มีมูลค่าการส่งออกรวมประมาณ 19,783,988,071 บาท พันธุ์สับปะรดที่ปลูกทางการค้าโดยทั่วไปอาจแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มตามรูปร่างลักษณะของใบและผลคือ Cayenne, Queen, Pernambuco, Spanish และ Mordilona สำหรับพันธุ์ที่ปลูกทางการค้าในประเทศไทยจะพบเพียง 3 กลุ่ม คือ Cayenne, Queen และ Spanish (จินดารัฐ, 2541) พันธุ์ที่นิยมปลูกสำหรับแปรรูป บริโภคผลสด หรือส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ได้แก่ พันธุ์ปัตตาเวียและพันธุ์ภูเก็ต และสับปะรดพันธุ์พื้นเมืองอีกสองพันธุ์ที่น่าจะมีศักยภาพและควรส่งเสริมให้มีการส่งออกต่อไปในอนาคต ได้แก่ พันธุ์ภูแลและนางแล ซึ่งสามารถเพาะปลูกได้เฉพาะในจังหวัดเชียงรายเท่านั้น

สับปะรดพันธุ์ภูแล (ภาพที่ 2.1) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ และนับเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดเชียงราย (Geographical Indication: GI) (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2549) จัดเป็นสับปะรดในกลุ่ม Queen เช่นเดียวกับพันธุ์ภูเก็ต เชื่อกันว่าเมื่อปีพ.ศ. 2520 นายอเนก ประทีป ณ ถลาง อาจารย์จากมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ได้นำหน่อพันธุ์สับปะรดภูเก็ต จากจังหวัดภูเก็ต มาปลูกครั้งแรกที่ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ซึ่งเป็นแหล่งภูมิศาสตร์ของสับปะรดที่มีชื่อเสียงเป็นที่รู้จักของผู้บริโภคเป็นอย่างดีคือ สับปะรดพันธุ์นางแล แต่ด้วยปัจจัยทางธรรมชาติและปัจจัยทางมนุษย์ทำให้สับปะรดที่ปลูกได้ในแหล่งภูมิศาสตร์นี้มีลักษณะที่แตกต่างจากสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต คือมีขนาดผลเล็ก มีน้ำหนักตั้งแต่ 150 – 1000 กรัม รูปร่างทรงกลม จุกใหญ่ ตั้งตรง รับประทานได้ทั้งเนื้อและแกน ตาเต่งตึงโปนออกมาจากผลอย่างเห็นได้ชัด เปลือกค่อนข้างหนา เหมาะสำหรับการขนส่งระยะไกล เมื่อสุกเปลือกผลจะมีสีเหลืองหรือเหลืองปนเขียว เนื้อสีเหลือง กรอบ กลิ่นหอม แกนสับปะรดกรอบรับประทานได้ มีความหวานปานกลาง ซึ่งต่อมาได้เรียกชื่อสับปะรดดังกล่าวว่า “สับปะรดพันธุ์ภูแล” โดยการนำเอาชื่อ “ภูเก็ต” ซึ่งเป็นแหล่งปลูกเดิมมาผสมคำกับแหล่งปลูกใหม่คือ “นางแล” และขยายพื้นที่การปลูกครอบคลุมสามตำบล คือ ตำบลนางแล ตำบลท่าสุต และตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2549)

สับปะรดเป็นแหล่งของวิตามิน แร่ธาตุ และสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ เช่น โบรมิเลน วิตามินซี เบต้าแคโรทีน และเป็นแหล่งสำคัญของใยอาหาร (Dietary fiber) ทั้งชนิดที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber) และไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) ซึ่งมีประโยชน์ต่อร่างกายมากมาย เช่น ช่วยระบบขับถ่าย ป้องกันโรคนิ่ว ลดโคเลสเตอรอล เป็นต้น โดยเฉพาะสับปะรดพันธุ์ภูแลมีใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เบต้าแคโรทีน วิตามินซี และปริมาณฟีนอลิกสูงกว่าสับปะรดพันธุ์อื่นๆ คือ ในเนื้อ 100 กรัม มีปริมาณ 0.34 กรัม 3.35 ไมโครกรัม 18.88 กรัม และ 26.20 มิลลิกรัม ตามลำดับ (สุทธิวัลย์และคณะ, 2553)



ภาพที่ 2.1 สับปะรดพันธุ์ภูแล

ผลิตภัณฑ์สับปะรดของไทยที่มีการส่งออกมีอยู่หลายประเภท ที่สำคัญสองอันดับแรกก็คือ สับปะรดกระป๋อง และน้ำสับปะรดเข้มข้น เนื่องจากมีมูลค่าการส่งออกมากถึง ร้อยละ 69 และ ร้อยละ 24 ของมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์สับปะรดทั้งหมดในปี 2554 นอกจากนี้ไทยยังมีการส่งออกสับปะรด และผลิตภัณฑ์สับปะรดอื่นๆ อีก ได้แก่ สับปะรดสด สับปะรดแช่เย็น สับปะรดแช่แข็ง สับปะรดแห้ง สับปะรดกวน โดยมีมูลค่าการส่งออกในปี 2554 เท่ากับ 28.6 75.2 57.7 และ 1932 ล้านบาท ตามลำดับ (สำนักบริหารการค้าสินค้าทั่วไป กลุ่มสินค้าเกษตร, 2554) ปัจจุบันมีการนำสับปะรดพันธุ์ ภูแลมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ไอศกรีมสับปะรด สับปะรดอบแห้ง เป็นต้น เพื่อลดปัญหา ผลผลิตล้นตลาดในบางฤดูกาล และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปสับปะรดพันธุ์ภูแลผลสดมีราคา กิโลกรัมละ 4-12 บาท เมื่อนำมาปอกจะจำหน่ายในราคากิโลกรัมละ 40-80 หากนำมาแปรรูปเป็น ผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งจะมีราคาเพิ่มถึง 600 -1,000 บาท โดยการแปรรูปจากวัตถุดิบ 5 กิโลกรัม จะได้สับปะรดภูแลอบแห้ง (ภาพที่ 2.2) ประมาณ 1 กิโลกรัม



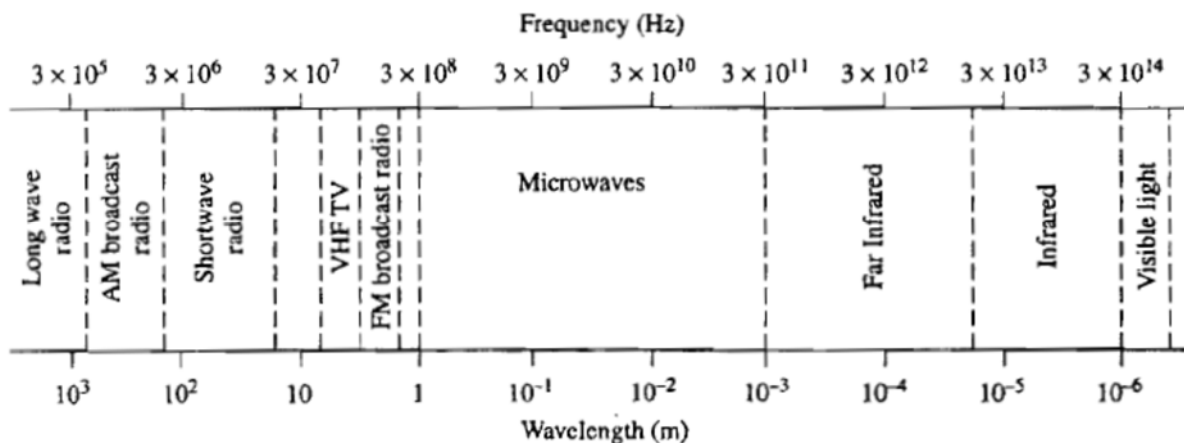
ภาพที่ 2.2 สับปะรดพันธุ์ภูแลอบแห้งด้วยลมร้อน 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 25 ชั่วโมง

2.2 การแปรรูปด้วยการอบแห้ง (Dehydration หรือ Drying)

เป็นวิธีการถนอมอาหารที่มีมาตั้งแต่สมัยโบราณ อาศัยหลักการ คือ การลดความชื้น (Moisture content) ของอาหารด้วยการระเหยน้ำ ซึ่งอาจทำได้ด้วยการอบแห้ง การทอด (Frying) หรือการระเหิด น้ำส่วนใหญ่ในอาหารออก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา เนื่องจากการทำแห้งเป็นการลดปริมาณน้ำในอาหาร ทำให้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทุกชนิดที่เป็นสาเหตุให้อาหารเสื่อมเสีย รวมถึงยับยั้งการทำงานของเอนไซม์หรือชะลอปฏิกิริยาต่างๆ ทั้งทางเคมีและทางชีวเคมี ทำให้อาหารปลอดภัย โดยการลดปริมาณน้ำในอาหารจะทำให้อาหารมีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (Water activity: a_w) น้อยกว่า 0.6 ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรค และสามารถยับยั้งการสร้างสารพิษของเชื้อราได้ นอกจากนี้ยังทำให้อาหารมีน้ำหนักเบา ลดปริมาตร เพิ่มความสะดวกในการขนส่ง การบริโภค หรือการนำไปเป็นวัตถุดิบในการแปรรูปต่อเนื่องด้วยวิธีอื่นๆ และยังเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคมากขึ้น ในปัจจุบันการทำแห้งและเครื่องทำแห้งที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารมีหลากหลายรูปแบบ เช่น เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drier) ตู้อบแห้ง (Cabinet drier) เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (belt drier) เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์ เบด (Fluidized bed drier) เครื่องทำแห้งแบบระเหิด (Freeze drier) เครื่องทำแห้งแบบสุญญากาศ (Vacuum drier) เครื่องอบแห้งด้วยอินฟราเรด (Infrared drier) เครื่องทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (Drum drier) เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ (Solar drier) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการออกแบบระบบการอบแห้งโดยใช้เทคนิคต่างๆ ร่วมกัน เช่น การใช้รังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน การใช้ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ การใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดระยะเวลาในการอบแห้ง การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันแพร่หลายเนื่องจากทำได้ง่ายและมีความเป็นไปได้ในระดับอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตามปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณน้ำที่มีในวัตถุดิบเริ่มต้น ลักษณะโครงสร้างภายในของวัตถุดิบ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง ความเร็วลม ชื้นความหนาของวัตถุดิบ ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งของแต่ละผลิตภัณฑ์แตกต่างกันไปเพื่อให้ได้ความชื้นสุดท้ายอยู่ในระดับที่ต้องการ การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง แต่หากใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สูญเสียคุณภาพที่พึงประสงค์ได้ เช่น มีสีที่เข้มเกินไปหรือเกิดการไหม้ การเกิดรอยแตกร้าวของผลิตภัณฑ์ เนื้อสัมผัสที่แข็งเกินไป

2.3 ไมโครเวฟ

เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความถี่อยู่ในช่วง 300 MHz ถึง 300 GHz. มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 1.0 mm – 1.0 m (Pozar, 2005) ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่างความยาวคลื่นวิทยุกับความยาวคลื่นอินฟราเรด ดังแสดงในภาพที่ 2.3 การให้ความร้อนด้วยตู้อบไมโครเวฟแตกต่างจากการให้ความร้อนด้วยเครื่องอบธรรมดา คือ เครื่องอบธรรมดาให้พลังงานความร้อนโดยเปลวไฟแบบเตาแก๊สหรือความร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ซึ่งทำให้อาหารสุกโดยการถ่ายเทความร้อน 3 วิธี คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี แต่ตู้อบไมโครเวฟทำให้อาหารสุกโดยคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่สูงถึง 2,450 ล้านรอบต่อวินาที ทำให้โมเลกุลของน้ำในอาหารสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่นๆ และเกิดเป็นพลังงานจลน์และพลังงานนี้จะกลายเป็นพลังงานความร้อน จากหลักการนี้ส่งผลทำให้อาหารสุกอย่างรวดเร็วกว่าอาหารที่อบด้วยพลังงานอื่นๆ (วิไล รังสาทอง. 2547)



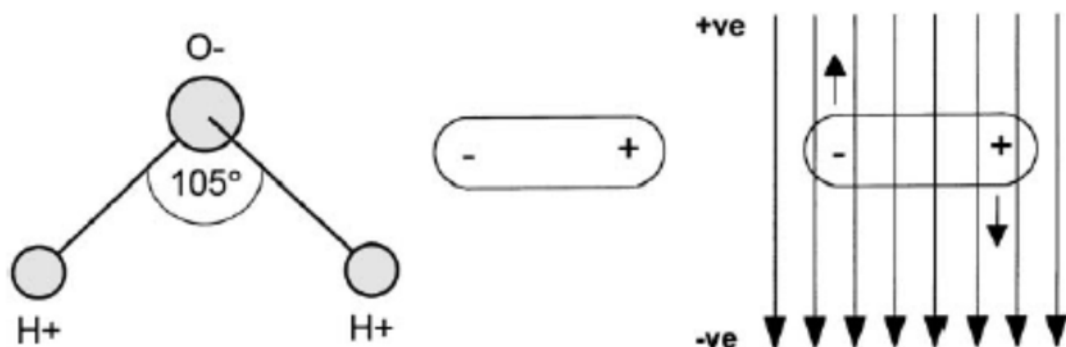
ภาพที่ 2.3 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ต่างๆ
ที่มา: Pozar (2005)

กลไกการเกิดความร้อนในไมโครเวฟ เมื่อคลื่นไมโครเวฟถูกดูดซับเข้าไปยังวัสดุจะสามารถทำให้เกิดความร้อนได้ 2 ลักษณะ ได้แก่

ก. Ionic Polarization เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายแล้วทำให้เกิดความร้อน แต่ละไอออน ซึ่งมีประจุไฟฟ้าถูกกระตุ้นให้มีการเคลื่อนที่ ทำให้มีการเสียดสีกับไอออนอื่น และมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อนและมีการถ่ายเทไปยังส่วนอื่นๆต่อไป การเกิดความร้อนแบบนี้เกิดได้ในของเหลวภายในเซลล์ซึ่งอยู่ในรูปสารละลาย

ข. Dipole Rotation เป็นการเกิดความร้อนของสารละลายที่มีขั้ว (Polar) คือ เมื่อสารอยู่ในสถานะปกติสารประกอบจะเรียงตัวประจุบวกและประจุลบไม่เป็นระเบียบ แต่เมื่อเข้าไปอยู่ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้าประจุมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางเพื่อเรียงตัวให้มีระเบียบ ดังแสดงในภาพที่ 2.4

จากภาพที่ 2.4 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของน้ำที่มีอะตอมของไฮโดรเจน 2 อะตอม และยึดกับออกซิเจน 1 อะตอม ทำมุม 105° เรียกโมเลกุลชนิดนี้ว่า ไดโพล (Dipole) การเรียงตัวโมเลกุลของน้ำในอาหารก่อนไม่เกิดสนามไฟฟ้าขึ้นจะมีทิศทางกระจาย (วิลโลว์ รังสาดทอง, 2547) การเคลื่อนที่ด้วยการหมุนกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็วขึ้นอยู่กับระดับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟประมาณ 915-2450 ล้านครั้งต่อวินาที ซึ่งผลของการหมุนตัวและการเสียดสีเป็นรูปแบบหลักในการเกิดความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟและการเกิดความร้อนจะเกิดจากภายในก่อนแล้วออกมาสู่ผิววัสดุอบแห้ง รูปแบบดังกล่าวที่กล่าวมาข้างต้น เป็นผลมาจากการสัมผัสคลื่นไมโครเวฟโดยตรง ส่วนที่ไม่มีการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟก็จะได้รับความร้อนจากการนำความร้อนและเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นไมโครเวฟทำให้เกิดความร้อนได้อย่างรวดเร็วและสูญเสียพลังงานน้อย เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อน (พฤทธิ, 2552) การใช้ไมโครเวฟโดยมีการควบคุมสถานะที่เหมาะสมในการอบแห้งอาหาร องค์ประกอบในอาหารที่เป็นน้ำจะถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วจนระเหยออกไป โดยที่ความร้อนดังกล่าวจะไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและรสชาติของอาหารทำให้เกิดความเสียหายได้ มีการพัฒนาการอบแห้งโดยการนำเทคนิคไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมาใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์หลายชนิด อาทิ แอปเปิ้ล พักทอง มันฝรั่ง แมคคาเดเมีย ลำไย (Silva et al., 2006; Alibus, 2007; Pereira et al., 2007; Varith et al., 2007; Li et al., 2010)



ภาพที่ 2.4 กลไกการเกิดความร้อนคลื่นไมโครเวฟ
ที่มา : Oloyede and Groombridge (2000)

2.4 บรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์ออบแห้ง

เนื่องจากลักษณะของผลิตภัณฑ์ออบแห้งอาจเป็นผง เป็นก้อน หรือเป็นชิ้น และต้องมีค่า water activity น้อยกว่า 0.6 ดังนั้นการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ควรต้องคำนึงถึงความสามารถในการป้องกันความชื้น โดยบรรจุภัณฑ์จะต้องป้องกันการดูดซึมกลับความชื้นจากสภาพแวดล้อมโดยรอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด คุณภาพ และความหนาของวัสดุที่ใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ออบแห้งที่มีส่วนประกอบที่ดูดน้ำได้ดี เช่น น้ำตาล ความชื้นจะทำให้เกิดการเน่าเสีย เช่น การเกาะกันเป็นก้อน มีการเยิ้มของน้ำตาล การเกิดกลิ่นหืน หรือน้ำที่ดูดกลับไปในอาหารทำให้มีค่า water activity เพิ่มขึ้น ทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญได้ บรรจุภัณฑ์ที่ดีจะต้องสามารถป้องกันอากาศโดยเฉพาะออกซิเจนจากสภาวะอากาศรอบๆ ผ่านเข้าไปในภาชนะบรรจุ หรืออาจมีการใช้สารดูดซับออกซิเจน เพื่อช่วยดูดซับออกซิเจนที่มีอยู่แล้วในบรรจุภัณฑ์ก่อนปิดผนึก รวมถึงที่จะซึมผ่านบรรจุภัณฑ์ในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้ยังควรมีความทนทานต่อการกดหรือการกระแทก เนื่องจากผลิตภัณฑ์ออบแห้งมักแข็ง เปราะ แตกง่าย และมีส่วนแหลมคมสามารถทิ่มแทงภาชนะบรรจุได้ โดยทั่วไปวัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ผลิตภัณฑ์แห้ง ได้แก่ โลหะ เช่น แผ่นเปลวอลูมิเนียม กระป๋องโลหะ พลาสติก เช่น PET หรือ แก้ว

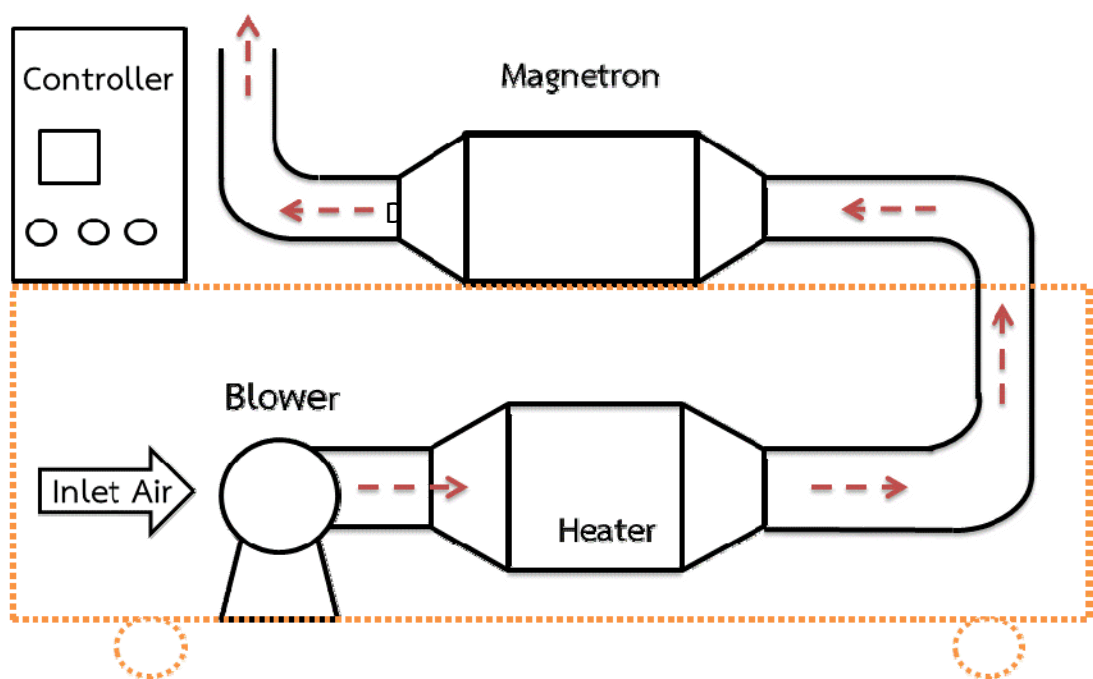
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน คือ

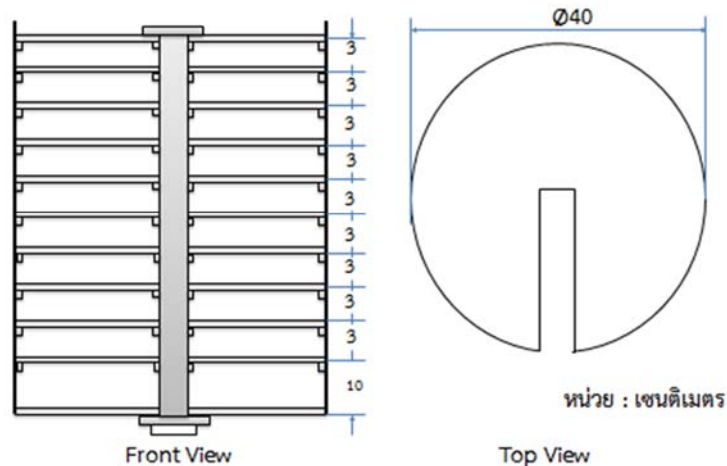
3.1 การทดลองที่ 1 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ออกแบบระบบห้องอบไมโครเวฟร่วมกับการอบลมร้อน (ภาพที่ 3.1) ห้องอบไมโครเวฟ ออกแบบเป็นห้องทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ใช้โลหะเคลือบเซรามิกทำเป็นผนังและหุ้มฉนวนที่ผนัง ขนาดห้องอบ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 60 x 60 x 60 เซนติเมตร โดยจะทำห้องอบทั้งหมด 3 ห้อง ในแต่ละห้องใช้ไมโครเวฟกำเนิดจากแมกนีตรอน ที่มีกำลังไฟฟ้าประมาณ 1.2 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว แต่ละห้องสามารถบรรจุสับปะรดได้ 5 กิโลกรัม และมีตะแกรงกันการกระจายของคลื่นในแต่ละห้อง จำนวน 1 ชั้น ออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 40 เซนติเมตร ชั้นวางสับปะรดมีจำนวน 10 ชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร โครงสร้างทำด้วยสแตนเลสออกแบบให้สามารถใช้งานกับไมโครเวฟได้ (ภาพที่ 3.2)



ภาพที่ 3.1 ระบบการอบลมร้อนร่วมกับเตาอบไมโครเวฟต้นแบบ

ภาชนะใส่ตัวอย่าง



ภาพที่ 3.2 ชั้นวางสำหรับใส่สับปะรดในห้องอบแห้ง

3.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต

ในเบื้องต้นเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งสับปะรดด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนขนาดเล็กที่มีอยู่เดิม (Lab scale ประมาณ 2 กิโลกรัมผลสดต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง) จากนั้นจึงทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ scale up ให้มีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 15 กิโลกรัมผลสดต่อครั้ง โดยศึกษาการเปิด-ปิดแมกนิตรอนเพื่อควบคุมการใช้พลังงานไมโครเวฟในการอบแห้ง อุณหภูมิของลมร้อน ระยะเวลาในการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่เหมาะสม ซึ่งจะเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระที่มีในตัวอย่าง (ค่า Water activity: a_w) และลักษณะปรากฏของตัวอย่าง โดยจะทำการทดลองอบแห้งจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีความชื้นร้อยละ 12-15 ฐานเปียก

การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในตัวอย่างอ้างอิงและดัดแปลงเล็กน้อยจากวิธี AOAC (2000) โดยอบภาชนะสำหรับหาความชื้นในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบใส่ไว้ในโถดูดความชื้น ปล่อยให้ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของภาชนะลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม จากนั้นชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัมใส่ลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักแล้ว จดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน และนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักและอบซ้ำครั้งละประมาณ 30 นาที จนได้ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้งติดกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้นในตัวอย่าง ดังนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างก่อนและหลังอบ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}}$$

การหาค่า a_w โดยใส่ตัวอย่างที่ลดขนาดแล้วลงในถ้วยพลาสติก นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ AQUA LAB รุ่น 4TE อ่านค่า a_w ที่ได้ ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

ข้อมูลปริมาณความชื้นและ a_w ในตัวอย่างรายงานเป็นค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของการวัด (Standard deviation: SD)

สำหรับการสังเกตการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของตัวอย่างทำโดยการถ่ายภาพเปรียบเทียบในแต่ละระยะเวลาของการอบแห้ง

เมื่อได้สภาวะการทำงานของไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตแล้ว จึงกำหนดคุณลักษณะของวัตถุดิบเริ่มต้น (Specification) เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพใกล้เคียงกัน ระบุขั้นตอนสำหรับการอบแห้ง และทดสอบด้วยประสาทสัมผัส โดยทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค (Acceptance test) ต่อผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w แตกต่างกัน ใช้วิธีการทดสอบความชอบตามสเกลฮีโดนิค (Hedonic test) 5 จุด ตั้งแต่ 1 ถึง 5 คะแนน (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 5 หมายถึง ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบจำนวน 150 คน ให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะ คือ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของสับปะรดลูกอบแห้ง (แบบทดสอบแสดงในภาคผนวก) เพื่อเลือกคุณลักษณะที่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคสำหรับการทดลองต่อไป

3.3 การทดลองที่ 3 ศึกษารูปแบบบรรจุภัณฑ์ต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและประเมินอายุการเก็บรักษาสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต

เลือกรูปแบบบรรจุภัณฑ์อย่างน้อย 3 แบบ สำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์สับปะรดลูกอบแห้งซึ่งใช้กระบวนการแปรรูปโดยใช้สภาวะการทดลองที่ดีที่สุดจากการทดลองที่ 2 ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและประเมินอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีทางตรง โดยเริ่มจากการระบุว่า อะไรที่เป็นสาเหตุให้สับปะรดลูกอบแห้งเกิดการเสื่อมเสีย ไม่ปลอดภัย หรือไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค จากนั้นเลือกวิธีการทดสอบสำหรับการหาคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ แล้ววางแผนศึกษาอายุการเก็บโดยกำหนดระยะเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดการเก็บรักษา ความถี่ของการสุ่มตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างดำเนินการศึกษาอายุการเก็บ เมื่อสุ่มตัวอย่างมาวิเคราะห์แล้วพบว่า ถึงจุดที่ผลิตภัณฑ์มีการเสื่อมเสียคุณภาพ ไม่เป็นตามข้อกำหนดแล้ว จะใช้ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการสังเกตและวิเคราะห์ เพื่อตัดสินว่าผลิตภัณฑ์สับปะรดลูกอบแห้งสามารถเก็บรักษานานเพียงใด

ในเบื้องต้นกำหนดการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์สับปะรดลูกอบแห้ง ดังนี้

คุณภาพทางกายภาพ

- (1) ปริมาณความชื้น (อ้างอิงตาม AOAC2000) ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2
- (2) ค่า a_w ทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2
- (3) ค่าสี วัดค่าสีในระบบ CIE $L^*a^*b^*$ (L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) a^* จะบรรยายถึงแกนสีจากเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปเหลือง ($+b^*$))

คุณภาพทางเคมี

(1) ปริมาณวิตามินซี โดยใช้วิธีการไทเทรตดัดแปลงเล็กน้อยจาก AOAC 2000 โดยชั่งตัวอย่าง 2 กรัม เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร พักไว้ประมาณ 10 นาที นำไปโฮโมจีไนส์และปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 10,000 rpm ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงปิเปตส่วนใส (Supernatant) จำนวน 2 มิลลิลิตร มาไทเทรตกับ 2, 6-dichloroindophenol บันทึกรายงานผลปริมาณวิตามินซี มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของตัวอย่างสับปะรดภูเก็ตโดยคำนวณจากสมการดังนี้

$$\text{Vitamin C (mg/100g fresh weight)} = \frac{V1 \times V3 \times 100}{V2 \times W}$$

โดย V1 = volume of sample (ml)
V2 = volume of titrated sample (ml)
V3 = volume of Indophenol for titrated sample (ml)
W = sample weight (g)

คุณภาพทางจุลินทรีย์

(1) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Plate Count: TPC) ด้วยวิธี 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate โดยเตรียมสารละลายเจือจางที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ปิเปต 1 มิลลิลิตรของสารละลายเจือจางลงบน Petrifilm พักไว้ประมาณ 3 - 5 นาทีเพื่อให้เจลเซตตัว จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 35±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง บันทึกจำนวนโคโลนีที่นับได้แล้วรายงานผลเป็นปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดในหน่วย CFU/g

(2) ปริมาณยีสต์และรา ด้วยวิธี 3M Petrifilm™ Yeast and Mold Count Plate โดยเตรียมสารละลายเจือจางที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ กัน ปิเปต 1 มิลลิลิตรของสารละลายเจือจางลงบน Petrifilm พักไว้ประมาณ 3 - 5 นาทีเพื่อให้เจลเซตตัว จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 - 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 - 5 วัน บันทึกจำนวนโคโลนีที่นับได้แล้วรายงานผลเป็นปริมาณยีสต์และราในหน่วย CFU/g

คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคโดยใช้วิธีการทดสอบความชอบตามสเกลฮีโดนิค (Hedonic test) 5 จุด ตั้งแต่ 1 ถึง 5 คะแนน (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 5 หมายถึง ชอบมากที่สุด) ใช้ผู้ทดสอบที่ผ่านการฝึกฝน จำนวน 5 คน ให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะ คือ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมของสับปะรดภูเก็ต

ทั้งนี้ การวิเคราะห์คุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาเพื่อใช้ประเมินอายุการเก็บรักษานั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสื่อมเสีย ไม่ปลอดภัย หรือไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค หลังจากได้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับสับปะรดภูเก็ตแล้ว ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ ออกแบบฉลาก เพื่อทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบสำหรับการวางจำหน่ายในขั้นต่อไป

3.4 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมของการแปรรูปสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการคำนวณเพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน รวมถึงการคำนวณต้นทุนสำหรับผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ตัวอย่างการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการคำนวณความคุ้มค่าและต้นทุนเปรียบเทียบระหว่างเตาอบลมร้อนและเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

รายการ	เตาอบลมร้อน	เตาอบลมร้อนไมโครเวฟ
ระยะเวลา	25 ชม	5 ชม
กำลังการผลิตต่อกะ	18 kg	4kg
กำลังไฟฟ้า (kW)	Fan 0.5 kW Heater 9 kW	Fan 0.5 kW Heater 5 kW MW 3.2 kW
พลังงานไฟฟ้าต่อกะ	237.5 kW.h	43.5 kW.h
ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อกะ	831.3 บาท	152.3 บาท
ค่าพลังงานไฟฟ้า	46.2 บาท/kg	38.1 บาท/kg
ค่าเครื่อง	180,000 บาท	150,000 บาท

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสับประรดพันธุ์กล้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสับประรดพันธุ์กล้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (รายละเอียดของแบบและขั้นตอนการสร้างแสดงในภาคผนวก 1) ประกอบด้วยห้องอบตัวอย่างทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์โดยใช้ สเตนเลสเป็นผนังและหุ้มฉนวนที่ผนัง มีความกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 60 x 60 x 60 เซนติเมตร จำนวน 3 ห้อง เชื่อมต่อกันตามแนวนอน (ภาพที่ 4.1) มีตะแกรงกั้นการกระจายของคลื่นในแต่ละห้อง และใช้ไมโครเวฟกำเนิดจาก แมกนีตรอนที่มีกำลังไฟฟ้าประมาณ 1.2 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัวต่อห้อง ภายในห้องอบมีชั้นสำหรับใส่ตัวอย่างลักษณะคล้ายจานหมุน จำนวน 8 ชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร โครงสร้างชั้นวางตัวอย่างทำจากสเตนเลสโดยออกแบบให้ใช้งานกับไมโครเวฟได้ สามารถหมุน และถอดประกอบได้ดังแสดงใน ภาพที่ 4.2 โดยสามารถใส่ตัวอย่างสับประรดสดเฉลี่ยประมาณ 5 กิโลกรัมต่อห้อง เท่ากับปริมาณวัตถุดิบรวม 15 กิโลกรัมต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง

ปัจจัยที่สามารถปรับสภาวะการทดลองของเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน มีดังนี้

1. กำลังไมโครเวฟ ในแต่ละห้องสามารถควบคุมกำลังไมโครเวฟได้แยกส่วนกัน สามารถตั้งค่ากำลังไมโครเวฟ โดยการกำหนดเวลาในการ ปิด-เปิด ในแต่ละรอบการทำงานของแมกนีตรอน โดยใช้เครื่องตั้งเวลาการ
2. ความเร็วลมในห้องอบแห้ง ในแต่ละห้องมีค่าเท่ากัน เนื่องจากห้องอบแห้งวางตัวแบบอนุกรมตามทิศทางการไหลของอากาศ สามารถปรับค่าได้โดยการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของพัดลมด้วย Frequency inverter มีค่าตั้งแต่ 0 - 50 Hertz
3. อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศเข้าห้องที่ 1 ซึ่งเครื่องสามารถอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงสุดได้ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิแบบ PID ไปควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อน ซึ่งมีขนาด 9 กิโลวัตต์
4. ความเร็วรอบของพัดลมในแต่ละห้องสามารถควบคุมได้แยกกัน โดยใช้ Frequency inverter สามารถควบคุมในช่วง 0 - 30 รอบต่อนาที

การทำงานของเครื่องอบแห้งสับประรดพันธุ์กล้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เริ่มจากการเปิดแมกนีตรอนซึ่งมีการปล่อยคลื่นไมโครเวฟเข้าไปในห้องอบแห้ง โดยทั้ง 3 ห้อง มีการเปิด-ปิด สลับกันเพื่อไม่ให้แมกนีตรอนทำงานหนักเกินไป ในระหว่างที่แมกนีตรอนทำงาน ตัวอย่างสับประรดมีการดูดซับคลื่นไมโครเวฟไว้ภายใน ทำให้โมเลกุลของน้ำที่อยู่ภายในเกิดการสั่นสะเทือนและมีความร้อนเกิดขึ้นจากภายในสับประรด เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ ดังนั้นน้ำภายในจึงเคลื่อนที่มายู่ที่บริเวณผิวของสับประรด ซึ่งในขณะเดียวกันการเปิดลมร้อนทำให้มีการพัดพาความชื้นบริเวณผิวออกสู่สภาวะแวดล้อม



ภาพที่ 4.1 เครื่องอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน



ภาพที่ 4.2 ชั้นวางสับปะรดสดสามารถถอดประกอบได้เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

4.2 สถานะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับสับประรดพันธุ์กล้วย

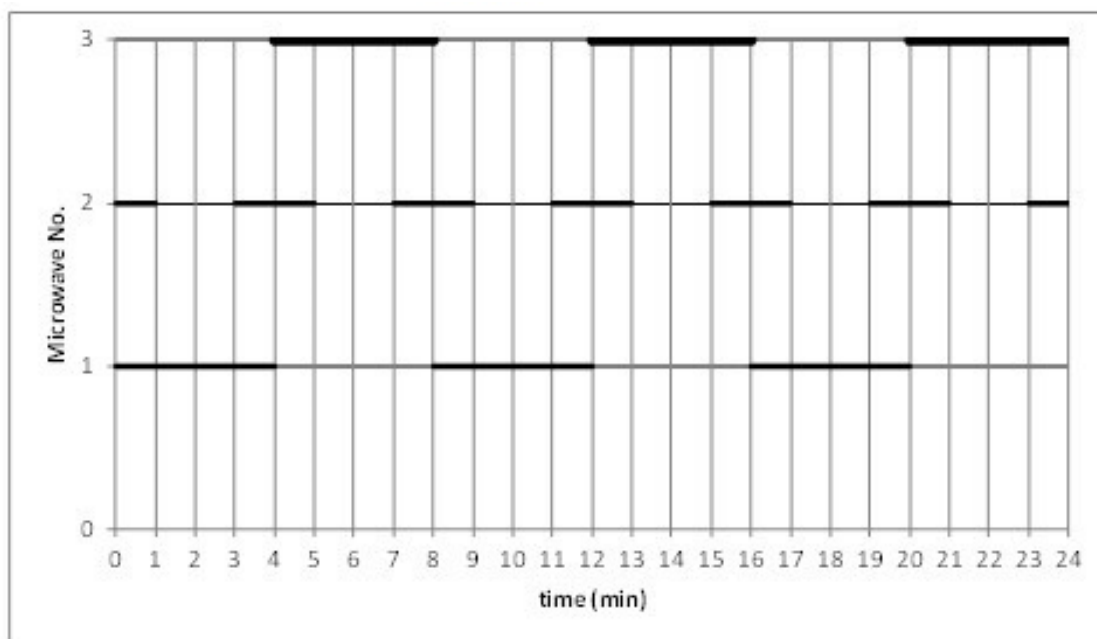
ในเบื้องต้นได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับอบแห้งสับประรดพันธุ์กล้วย โดยใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนขนาดเล็กที่มีอยู่เดิม (Lab scale) ซึ่งสามารถอบแห้งสับประรดสดได้ครั้งละประมาณ 2 กิโลกรัมต่อครั้ง อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟที่ขนาดกำลัง 400 600 และ 900 วัตต์ (รายละเอียดผลการทดลองแสดงในภาคผนวก 2) สามารถสรุปเป็นข้อมูลเบื้องต้นได้ดังนี้

1. การอบแห้งสับประรดพันธุ์กล้วยด้วยระดับพลังงานของไมโครเวฟที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ความชื้นในตัวอย่างลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบ ณ อุณหภูมิของลมร้อนเดียวกัน

2. การใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ความชื้นในตัวอย่างลดลงเร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ

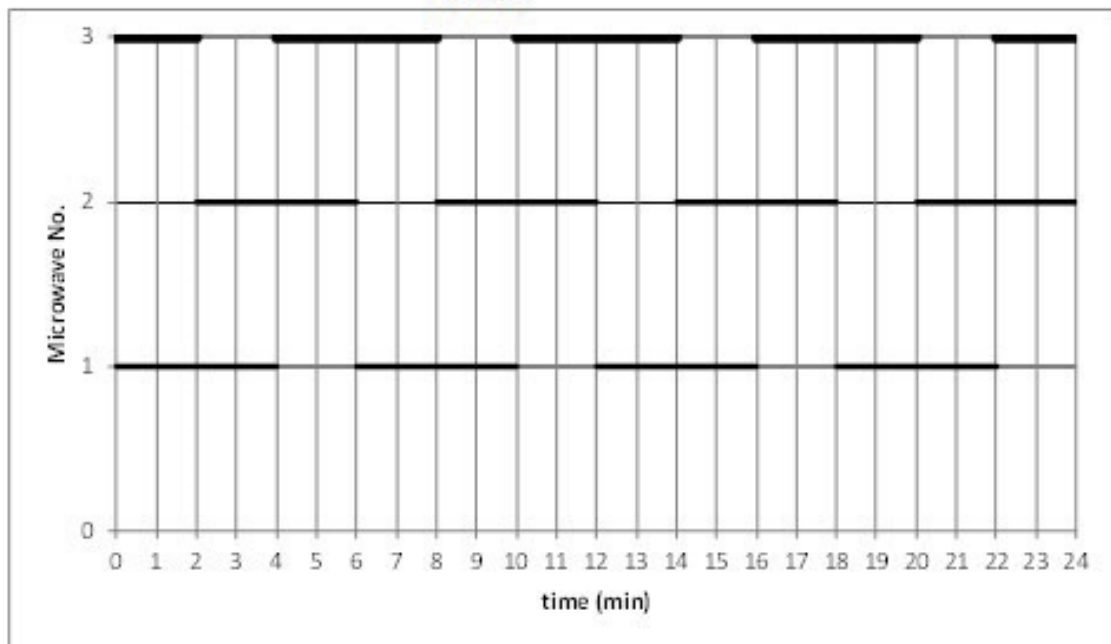
3. เมื่อพิจารณาจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก มพข. 136/2558) และลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์สับประรดกล้วยอบแห้ง สรุปได้ว่าสถานะที่เหมาะสมของการอบแห้งคือ กำลังไมโครเวฟที่ระดับพลังงาน 400 วัตต์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

ต่อมาเมื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนซึ่งขยายขนาดเครื่อง (Scale up) ให้มีปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 15 กิโลกรัมผลสดต่อครั้งแล้ว จึงทำการทดลองเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปสับประรดกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เริ่มจากการกำหนดระบบการทำงานของไมโครเวฟโดยตั้งระยะเวลาการเปิด-ปิดแมกนีตรอนแตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 4.3 และ 4.4 ทั้งนี้เพื่อให้การกระจายตัวของไมโครเวฟเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงบริเวณภายในห้องอบ จากนั้นกำหนดอุณหภูมิของลมร้อน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และตั้งความเร็วลมที่ 0.5 เมตรต่อวินาที โดยการเคลื่อนตัวของลมร้อนดังแสดงในภาพที่ 4.5 จากผลการทดลองพบว่า สถานะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งสับประรดพันธุ์กล้วย คือ การใช้ไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง (เปิด-ปิดแมกนีตรอน 4 และ 2 นาที ตามลำดับ) ร่วมกับการใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ลดอุณหภูมิลงเป็น 45 องศาเซลเซียสอีก 2 ชั่วโมง จากนั้นปิดแมกนีตรอนแล้วใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ การลดอุณหภูมิของลมร้อนลงเมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 3 ของการอบแห้งเพื่อลดการเกิดรอยไหม้บนผิวของตัวอย่าง ซึ่งรอยไหม้อาจเกิดจากการสะสมความร้อนภายในชิ้นสับประรด และการกระจายตัวของคลื่นไมโครเวฟไม่สม่ำเสมอ เมื่ออบแห้งต่อไปจนครบ 4 ชั่วโมง จึงปิดแมกนีตรอน แล้วใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและค่า a_w จากการอบแห้งด้วยสถานะดังกล่าวข้างต้นดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของชิ้นตัวอย่างสับประรดแสดงในภาพที่ 4.6 โดยสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลงเป็นประมาณ 7 ชั่วโมง



Microwave	Power W	cycle time (min)	On time (min)	OFF time (min)	Pulse Ratio	Average Power W
No.1	2000	6	4	4	2	1000
No.2	2000	4	2	2	2	1000
No.3	2000	6	4	4	2	1000
Total	6000					3000

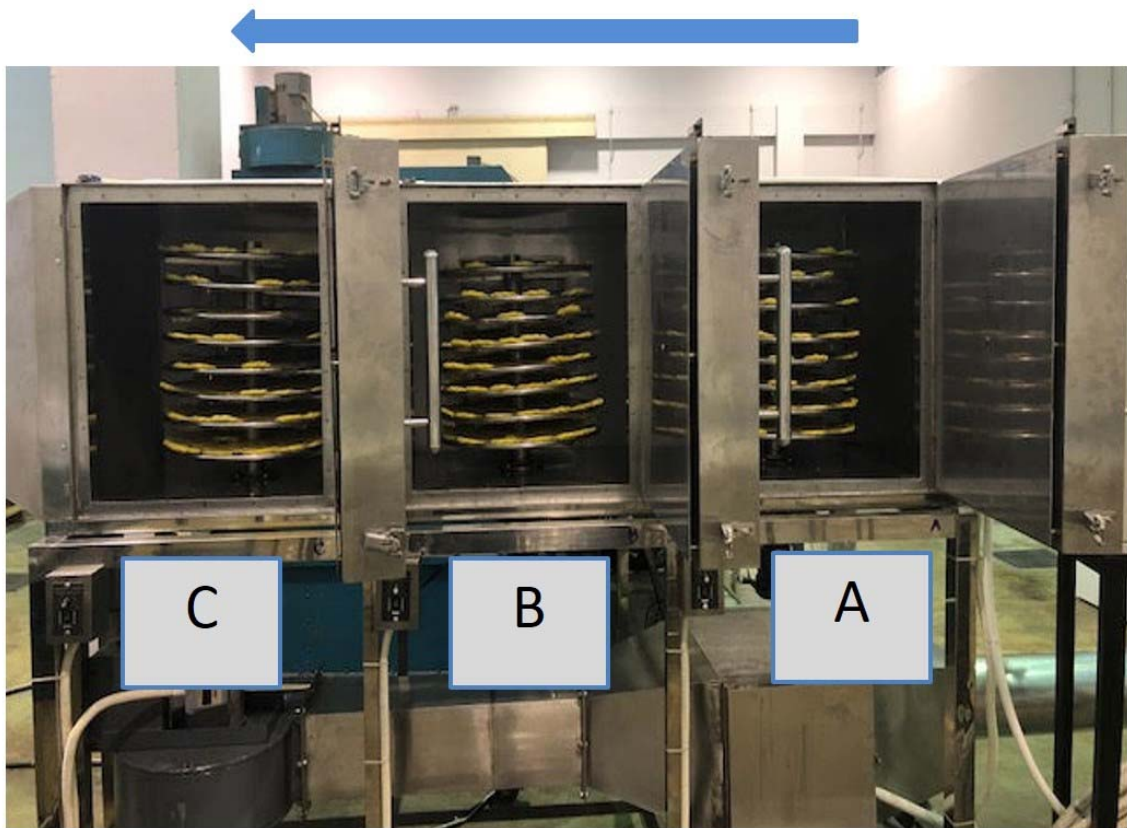
ภาพที่ 4.3 แผนผังการใช้ไมโครเวฟโดยการเปิด-ปิดแมกนิตรอน 2 และ 2 นาที ตามลำดับ



Microwave	Power W	cyde time (min)	On time (min)	OFF time (min)	Pulse Ratio	Averge Power
No.1	2000	6	4	2	1.5	1333.333333
No.2	2000	6	4	2	1.5	1333.333333
No.3	2000	6	4	2	1.5	1333.333333
Total	6000					4000

ภาพที่ 4.4 แผนผังการใช้ไมโครเวฟโดยการเปิด-ปิดแมกนีตรอน 4 และ 2 นาที ตามลำดับ

Air Flow



ภาพที่ 4.5 ทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อน

ตารางที่ 4.1 สถานะการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

การเปิด-ปิด แมกนีตรอน	อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในแต่ละชั่วโมงของการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)								
	ชม.ที่ 1	ชม.ที่ 2	ชม.ที่ 3	ชม.ที่ 4	ชม.ที่ 5	ชม.ที่ 6	ชม.ที่ 7	ชม.ที่ 8	ชม.ที่ 9
2 - 2	60	60	60	60	60	60	60	60	60
4 - 2	70	70	45	45	60	60	60	-	-

หมายเหตุ

ในช่องตารางสีทึบ หมายถึง มีการใช้ไมโครเวฟ

ตารางที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของตัวอย่างสับปรดพันธุ์กล้วยแลในระหว่างการอบแห้ง

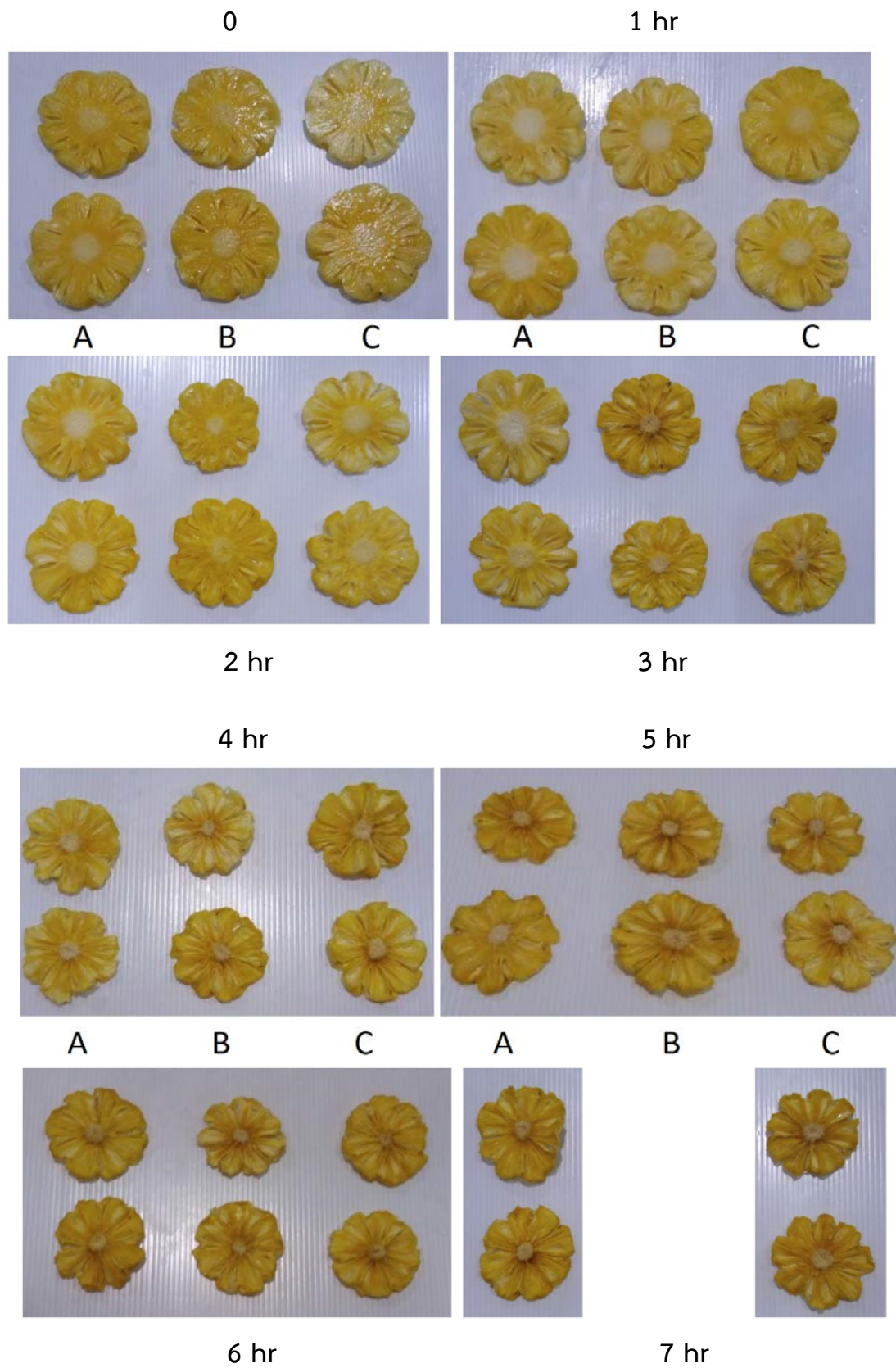
ระยะเวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมงที่)	ปริมาณความชื้น (%Wet basist)		
	A	B	C
0	83.79±0.55 ^{a*}	83.79±0.55 ^a	83.79±0.55 ^a
1	80.91±0.50 ^{*a}	78.87±0.42 ^b	76.27±1.27 ^c
2	60.55±0.28 ^a	48.13±1.10 ^b	62.60 ±1.83 ^a
3	61.85±1.16 ^a	29.20±0.72 ^c	48.85±0.69 ^b
4	33.19±0.50 ^a	15.65±0.31 ^c	22.43±0.61 ^b
5	25.29±1.14 ^a	12.65±0.25 ^c	17.94±0.07 ^b
6	23.39±1.34 ^a	12.89±0.09 ^b	14.30±0.24 ^b
7	15.85±0.26 ^a	-	12.84±0.22 ^b
8	10.83±1.74 ^a	-	-

*Mean±SD, n = 5

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่า a_w ของตัวอย่างสับปรดพันธุ์กล้วยแลในระหว่างการอบแห้ง

ระยะเวลาในการอบแห้ง (ชั่วโมงที่)	a_w		
	A	B	C
0	0.99±0.01 ^{a*}	0.99±0.01 ^a	0.99±0.01 ^a
1	0.99±0.00 ^a	0.99±0.00 ^{ab}	0.98±0.00 ^b
2	0.96±0.00 ^a	0.93±0.00 ^b	0.96±0.00 ^a
3	0.96±0.00 ^a	0.79±0.01 ^c	0.93±0.01 ^b
4	0.82±0.01 ^a	0.54±0.00 ^c	0.68±0.00 ^b
5	0.74±0.00 ^a	0.47±0.00 ^c	0.60±0.00 ^b
6	0.69±0.01 ^a	0.47±0.00 ^b	0.50±0.00 ^{ab}
7	0.56±0.01 ^a	-	0.49±0.00 ^b
8	0.55±0.01 ^a	-	-

*Mean±SD, n = 5



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงลักษณะปรากฏของสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตในระหว่างการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

เมื่อได้สภาวะการอบแห้งสำหรับสับปะรดพันธุ์ภูแลแล้ว จึงศึกษาข้อมูลคุณภาพเริ่มต้นของวัตถุดิบสับปะรดที่เหมาะสม และสรุปขั้นตอนกระบวนการแปรรูปได้ดังนี้

(1) **วัตถุดิบ** สับปะรดพันธุ์ภูแลควรมีค่าความหวานโดยวัดเป็นปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid: TSS^oBrix) อยู่ในช่วง 12-14 ^oBrix ซึ่งหากใช้สับปะรดที่มีความหวานน้อยกว่า จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสชาติค่อนข้างเปรี้ยว และมีสีเหลืองซีด ในขณะที่หากใช้สับปะรดที่มีความหวานมาก จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีสีเหลืองเข้มและเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสับปะรดที่มีระดับความหวานที่ต่ำกว่า และควรมีขนาด 3-4 ลูกผลสดต่อกิโลกรัม

(2) **การเตรียมตัวอย่าง** ควรปอกและเลาะตาสับปะรดด้วยมีดคมเพื่อลดการบอบช้ำบริเวณรอยตัด ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเหลืองเข้ม นำมาล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นหั่นตามแนวนอนให้มีความหนาประมาณ 0.8 เซนติเมตร โดยต้องควบคุมความหนาให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด สามารถประยุกต์ใช้เครื่องสไลซ์เนื้อเพื่อให้ชิ้นสับปะรดมีความหนาเท่ากันได้

(3) **การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน** นำชิ้นสับปะรดที่หั่นแล้ววางเรียบในชั้นใส่ตัวอย่าง โดยเรียงให้กระจายตัวสม่ำเสมอ จากนั้นอบแห้งด้วยสภาวะดังกล่าวข้างต้น เมื่อครบระยะเวลาแล้ว ปิดเครื่องอบแห้ง และรอจนกระทั่งตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับสภาพแวดล้อมเพื่อลดการดูดความชื้นกลับ แล้วจึงเก็บสับปะรดอบแห้งในถุงพลาสติกเพื่อรอการบรรจุต่อไป

สำหรับการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค (Acceptance test) ต่อสับปะรดพันธุ์ภูแลอบแห้งที่มีค่า a_w แตกต่างกันโดยเตรียมตัวอย่างจากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนให้มีค่า a_w มากกว่า 0.7 (Semi-dried) และ 0.5-0.6 (ตามมาตรฐาน มพช.136/2558) และตัวอย่างสับปะรดอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (ชุดควบคุม 45 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 25 ชั่วโมง) ที่มีค่า a_w เท่ากับ 0.6 ใช้วิธีการทดสอบความชอบตามสเกลฮีโดนิค (Hedonic test) 5 จุด ตั้งแต่ 1 ถึง 5 คะแนน (1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 5 หมายถึง ชอบมากที่สุด) มีสรุปข้อมูลพื้นฐานของผู้ทดสอบดังนี้

(1) จำนวนผู้ทดสอบทั้งหมด 156 คน เป็นเพศชาย 48 คน (ร้อยละ 30.8) เพศหญิง 106 คน (ร้อยละ 67.9) และไม่ระบุเพศ 2 คน (ร้อยละ 1.3)

(2) อายุน้อยกว่า 15 ปี จำนวน 6 คน (ร้อยละ 3.8) อายุ 16-25 ปี จำนวน 68 คน (ร้อยละ 43.6) อายุ 26-35 ปี จำนวน 28 คน (ร้อยละ 17.9) อายุ 36-45 ปี จำนวน 27 คน (ร้อยละ 17.4) อายุ 46-55 ปี จำนวน 13 คน (ร้อยละ 8.4) และอายุมากกว่า 55 ปี จำนวน 14 คน (ร้อยละ 8.9)

(3) เชื้อชาติไทย จำนวน 125 คน (ร้อยละ 80.1) จีน จำนวน 20 คน (ร้อยละ 12.8) และอื่นๆ (มาดากาสการ์ เนปาล อินโดนีเซีย เยอรมัน ดัตช์ ออสเตรเลีย ฟิลิปปินส์ โปแลนด์ และไต้หวัน) จำนวน 11 คน (ร้อยละ 7.1)

ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบในคุณลักษณะ คือ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมของสับปะรดภูแลอบแห้ง (ตารางที่ 4.4) พบว่า ตัวอย่างที่อบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนให้มีค่า a_w มากกว่า 0.7 (Semi-dried) มีค่าเฉลี่ยคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด คือ 4.07 และเมื่อสอบถามโอกาสในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์สับปะรดภูแลอบแห้งหากมีว่างจำหน่าย พบว่า ผู้ทดสอบจำนวน 49 คน (ร้อยละ 31.4) ต้องการซื้ออย่างแน่นอน ในขณะที่ผู้ทดสอบจำนวน 99 คน อาจจะซื้อ

ผลิตภัณฑ์ ขึ้นอยู่กับราคาขาย (ร้อยละ 63.5) นอกจากนี้มีข้อคิดเห็นต่อผลิตภัณฑ์สับปะรดภูเก็ตแพคเกจดังต่อไปนี้

- มีบางส่วนที่เหนียวเกินไป
- รูปร่างภายนอกสวยงาม รสชาติดี ชอบแบบที่ 2
- ไม่ค่อยมีกลิ่นและรสชาติ เหนียวเกินไป ไม่มีกลิ่น สีจางไป
- พัฒนากลิ่นกับเนื้อสัมผัส ให้ไม่แข็งหรือเหนียว
- รสชาติดี ชอบอันแรก กลิ่นหอมมากเนื้อสัมผัสหนึบๆ หวานล้นดี
- ถ้าไม่มีแกนกลาง น่าจะทานง่ายกว่านี้
- เป็นการแปรรูปผลิตภัณฑ์พื้นถิ่นที่ดีมาก ช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มได้ดี
- ขนาดทานยากไปนิดหนึ่ง ควรทำให้พอดีคำ
- สีใกล้เคียงกัน รสชาติไม่ต่างกันมาก แต่ชอบเนื้อสัมผัสที่หนึบๆ มากที่สุด
- ทั้งสามแบบเห็นความแตกต่างชัดเจน ส่วนตัวชอบแบบที่ 1 ค่ะ เพราะได้กลิ่นมากกว่าอันอื่น
- ควรนำแกนตรงกลางออก
- รูปลักษณ์และสี ควรทำให้น่ากินมากกว่านี้ รสชาติยังไม่แปลกใหม่
- ยังค่อนข้างเฉยๆ แต่ไม่ได้แย่นะคะ ส่วนตัวชอบแบบแรกที่สุดค่ะ พัฒนาต่อไปเรื่อยๆ นะคะ สู้ๆ ค่ะ
- แบบแรกรสชาติดี แต่เนื้อเหนียวไปนิดหนึ่ง ทำเป็นดอกไม้ก็น่ารัก น่าทาน ไอเดียดี
- สีไม่ดึงดูดผู้ซื้อสักเท่าไร แต่รสชาติโดยรวมถือว่าอร่อย
- รสชาติเบาไปหน่อยจ้ะ
- ชอบอันแรก รสชาติดี
- Making good packaging
- รู้สึกรังเกียจน้ำอยู่นิดๆ
- แบบแรกนุ่ม มีรสเปรี้ยวอมหวาน แบบที่สองแข็งไป แต่ไม่หวานมากเหมาะกับคนไม่ชอบหวาน แบบที่สาม นุ่มหวาน
- อยากให้ทำมาขายเร็วๆ นี้เลยนะคะ
- อร่อยค่ะ สวยด้วย
- รสชาติอร่อยค่ะ แต่รสสัมผัสชอบแบบหนึบๆ
- รสชาติดี ควรปรับปรุงให้แห้งอีกนิด
- ชอบ อร่อย
- ชอบแบบแรกมากที่สุด
- อร่อยค่ะ
- อยากได้แบบเป็นต้นๆ ครับ ทำเกี่ยวกับส่งออก 09-2443-3343, 08-4422-2315
- ในภาพรวมเป็นการแปรรูปที่มีคุณภาพและแก้ปัญหาราคาสับปะรดภูเก็ตให้มีคุณค่าดีขึ้น

กล่าวได้ว่า ผู้บริโภคยอมรับผลิตภัณฑ์สับปะรดพันธุ์ภูเก็ตแพคเกจด้วยไม่ใคร่เวฟร่วมกับลมร้อน อย่างไรก็ตามหากเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมน่าจะเป็นการเพิ่มโอกาสและช่องทางการวางจำหน่ายผลิตภัณฑ์ได้

ตารางที่ 4.4 คะแนนความชอบเฉลี่ยต่อคุณลักษณะของสับปรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้ง

คุณลักษณะ	คะแนน		
	$a_w > 0.7$	$a_w 0.5-0.6$	Control
สี	4.07 ± 0.07^a	4.10 ± 0.07^a	3.78 ± 0.07^b
กลิ่น	4.03 ± 0.08^a	3.68 ± 0.08^b	3.63 ± 0.08^b
รสชาติ	4.08 ± 0.08^a	3.70 ± 0.08^b	3.71 ± 0.08^b
เนื้อสัมผัส	3.89 ± 0.08^a	3.61 ± 0.08^b	3.76 ± 0.08^{ab}
ความชอบโดยรวม	4.07 ± 0.07^a	3.72 ± 0.07^b	3.72 ± 0.07^b

4.3 รูปแบบบรรจุภัณฑ์และประเมินอายุการเก็บรักษาสับปรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้ง

จากการทดลองที่ 2 พบว่า ผู้บริโภคให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์สับปรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้งที่มีค่า a_w มากกว่า 0.7 (Semi-dried) โดยมีคะแนนความชอบโดยรวมสูงสุด อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ผักและผลไม้กึ่งแห้งในประเทศไทย ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานที่ชัดเจน สำหรับผลไม้ที่มีปริมาณน้ำตาลโดยธรรมชาติสูง เช่น ฝรั่ง สามารถแปรรูปเป็นผลไม้กึ่งแห้งได้โดยมีปริมาณความชื้นสูงได้ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ (FAO) นอกจากนี้การเก็บรักษาผลไม้กึ่งแห้งที่อุณหภูมิต่ำ น่าจะสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพได้ และเมื่อพิจารณาจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผักและผลไม้แห้ง มพช.136/2558 มีการกำหนดปริมาณความชื้นไม่เกินร้อยละ 12 ค่า a_w ไม่เกิน 0.6 คณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพและประเมินอายุการเก็บรักษาด้วยวิธีทางตรง โดยใช้ตัวอย่างสับปรดพันธุ์กล้วยแลอบแห้งที่มีปริมาณความชื้นและ ค่า a_w 2 ระดับ คือ ตัวอย่างกึ่งแห้ง (Semi-dried 20%MC, 0.65 a_w) และตัวอย่างแห้ง (Dried 12%MC, 0.5 a_w) จากนั้นบรรจุในบรรจุภัณฑ์ 3 แบบ คือ ถุงสุญญากาศ (Vacuum Packing: VP) กระป๋องพลาสติกแบบมีฝาอะลูมิเนียมฟลอยด์ (Easy open can: EO) และถ้วยพลาสติกปิดฟิล์มด้านบน (Top sealed: TS) ดังแสดงในภาพที่ 4.7 สำหรับตัวอย่างกึ่งแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส และตัวอย่างแห้งเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง จากการพิจารณาพบว่า มีหลายปัจจัยที่ทำให้ผลิตภัณฑ์สับปรดกล้วยแลอบแห้งเกิดการเสื่อมเสีย ไม่ปลอดภัย หรือไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค กล่าวคือ ค่า a_w ปริมาณความชื้น หรือปริมาณจุลินทรีย์ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน หรือสีคล้ำ ในการทดลองจึงวางแผนสุ่มตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง ทุก 7 วัน เป็นเวลา 60 วัน เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น

สำหรับสับปรดพันธุ์กล้วยแลอบกึ่งแห้ง พบว่า ปริมาณความชื้น ค่า a_w และ L^* ของตัวอย่างที่บรรจุแบบ EO มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา คือ อยู่ระหว่าง 18.56–20.97, 0.6061–0.6500 และ 66.40–74.60 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.5) ในขณะที่ตัวอย่างบรรจุแบบ VP และ TS มีค่าความสว่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณวิตามินซีในทุกตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.6 มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 4.7 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มพช.136/2558 (น้อยกว่า 6 log CFU/g) คะแนนความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์สับปรดกล้วยแลอบแห้ง (ตารางที่ 4.8) พบว่า เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 5 สัปดาห์ ตัวอย่างที่บรรจุแบบ EO และ TS มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับยอมรับได้ (คะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 3) หลังจากนั้นคุณภาพไม่

เป็นที่ยอมรับจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อพิจารณาจากข้อมูลทั้งหมดแล้ว สามารถประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์สับปะรดกึ่งอบแห้ง ($a_w > 0.7$) ที่เก็บรักษาในอุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียสได้ประมาณ 5 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้



ภาพที่ 4.7 รูปแบบการบรรจุสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตกึ่งแห้ง (Semi-dried)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความสว่าง L^* ของสับปะรดพันธุ์ภูแลอบกึ่งแห้ง (Semi-dried) ที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน

Weeks	Conditions		
	Vacuum Packaging	Easy Open	Top Sealed
ปริมาณความชื้น (%MC)			
0	20.97±1.17 ^{Aa}	20.97±1.17 ^{Aa}	20.97±1.17 ^{Aa}
1	21.16±4.14 ^{Aa}	19.29±1.18 ^{Aa}	22.27±0.68 ^{Aa}
2	21.38±1.54 ^{ABa}	18.90±0.58 ^{Ba}	22.89±1.54 ^{Aa}
3	24.90±0.31 ^{Aa}	18.56±1.29 ^{Ba}	22.00±2.99 ^{ABa}
4	24.97±1.57 ^{Aa}	18.91±0.52 ^{Ba}	24.88±1.63 ^{Aa}
5	22.62±2.39 ^{Aa}	20.53±1.08 ^{Aa}	21.96±1.99 ^{Aa}
6	23.53±1.69 ^{Aa}	20.01±0.31 ^{Aa}	23.60±4.58 ^{Aa}
7	24.37±2.12 ^{Aa}	20.80±3.36 ^{Aa}	22.79±1.14 ^{Aa}
8	23.05±3.50 ^{Aa}	20.16±1.43 ^{Aa}	21.29±0.98 ^{Aa}
a_w			
0	0.6500±0.02 ^{Ab}	0.6500±0.02 ^{Aa}	0.6500±0.02 ^{Ac}
1	0.7153±0.04 ^{Aa}	0.6229±0.01 ^{Bab}	0.6762±0.02 ^{Abc}
2	0.6928±0.02 ^{ABab}	0.6082±0.00 ^{Bb}	0.6774±0.01 ^{Abc}
3	0.7272±0.01 ^{Aa}	0.6194±0.03 ^{Bab}	0.6626±0.03 ^{Bbc}
4	0.7165±0.03 ^{Aa}	0.6061±0.00 ^{Cb}	0.6717±0.02 ^{Bbc}
5	0.6894±0.05 ^{ABab}	0.6448±0.02 ^{ABab}	0.6683±0.04 ^{Abc}
6	0.6932±0.02 ^{ABab}	0.6287±0.01 ^{Bab}	0.7177±0.03 ^{Aa}
7	0.7133±0.02 ^{Aa}	0.6292±0.03 ^{Bab}	0.6918±0.01 ^{ABab}
8	0.6668±0.06 ^{ABab}	0.6216±0.04 ^{ABab}	0.6567±0.01 ^{Abc}
L^*			
0	70.02±3.76 ^{Aa}	70.02±3.76 ^{Abcd}	70.02±3.76 ^{ABab}
1	69.60±6.94 ^{ABab}	73.60±1.00 ^{ABab}	72.00±6.44 ^{ABab}
2	63.60±2.34 ^{Bab}	74.50±0.99 ^{Aa}	72.20±2.46 ^{ABab}
3	67.10±3.14 ^{Bab}	74.60±0.90 ^{Aa}	73.70±0.87 ^{Aa}
4	65.40±2.81 ^{Bab}	73.70±2.01 ^{ABab}	69.10±2.90 ^{ABab}
5	65.70±6.27 ^{ABab}	73.80±4.39 ^{ABab}	73.70±1.45 ^{Aa}
6	67.50±3.16 ^{Bab}	73.40±0.30 ^{ABab}	73.20±1.86 ^{Aa}
7	55.70±3.21 ^{Bc}	69.40±0.95 ^{Ac}	67.20±0.02 ^{Abc}
8	61.30±6.01 ^{ABc}	66.40±0.81 ^{Ad}	62.60±1.46 ^{Ac}

Mean±SD, n=3 ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันตามแนวนอน ตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณวิตามินซีของสับปะรดพันธุ์ภูแลอบกึ่งแห้ง (Semi-dried) ที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน

Weeks	Conditions		
	Vacuum Packaging	Easy Open	Top Sealed
0	12.25±1.69 ^{Aa}	12.25±1.69 ^{Aa}	12.25±1.69 ^{Aa}
1	6.60±0.67 ^{Ab}	7.85±1.02 ^{Abc}	6.53±0.96 ^{Abc}
2	6.46±1.81 ^{Ab}	9.79±1.78 ^{Ab}	8.89±3.59 ^{Ab}
3	3.40±2.11 ^{Acd}	4.86±1.34 ^{Ad}	4.17±0.91 ^{Acd}
4	4.31±1.53 ^{Abcd}	5.00±0.42 ^{Ad}	3.40±0.32 ^{Ad}
5	4.17±0.72 ^{Abcd}	6.04±1.57 ^{Acd}	4.65±0.84 ^{Acd}
6	4.17±0.95 ^{ABbcd}	5.00±0.56 ^{Ad}	2.85±1.07 ^{Bd}
7	2.29±0.36 ^{Bd}	4.79±0.75 ^{Ad}	5.07±0.79 ^{Acd}
8	5.21±0.65 ^{Abc}	6.32±0.73 ^{Acd}	5.63±1.65 ^{Acd}

Mean±SD, n=3 ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันตามแนวนอน ตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.7 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g) ในสับปะรดพันธุ์ภูแลอบกึ่งแห้ง (Semi-dried) ที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน

Weeks	Conditions		
	Vacuum Packaging	Easy Open	Top Sealed
0	4.27	4.27	4.27
1	5.39	4.77	4.36
2	5.18	4.51	5.00
3	5.93	4.78	5.08
4	5.28	4.63	4.22
5	4.65	4.48	4.72
6	4.30	4.51	4.54
7	4.90	4.08	4.48
8	3.80	4.26	4.01

ตารางที่ 4.8 คะแนนความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์สับประรดเกลืออบแห้ง (Semi-dried) ที่บรรจุในสถานะแตกต่างกัน

Weeks	Conditions		
	Vacuum Packaging	Easy Open	Top Sealed
0	4.60±0.00 ^{Aa}	4.60±0.00 ^{Aa}	4.60±0.00 ^{Aa}
1	2.87±0.12 ^{Cb}	4.20±0.00 ^{Ab}	3.40±0.20 ^{Bc}
2	2.20±0.40 ^{Bc}	3.33±0.23 ^{Ac}	2.87±0.31 ^{Ae}
3	1.93±0.12 ^{Cc}	2.67±0.12 ^{Bd}	3.80±0.20 ^{Ab}
4	2.13±0.23 ^{Bc}	3.40±0.20 ^{Ac}	3.20±0.00 ^{Acd}
5	3.20±0.20 ^{ABb}	3.53±0.12 ^{Ac}	3.00±0.20 ^{Bde}
6	1.93±0.23 ^{Bc}	2.33±0.12 ^{Ae}	2.13±0.12 ^{ABf}
7	1.93±0.12 ^{Ac}	2.07±0.12 ^{Af}	2.13±0.12 ^{Af}
8	1.73±0.12 ^{Bc}	2.20±0.20 ^{Aef}	2.20±0.00 ^{Af}

Mean±SD, n=5 ค่าเฉลี่ยที่กำกับตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันตามแนวนอน ตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สำหรับสับประรดพันธุ์ภูแลอบแห้ง พบว่า ปริมาณความชื้น และ ค่า a_w ของตัวอย่างในทุกรูปแบบบรรจุภัณฑ์ มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา (ตารางที่ 4.9) อย่างไรก็ตามค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ยังอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐาน คือ มีค่าน้อยกว่า 0.6 ค่าความสว่าง L^* ของตัวอย่างที่บรรจุแบบ VP มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ตารางที่ 4.10 พบว่า ปริมาณวิตามินซีในทุกตัวอย่าง มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกับในตัวอย่างกึ่งแห้ง ($p<0.05$) จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมดและยีสต์และราดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ 4.12 มีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน มผช.136/2558 (น้อยกว่า 6 log CFU/g) คะแนนความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์สับประรดเกลืออบแห้ง (ตารางที่ 4.12) พบว่า เมื่อเก็บรักษาเป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ตัวอย่างที่บรรจุแบบ EO มีคะแนนเฉลี่ยอยู่ในระดับยอมรับได้ (คะแนนมากกว่าหรือเท่ากับ 3) หลังจากนั้นคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส เมื่อพิจารณาจากข้อมูลทั้งหมดแล้ว สามารถประเมินอายุการเก็บผลิตภัณฑ์สับประรดเกลืออบแห้ง (a_w 0.5-0.6) ที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้อง ได้ประมาณ 6 สัปดาห์ โดยผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

ตารางที่ 4.9 ปริมาณความชื้น ค่า a_w และค่าความสว่าง L^* ของสับปะรดพันธุ์ลูกแก้วแห้งที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน

Weeks	Conditions		
	Vacuum Packaging	Easy Open	Top Sealed
ปริมาณความชื้น (%MC)			
0	12.78±0.66 ^{Ab}	12.78±0.66 ^{Ac}	12.78±0.66 ^{Ac}
1	15.83±2.17 ^{Aa}	14.13±0.91 ^{Ab}	14.03±0.85 ^{Aabc}
2	14.26±0.29 ^{Aab}	15.28±0.80 ^{Aab}	14.01±0.83 ^{Aabc}
3	14.43±0.28 ^{ABab}	15.43±0.86 ^{Aa}	14.21±0.10 ^{Bab}
4	14.94±0.54 ^{Aa}	15.00±0.61 ^{Aab}	14.96±0.72 ^{Aa}
5	14.28±0.92 ^{Aab}	14.39±0.30 ^{Aab}	15.04±0.24 ^{Aa}
6	14.56±1.16 ^{Aab}	15.22±0.90 ^{Aab}	14.47±1.03 ^{Aab}
7	14.40±0.45 ^{Aab}	14.03±0.52 ^{Ab}	14.19±0.23 ^{Aab}
8	16.15±1.64 ^{Aa}	14.79±0.24 ^{ABab}	13.59±1.01 ^{Bbc}
a_w			
0	0.4873±0.01 ^{Ab}	0.4873±0.01 ^{Ad}	0.4873±0.01 ^{Abcd}
1	0.5456±0.06 ^{Aab}	0.5215±0.03 ^{Aabc}	0.5109±0.03 ^{Aabc}
2	0.5017±0.01 ^{Ab}	0.5094±0.01 ^{Abcd}	0.4984±0.00 ^{Abcd}
3	0.5168±0.01 ^{Bb}	0.5453±0.02 ^{Aa}	0.5107±0.01 ^{Babc}
4	0.6248±0.03 ^{Aa}	0.5319±0.01 ^{Bab}	0.5368±0.02 ^{Ba}
5	0.5137±0.00 ^{Ab}	0.4982±0.00 ^{Bcd}	0.5155±0.01 ^{Aabc}
6	0.5651±0.08 ^{Aab}	0.5249±0.02 ^{Aabc}	0.5254±0.05 ^{Aab}
7	0.5715±0.06 ^{Aab}	0.5038±0.01 ^{ABcd}	0.4849±0.01 ^{Bcd}
8	0.6177±0.08 ^{Aa}	0.5320±0.03 ^{ABab}	0.4670±0.01 ^{Bd}
L^*			
0	68.60±5.18 ^{Aa}	68.60±5.18 ^{Aab}	68.60±5.18 ^{Aa}
1	68.90±1.29 ^{Aa}	71.20±2.81 ^{Aa}	71.60±0.67 ^{Aa}
2	66.51±1.66 ^{Aa}	69.36±3.37 ^{Aa}	69.36±5.09 ^{Aa}
3	67.81±1.52 ^{Aa}	72.28±0.62 ^{Aa}	71.06±4.16 ^{Aa}
4	65.50±0.26 ^{Ba}	70.40±2.50 ^{Aa}	67.50±0.57 ^{ABab}
5	68.80±1.93 ^{Ba}	67.50±1.50 ^{Bab}	72.30±1.63 ^{Aa}
6	67.90±2.04 ^{Ba}	72.90±0.26 ^{Aa}	71.70±3.03 ^{ABa}
7	66.90±4.10 ^{Aa}	68.80±3.60 ^{Aab}	66.20±2.53 ^{Aab}
8	60.20±6.25 ^{Ab}	63.70±1.24 ^{Ab}	61.80±1.92 ^{Ab}

Mean±SD, n=3 ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันตามแนวนอน ตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณวิตามินซีของสับปะรดพันธุ์ลูกแก้วที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน

Weeks	Conditions		
	Vacuum Packaging	Easy Open	Top Sealed
0	10.63±1.66 ^{Aa}	10.63±1.66 ^{Aa}	10.63±1.66 ^{Aa}
1	10.69±1.39 ^{Aa}	10.07±0.44 ^{Aa}	11.98±1.42 ^{Aa}
2	10.49±0.64 ^{Aa}	11.04±1.16 ^{Aa}	10.97±0.98 ^{Aa}
3	8.61±1.59 ^{Aa}	9.51±1.42 ^{Aa}	10.76±2.05 ^{Aa}
4	3.89±1.27 ^{Ab}	5.56±0.94 ^{Ab}	4.72±0.94 ^{Ac}
5	4.72±0.73 ^{Ab}	4.72±1.05 ^{Ab}	4.79±1.27 ^{Ac}
6	3.68±1.21 ^{Ab}	4.86±0.86 ^{Ab}	4.86±0.64 ^{Ac}
7	4.31±0.52 ^{Ab}	4.86±0.73 ^{Ab}	4.24±0.32 ^{Ac}
8	3.19±1.39 ^{Bb}	5.35±1.07 ^{ABb}	7.36±0.84 ^{Ab}

Mean±SD, n=3 ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันตามแนวนอน ตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4.11 จำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด (log CFU/g) ในสับปะรดพันธุ์ลูกแก้วที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน

Weeks	Conditions		
	Vacuum Packaging	Easy Open	Top Sealed
0	<2.48	<2.48	<2.48
1	<2.48	<2.48	<2.48
2	<2.48	<2.48	<2.48
3	<2.48	2.68	<2.48
4	2.69	<2.48	<2.48
5	<2.48	<2.48	<2.48
6	2.72	<2.48	<2.48
7	3.93	2.56	4.29
8	2.58	2.51	<2.48

ตารางที่ 4.12 จำนวนยีสต์และราทั้งหมด (log CFU/g) ในสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตแลบแห้งที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน

Weeks	Conditions		
	Vacuum Packaging	Easy Open	Top Sealed
0	2.76	2.76	2.76
1	<2.18	3.03	2.47
2	3.10	2.67	2.23
3	<2.18	3.42	<2.18
4	2.20	2.46	2.66
5	<2.18	2.41	<2.18
6	2.18	2.43	2.39
7	2.18	<2.18	2.20
8	2.20	2.41	<2.18

ตารางที่ 4.13 คะแนนความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์สับปะรดภูเก็ตแลบแห้งที่บรรจุในสภาวะแตกต่างกัน

Weeks	Conditions		
	Vacuum Packaging	Easy Open	Top Sealed
0	3.00±0.00 ^{Aab}	3.00±0.00 ^{Ade}	3.00±0.00 ^{Ac}
1	2.80±0.20 ^{Bbc}	4.40±0.35 ^{Aa}	3.13±0.12 ^{Bc}
2	2.20±0.20 ^{Bde}	3.67±0.61 ^{Abc}	3.27±0.42 ^{Abc}
3	2.47±0.23 ^{Bbcde}	4.07±0.12 ^{Aab}	3.67±0.31 ^{Aab}
4	2.00±0.00 ^{Be}	3.80±0.00 ^{Abc}	3.80±0.20 ^{Aa}
5	3.40±0.00 ^{Aa}	3.47±0.12 ^{Acde}	2.33±0.12 ^{Bd}
6	2.67±0.83 ^{Abcd}	3.07±0.12 ^{Ad}	2.40±0.53 ^{Ad}
7	2.67±0.12 ^{Acde}	2.67±0.12 ^{Ae}	2.53±0.23 ^{Ad}
8	2.20±0.20 ^{Bde}	2.60±0.00 ^{Ae}	2.47±0.12 ^{Ad}

Mean±SD, n=5 ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันตามแนวนอน ตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันตามแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

4.4 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

เมื่อได้สถานะการทดลองที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปสับปะรดพันธุ์ภูแลบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแล้ว นำข้อมูลมาวิเคราะห์และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนได้ดังแสดงในตารางที่ 4.14 – 4.18 ดังนี้

ตารางที่ 4.14 เงื่อนไขสำหรับการวิเคราะห์และประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการแปรรูปสับปะรดพันธุ์ภูแลบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเปรียบเทียบกับการใช้เตาอบลมร้อน

เงื่อนไขในการวิเคราะห์	ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	ลมร้อน
ต้นทุนคงที่		
ค่าเครื่องอบแห้ง	350,000 บาท	160,000 บาท
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	20,000 บาท	10,000 บาท
ค่าใช้จ่ายรวม	370,000 บาท	170,000 บาท
กำลังการผลิต		
กำลังการผลิต (สับปะรดปอกเปลือก)	15 กิโลกรัม/รอบ	20 กิโลกรัม/รอบ
หรือ กำลังการผลิต (สับปะรดอบแห้ง)	3 กิโลกรัม สับปะรดอบแห้ง/ รอบ	4 กิโลกรัม สับปะรดอบแห้ง/ รอบ
จำนวนครั้งในการผลิต	1 รอบ/วัน	1 รอบ/วัน
จำนวนวันที่ใช้ในการผลิต	90 วัน/ปี	90 วัน/ปี
ผลิตได้ปีละ	1,350 กิโลกรัม หรือ 270 กิโลกรัม สับปะรด อบแห้ง	1,800 กิโลกรัม หรือ 360 กิโลกรัม สับปะรด อบแห้ง

ตารางที่ 4.15 สรุปสภาวะการทดลองที่ใช้ในการอบแห้งสับปะรดภูเก็ต

สภาวะการทดลอง	ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	ลมร้อน
รวมเวลาอบแห้งทั้งหมด	7 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
การเปิดแมกนีตรอน	4 ชั่วโมง (on 4/off 2 min)	N/A
อุณหภูมิ/ระยะเวลาลมร้อน	70 °C เวลา 2 ชั่วโมง 45 °C เวลา 2 ชั่วโมง 60 °C เวลา 3 ชั่วโมง	45 °C เวลา 24 ชั่วโมง
ความเร็วลมในห้องอบแห้ง	0.5 เมตร/วินาที	0.3 เมตร/วินาที

ตารางที่ 4.16 สรุปการค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของการอบแห้งสับปะรดภูเก็ต

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน	ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	ลมร้อน
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอุ่นอากาศ	21.60 กิโลวัตต์/รอบ (Heater+พัดลม+ถาดหมุน)	166.39 กิโลวัตต์/รอบ (Heater+พัดลม)
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน Magnetron	19.20 กิโลวัตต์/รอบ	N/A
พลังงานไฟฟ้ารวม	40.80 กิโลวัตต์/รอบ	166.39 กิโลวัตต์/รอบ
อัตราค่าไฟฟ้า	4 บาท/กิโลวัตต์	4 บาท/กิโลวัตต์
	163.20 บาท/รอบ	665.54 บาท/รอบ
ค่าไฟฟ้าทั้งหมด	10.88 บาท/กิโลกรัม	33.24 บาท/กิโลกรัม
คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า	54.40 บาท/กิโลกรัม	166.20 บาท/กิโลกรัม
	สับปะรดอบแห้ง	สับปะรดอบแห้ง

ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบต้นทุนแปรผันของผลิตภัณฑ์สับประตูลอบแห้งเมื่อใช้กระบวนการแปรรูปที่แตกต่างกัน

ประเภทของต้นทุน	รายละเอียด	ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน		ลมร้อน	
		ต้นทุนต่อวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัม)	ต้นทุนต่อผลิตภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม สับประตูลอบแห้ง)	ต้นทุนต่อวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัม)	ต้นทุนต่อผลิตภัณฑ์ (บาท/กิโลกรัม สับประตูลอบแห้ง)
ค่าวัตถุดิบ	สับประตูลอบลอกเปลือก 60 บาทต่อกิโลกรัม	60	300	60	300
ค่าแรงงานในการผลิต	จำนวน 1 คน ค่าแรงคนละ 400 บาทต่อวัน	26.67	133.35	20.00	100.00
ค่าพลังงาน		10.88	54.40	33.24	166.20
ค่าบำรุงรักษา	ปีละ 0.5% ของต้นทุนคงที่	1.30	6.50	0.42	2.10
ต้นทุนแปรผันรวม		98.85	494.25	113.70	568.30

ตารางที่ 4.18 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

ราคาขายผลิตภัณฑ์ (บาท/kg dry product)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	
	ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	ลมร้อน
600	12.20	14.05
800	4.39	2.02
1000	2.68	1.09
1200	1.92	0.75

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

- คณะผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสับประรดพันธุ์ภูแลด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยสามารถอบสับประรดสดได้ครั้งละ 15 กิโลกรัม ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 7 ชั่วโมง จะได้สับประรดอบแห้งประมาณ 2.8 – 3 กิโลกรัม คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้า 10.88 บาทต่อกิโลกรัมสับประรดสด หรือ 54.40 บาทต่อกิโลกรัมของสับประรดอบแห้ง เมื่อคำนวณต้นทุนการผลิตเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยลมร้อนภายใต้เงื่อนไขเดียวกันพบว่า การใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว คือมีค่าเท่ากับ 494.25 บาท และ 568.30 บาทต่อกิโลกรัมสับประรดภูแลอบแห้ง ตามลำดับ

- สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งสับประรดพันธุ์ภูแลด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน คือ ใช้ไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง โดยมีช่วงการเปิด-ปิดแมกนิตรอน 4 และ 2 นาที ตามลำดับ ร่วมกับการใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง จากนั้นลดอุณหภูมิลมร้อนลงเป็น 45 องศาเซลเซียส อบอุ่นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงปิดแมกนิตรอนและเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเป็น 60 องศาเซลเซียส อบอุ่นจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีค่า a_w น้อยกว่า 0.6 หรือมีค่าความชื้นน้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์

- ผลิตภัณฑ์สับประรดภูแลอบกึ่งแห้ง (Semi-dried) มีค่า a_w มากกว่า 0.7 บรรจุในกระปุกพลาสติกแบบมีฝาอะลูมิเนียมฟลอยด์ (Easy open can) และบรรจุในถ้วยพลาสติกปิดฟิล์มด้านบน (Top sealed) มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 5 สัปดาห์ที่อุณหภูมิ 5 ± 1 องศาเซลเซียส โดยผลิตภัณฑ์ยังคงมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคได้

- ผลิตภัณฑ์สับประรดภูแลอบแห้ง มีค่า a_w 0.5-0.6 บรรจุในกระปุกพลาสติกแบบมีฝาอะลูมิเนียมฟลอยด์ (Easy open can) มีอายุการเก็บรักษาประมาณ 6 สัปดาห์ที่อุณหภูมิห้อง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- คุณภาพวัตถุดิบเริ่มต้นมีความสำคัญต่อคุณภาพและความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ จึงควรมีการคัดเลือกวัตถุดิบและการเตรียมอย่างเหมาะสม

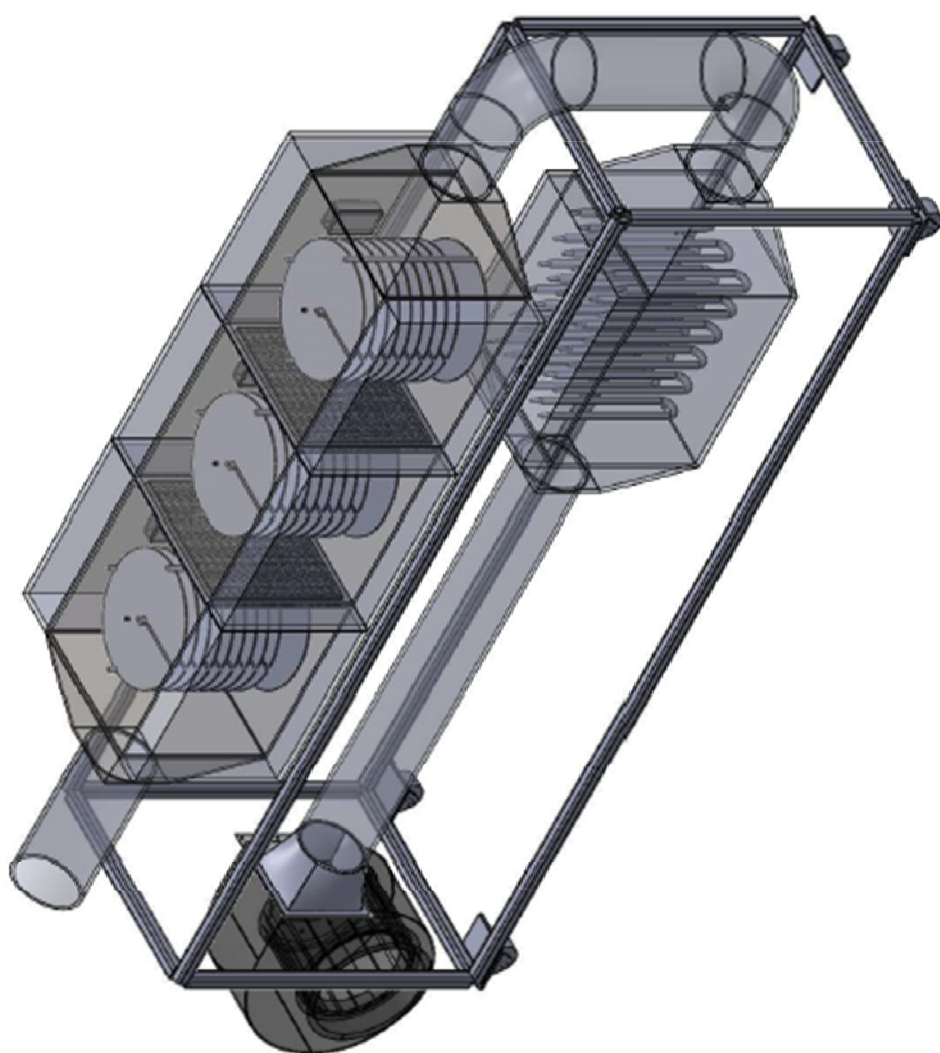
- สภาวะการทดลองมีแนวโน้มที่จะสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ เช่น การปรับความเร็วลม การสลับตู้อบ เป็นต้น จึงควรศึกษาเพิ่มเติมในโอกาสต่อไป

เอกสารอ้างอิง

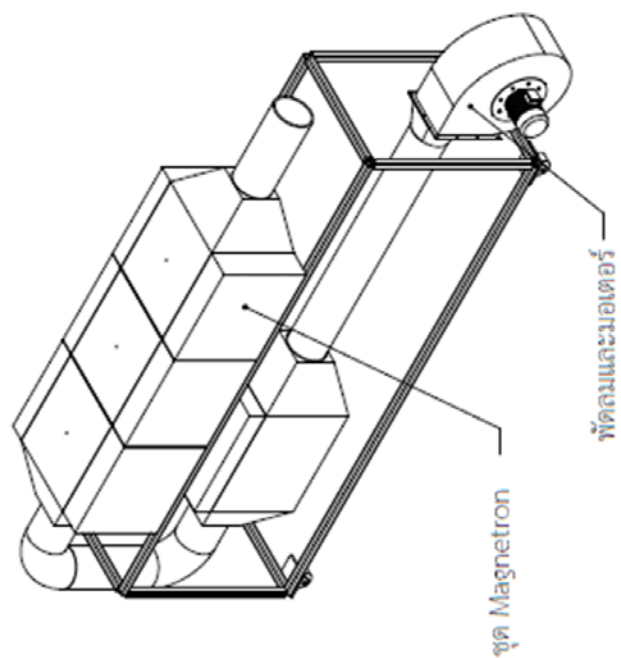
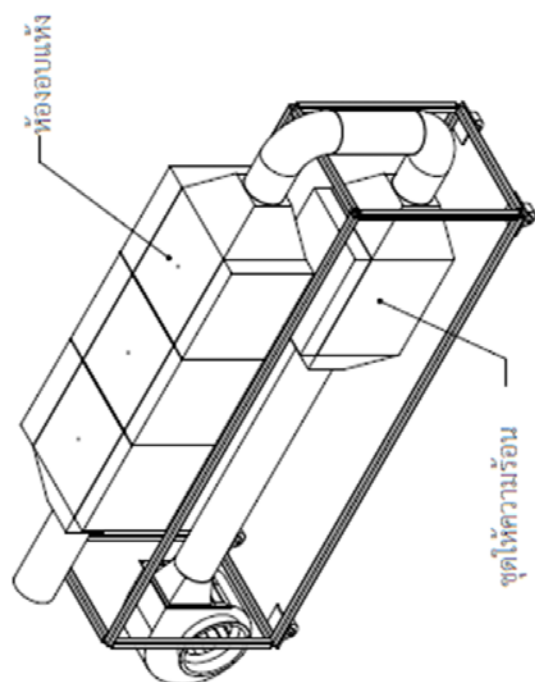
- กรมทรัพยากรทางปัญญา. 2549. สับปะรดภูเก็ตแล้งราย.
- จินดารัฐ วีระวุฒิ. 2541. สับปะรดและสรีรวิทยาการเจริญเติบโตของสับปะรด. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 196 น.
- บุญญาวีร์ ศิริชัย และ อรวิ คุณพรหม. 2559. ปริมาณน้ำในเนื้อ การอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 42 น.
- พฤทธิ์ เนตรสว่าง. 2552. การอบแห้งกล้วยหั่นแว่นด้วยไมโครเวฟ-สุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมกรรมการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้, หน้า 11-17.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนพานนท์. 2553. Dehydration/การทำแห้ง. เว็บไซต์ <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0277/dehydration-การทำแห้ง>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2559.
- วิไล รังสาดทอง. 2547. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจุลจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.
- สุทธิวัลย์ สีทา, พันธุ์สิริ สุทธิลักษณ์, ชีรพงษ์ เทพภรณ์ และ วาริช ศรีละออง, 2553, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการการส่งออกฤทธิ์สำคัญในสับปะรดพันธุ์ที่ผลิตเพื่อการค้าในประเทศไทย, ชุดโครงการ”สมุนไพรรักษาคุณภาพชีวิต” สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.), 58 หน้า.
- สำนักบริหารการค้าสินค้าทั่วไป กลุ่มสินค้าเกษตร. 2554. สับปะรดและผลิตภัณฑ์สับปะรด. เว็บไซต์ http://www.dft.go.th/Portals/0/ContentManagement/Document_Mod684/สับปะรด เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2559.
- Alibus, I. 2007. Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices. LWT-Food Science and Technology, 40: 1445-1451.
- Li, Z., Raghavan, G.S.V. and Orsat, V. 2010. Temperature and power control in microwave drying. Journal of Food Engineering 97: 478-483
- Oloyede, A. and Groombridge, P. 2000. The influence of microwave heating on the mechanical properties of wood. Journal of Materials Processing Technology, 100:67-73.
- Pozar, D.M. 2005. Microwave Engineering 3rd. John Wiley & Sons, Inc. USA, pp 1-5.
- Pereira, N.R., Marsaioli, J. A. and Ahrne, L. M. 2007. Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas. Journal of Food Engineering, 81: 79-87.
- Silva F.A. et al., 2006. Microwave assisted drying of macadamia nuts. Journal of Food Engineering 77: 550-558.
- Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A. and Achariyaviriya, S. 2007. Combined microwave-hot air drying of Thermodynamic model of meat drying by infrared thermography. Journal of Food Engineering, 128:103-110.

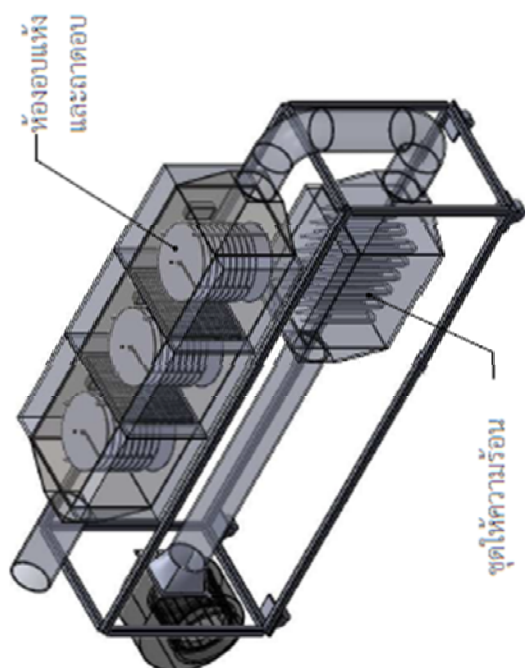
ภาคผนวก 1

รายละเอียดของแบบและขั้นตอนการสร้างเครื่อง

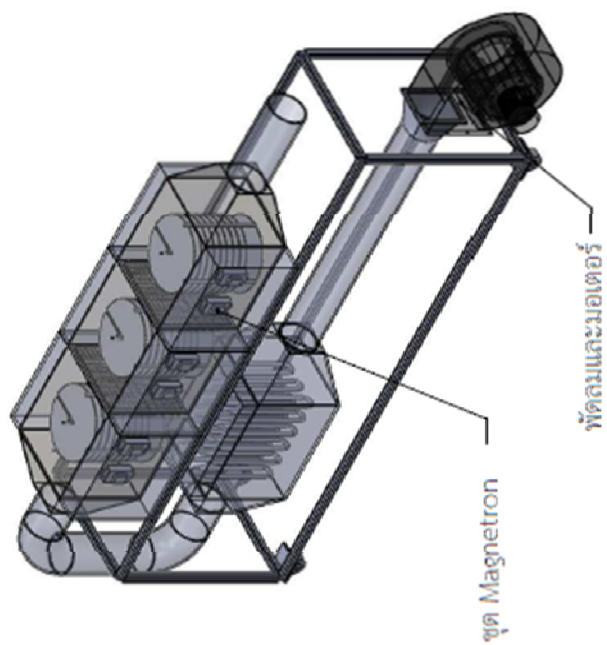


เครื่องอบแห้ง ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

[illegible]

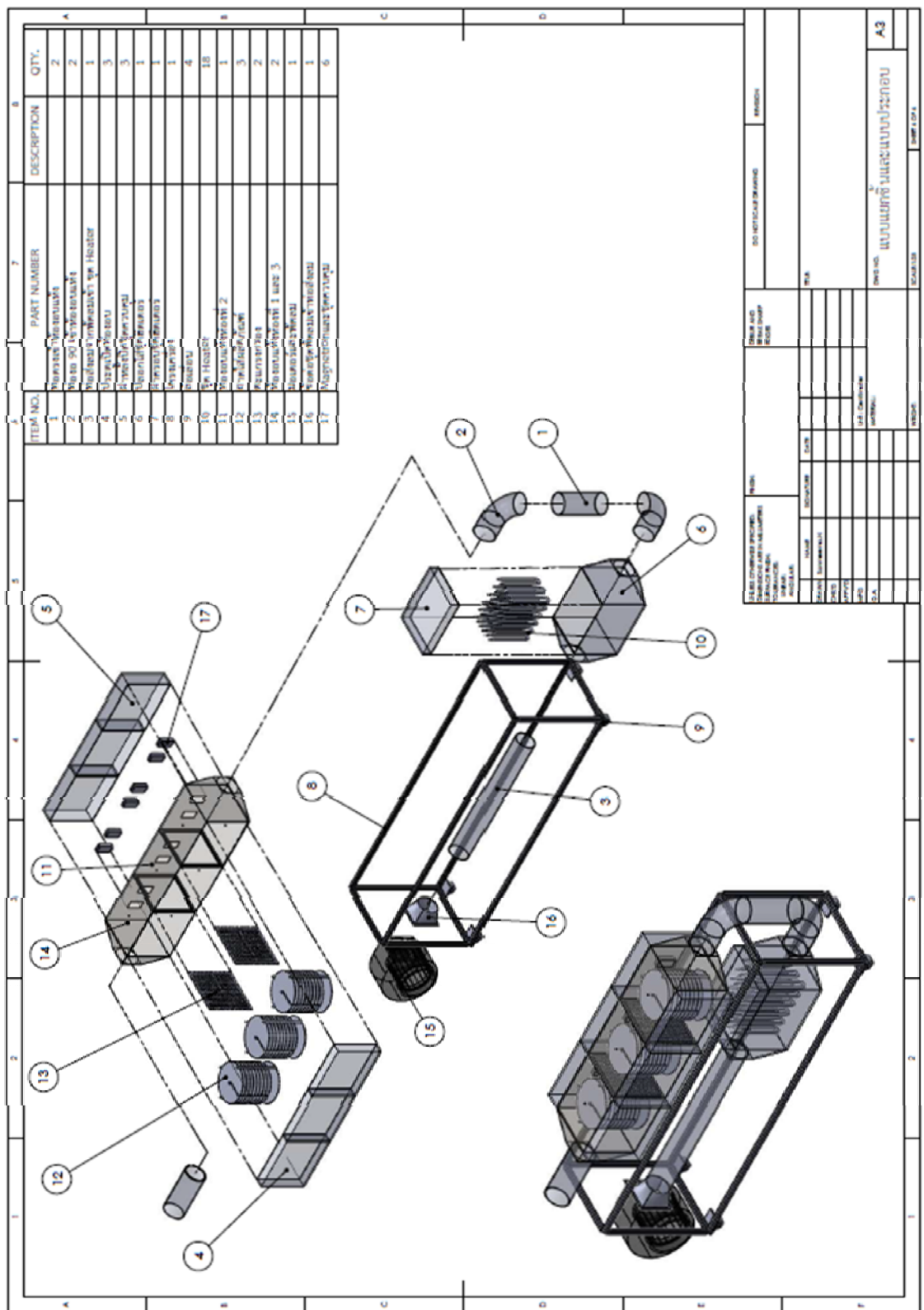


ภาพ Isometric แบบมุมมองด้านหน้า



ภาพ Isometric แบบมุมมองด้านหลัง

1. NAME (SURNAME AND FIRST NAME) 2. DATE OF BIRTH 3. SEX 4. ADDRESS 5. PHONE NO.	6. PHOTO 7. SIGNATURE	8. EMPLOYER'S NAME 9. ADDRESS 10. PHONE NO.	11. PASSPORT NO. 12. EXPIRATION DATE	13. DATE OF ISSUE 14. VALIDITY	15. ISSUING AUTHORITY 16. SIGNATURE 17. NAME	18. DATE OF ISSUE 19. VALIDITY	20. PASSPORT NO. 21. EXPIRATION DATE	22. DATE OF ISSUE 23. VALIDITY	24. ISSUING AUTHORITY 25. SIGNATURE 26. NAME	27. DATE OF ISSUE 28. VALIDITY	29. PASSPORT NO. 30. EXPIRATION DATE	31. DATE OF ISSUE 32. VALIDITY	33. ISSUING AUTHORITY 34. SIGNATURE 35. NAME	36. DATE OF ISSUE 37. VALIDITY	38. PASSPORT NO. 39. EXPIRATION DATE	40. DATE OF ISSUE 41. VALIDITY	42. ISSUING AUTHORITY 43. SIGNATURE 44. NAME	45. DATE OF ISSUE 46. VALIDITY	47. PASSPORT NO. 48. EXPIRATION DATE	49. DATE OF ISSUE 50. VALIDITY	51. ISSUING AUTHORITY 52. SIGNATURE 53. NAME	54. DATE OF ISSUE 55. VALIDITY	56. PASSPORT NO. 57. EXPIRATION DATE	58. DATE OF ISSUE 59. VALIDITY	60. ISSUING AUTHORITY 61. SIGNATURE 62. NAME	63. DATE OF ISSUE 64. VALIDITY	65. PASSPORT NO. 66. EXPIRATION DATE	67. DATE OF ISSUE 68. VALIDITY	69. ISSUING AUTHORITY 70. SIGNATURE 71. NAME	72. DATE OF ISSUE 73. VALIDITY	74. PASSPORT NO. 75. EXPIRATION DATE	76. DATE OF ISSUE 77. VALIDITY	78. ISSUING AUTHORITY 79. SIGNATURE 80. NAME	81. DATE OF ISSUE 82. VALIDITY	83. PASSPORT NO. 84. EXPIRATION DATE	85. DATE OF ISSUE 86. VALIDITY	87. ISSUING AUTHORITY 88. SIGNATURE 89. NAME	90. DATE OF ISSUE 91. VALIDITY	92. PASSPORT NO. 93. EXPIRATION DATE	94. DATE OF ISSUE 95. VALIDITY	96. ISSUING AUTHORITY 97. SIGNATURE 98. NAME	99. DATE OF ISSUE 100. VALIDITY	101. PASSPORT NO. 102. EXPIRATION DATE	103. DATE OF ISSUE 104. VALIDITY	105. ISSUING AUTHORITY 106. SIGNATURE 107. NAME	108. DATE OF ISSUE 109. VALIDITY	110. PASSPORT NO. 111. EXPIRATION DATE	112. DATE OF ISSUE 113. VALIDITY	114. ISSUING AUTHORITY 115. SIGNATURE 116. NAME	117. DATE OF ISSUE 118. VALIDITY	119. PASSPORT NO. 120. EXPIRATION DATE	121. DATE OF ISSUE 122. VALIDITY	123. ISSUING AUTHORITY 124. SIGNATURE 125. NAME	126. DATE OF ISSUE 127. VALIDITY	128. PASSPORT NO. 129. EXPIRATION DATE	130. DATE OF ISSUE 131. VALIDITY	132. ISSUING AUTHORITY 133. SIGNATURE 134. NAME	135. DATE OF ISSUE 136. VALIDITY	137. PASSPORT NO. 138. EXPIRATION DATE	139. DATE OF ISSUE 140. VALIDITY	141. ISSUING AUTHORITY 142. SIGNATURE 143. NAME	144. DATE OF ISSUE 145. VALIDITY	146. PASSPORT NO. 147. EXPIRATION DATE	148. DATE OF ISSUE 149. VALIDITY	150. ISSUING AUTHORITY 151. SIGNATURE 152. NAME	153. DATE OF ISSUE 154. VALIDITY	155. PASSPORT NO. 156. EXPIRATION DATE	157. DATE OF ISSUE 158. VALIDITY	159. ISSUING AUTHORITY 160. SIGNATURE 161. NAME	162. DATE OF ISSUE 163. VALIDITY	164. PASSPORT NO. 165. EXPIRATION DATE	166. DATE OF ISSUE 167. VALIDITY	168. ISSUING AUTHORITY 169. SIGNATURE 170. NAME	171. DATE OF ISSUE 172. VALIDITY	173. PASSPORT NO. 174. EXPIRATION DATE	175. DATE OF ISSUE 176. VALIDITY	177. ISSUING AUTHORITY 178. SIGNATURE 179. NAME	180. DATE OF ISSUE 181. VALIDITY	182. PASSPORT NO. 183. EXPIRATION DATE	184. DATE OF ISSUE 185. VALIDITY	186. ISSUING AUTHORITY 187. SIGNATURE 188. NAME	189. DATE OF ISSUE 190. VALIDITY	191. PASSPORT NO. 192. EXPIRATION DATE	193. DATE OF ISSUE 194. VALIDITY	195. ISSUING AUTHORITY 196. SIGNATURE 197. NAME	198. DATE OF ISSUE 199. VALIDITY	200. PASSPORT NO. 201. EXPIRATION DATE	202. DATE OF ISSUE 203. VALIDITY	204. ISSUING AUTHORITY 205. SIGNATURE 206. NAME	207. DATE OF ISSUE 208. VALIDITY	209. PASSPORT NO. 210. EXPIRATION DATE	211. DATE OF ISSUE 212. VALIDITY	213. ISSUING AUTHORITY 214. SIGNATURE 215. NAME	216. DATE OF ISSUE 217. VALIDITY	218. PASSPORT NO. 219. EXPIRATION DATE	220. DATE OF ISSUE 221. VALIDITY	222. ISSUING AUTHORITY 223. SIGNATURE 224. NAME	225. DATE OF ISSUE 226. VALIDITY	227. PASSPORT NO. 228. EXPIRATION DATE	229. DATE OF ISSUE 230. VALIDITY	231. ISSUING AUTHORITY 232. SIGNATURE 233. NAME	234. DATE OF ISSUE 235. VALIDITY	235. PASSPORT NO. 236. EXPIRATION DATE	236. DATE OF ISSUE 237. VALIDITY	237. ISSUING AUTHORITY 238. SIGNATURE 239. NAME	238. DATE OF ISSUE 239. VALIDITY	239. PASSPORT NO. 240. EXPIRATION DATE	240. DATE OF ISSUE 241. VALIDITY	241. ISSUING AUTHORITY 242. SIGNATURE 243. NAME	242. DATE OF ISSUE 243. VALIDITY	243. PASSPORT NO. 244. EXPIRATION DATE	244. DATE OF ISSUE 245. VALIDITY	245. ISSUING AUTHORITY 246. SIGNATURE 247. NAME	246. DATE OF ISSUE 247. VALIDITY	247. PASSPORT NO. 248. EXPIRATION DATE	248. DATE OF ISSUE 249. VALIDITY	249. ISSUING AUTHORITY 250. SIGNATURE 251. NAME	250. DATE OF ISSUE 251. VALIDITY	251. PASSPORT NO. 252. EXPIRATION DATE	252. DATE OF ISSUE 253. VALIDITY	253. ISSUING AUTHORITY 254. SIGNATURE 255. NAME	254. DATE OF ISSUE 255. VALIDITY	255. PASSPORT NO. 256. EXPIRATION DATE	256. DATE OF ISSUE 257. VALIDITY	257. ISSUING AUTHORITY 258. SIGNATURE 259. NAME	258. DATE OF ISSUE 259. VALIDITY </
--	--------------------------	---	---	-----------------------------------	--	-----------------------------------	---	-----------------------------------	--	-----------------------------------	---	-----------------------------------	--	-----------------------------------	---	-----------------------------------	--	-----------------------------------	---	-----------------------------------	--	-----------------------------------	---	-----------------------------------	--	-----------------------------------	---	-----------------------------------	--	-----------------------------------	---	-----------------------------------	--	-----------------------------------	---	-----------------------------------	--	-----------------------------------	---	-----------------------------------	--	------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	-------------------------------------	---	--





ภาพที่ 1 โครงสร้างรับน้ำหนักของเครื่อง ท่อลม และล้อเลื่อน



ภาพที่ 2 พัดลมและมอเตอร์ขนาด 0.75 kW



ภาพที่ 3 ชุด Heater ไฟฟ้า สำหรับอุ่นอากาศกำลังรวม 9 kW



ภาพที่ 4 ประตูห้องอบแห้ง



ภาพที่ 5 ห้องอบแห้ง



ภาพที่ 6 ถาดสำหรับใส่สับปะรดสดสามารถถอดประกอบได้เพื่อความสะดวกในการทำงาน



ภาพที่ 7 แมกนีตรอน พร้อมหม้อแปลงห้องอบละ 2 ชุด (ทั้งหมด 6 ชุด ชุดละ 1200 W)

ภาคผนวก 2

การศึกษาการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับสับปะรดพันธุ์ภูแล
(Lab scale)

ดำเนินการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับสับปรดพันธุ์กล้วยแล โดยใช้เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนขนาดเล็กที่มีอยู่เดิมดังแสดงในภาพที่ 1 (Lab scale ประมาณ 2 กิโลกรัมผลสดต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง) อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง คือ 40 และ 60 องศาเซลเซียส ร่วมกับการใช้ไมโครเวฟที่ขนาดกำลัง 400 600 และ 900 วัตต์ ทำให้ได้สภาวะในการอบแห้งทั้งหมด 6 สภาวะดังแสดงในตารางที่ 1

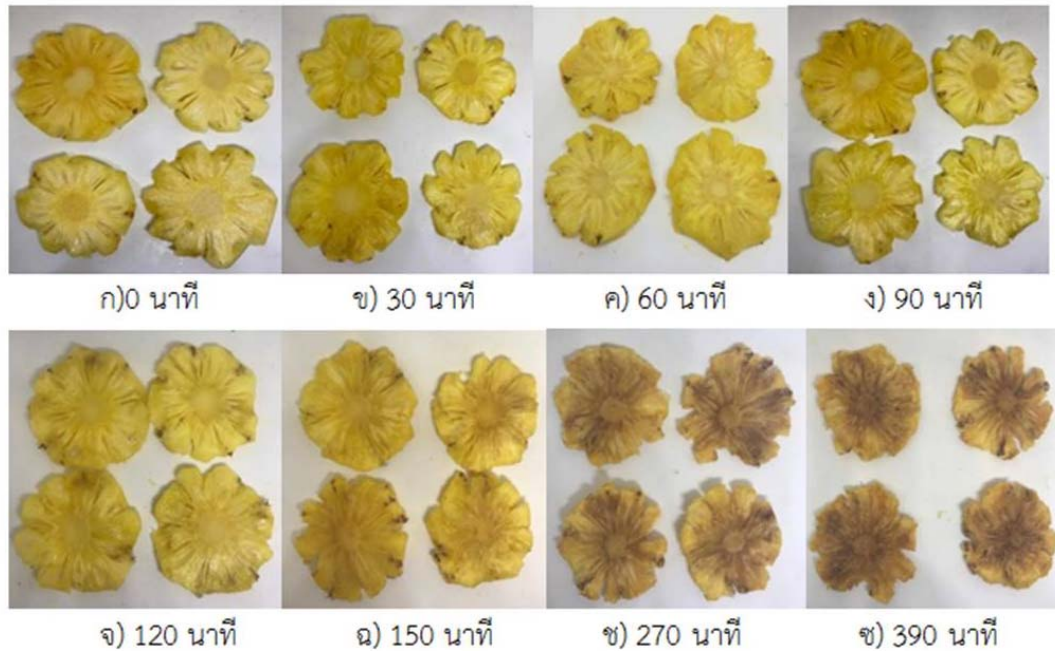
ตารางที่ 1 อุณหภูมิและกำลังของไมโครเวฟที่ใช้ในการทดลอง

สภาวะการทดลอง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	กำลังของไมโครเวฟ (วัตต์)
1	40	400
2	40	600
3	40	900
4	60	400
5	60	600
6	60	900

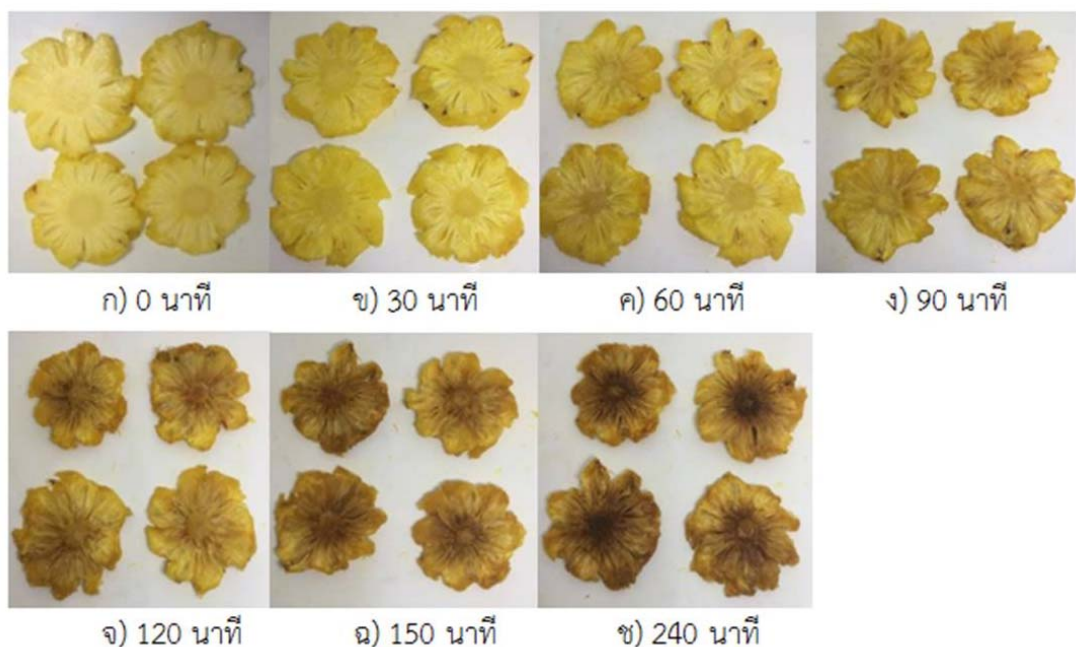


ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ใช้ในการศึกษาสภาวะเบื้องต้นของการอบแห้ง

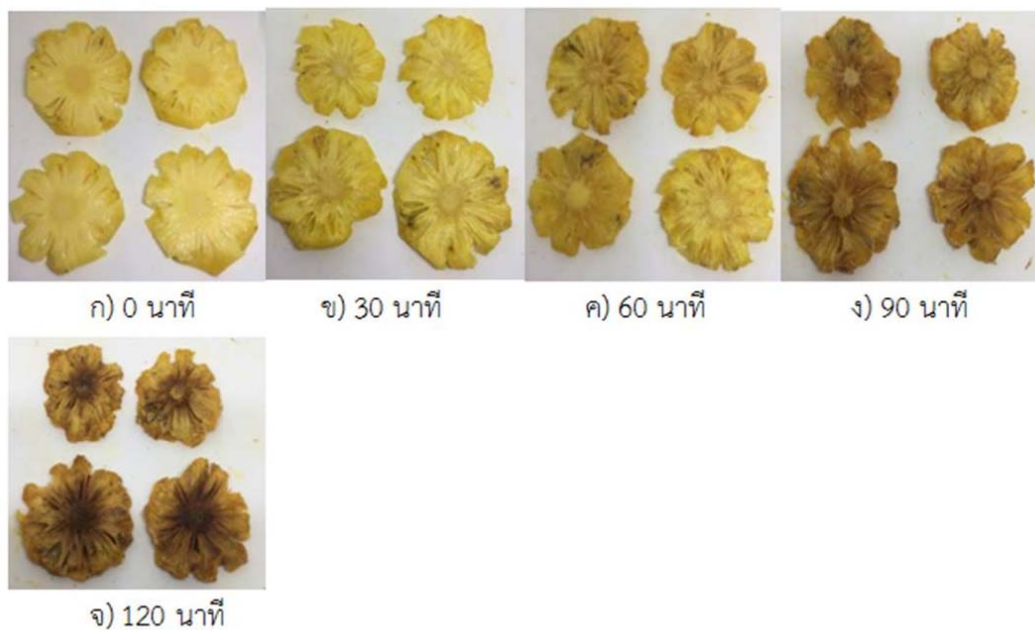
- การเปลี่ยนสีของสับปะรดในสภาวะอบแห้งที่อุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ กัน ดังแสดงในภาพที่ 2-7 จากผลการทดลองเห็นได้ว่า สีของสับปะรดเปลี่ยนแปลงไปจากสีเริ่มต้นอย่างเห็นได้ชัดเจน และเริ่มเกิดสีน้ำตาลโดยเฉพาะบริเวณแกนกลางของชิ้นสับปะรดเมื่อเพิ่มกำลังวัตต์ของไมโครเวฟ



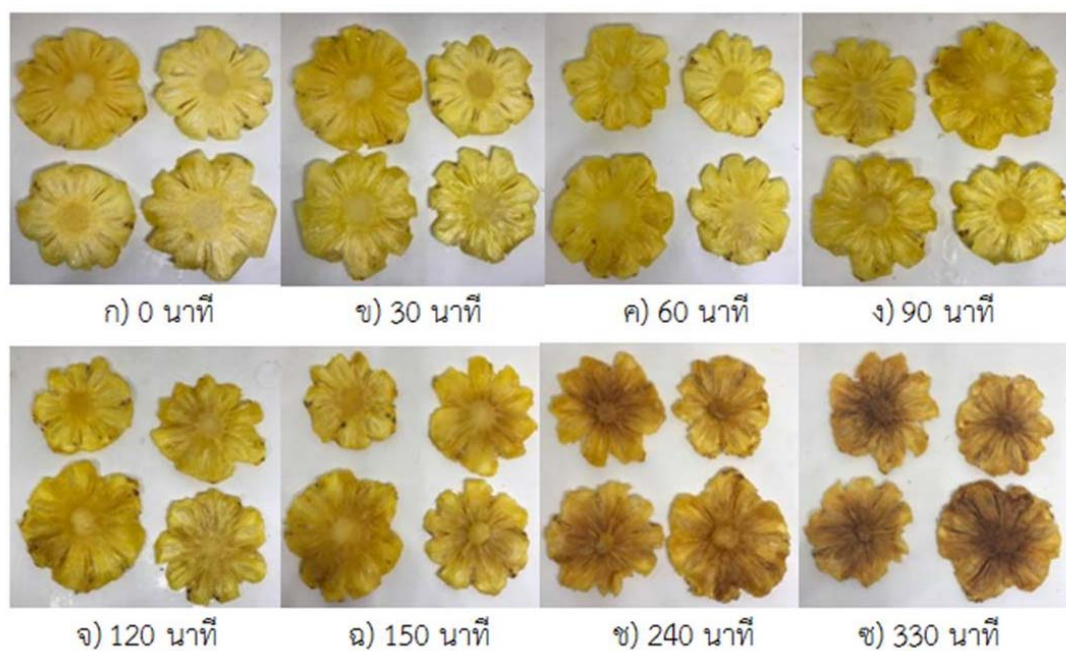
ภาพที่ 2 สีของสับปะรดทุกละที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับไมโครเวฟที่กำลัง 400 วัตต์ในระยะเวลาต่างๆ กัน (บุญญาวิรรและอรวี, 2559)



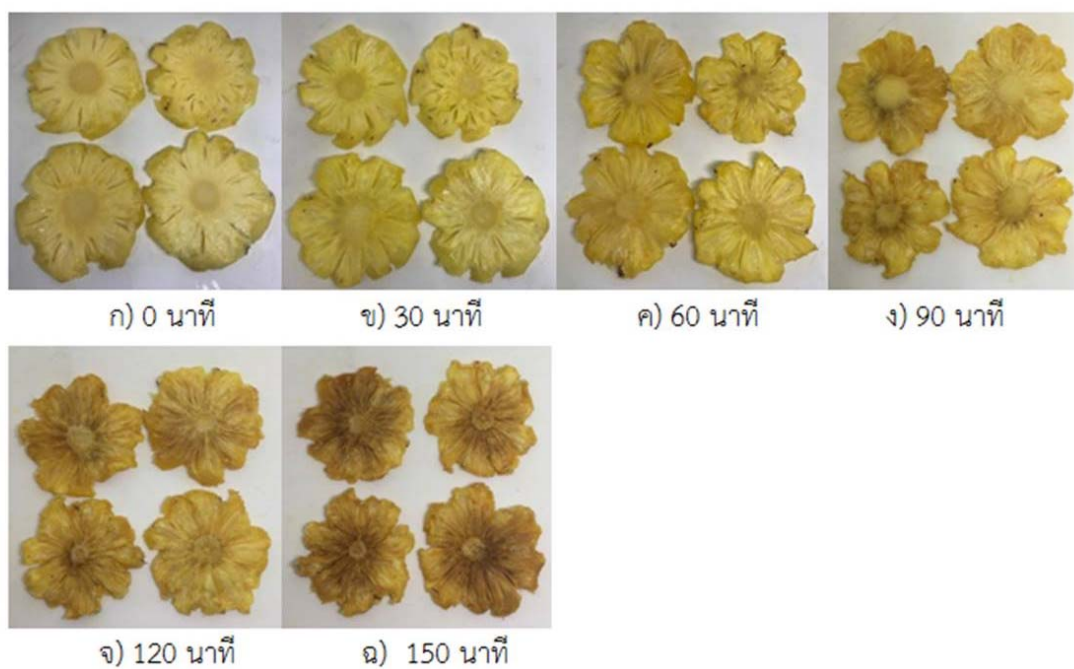
ภาพที่ 3 สีของสับปะรดทุกละที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับไมโครเวฟที่กำลัง 600 วัตต์ในระยะเวลาต่างๆ กัน (บุญญาวิรรและอรวี, 2559)



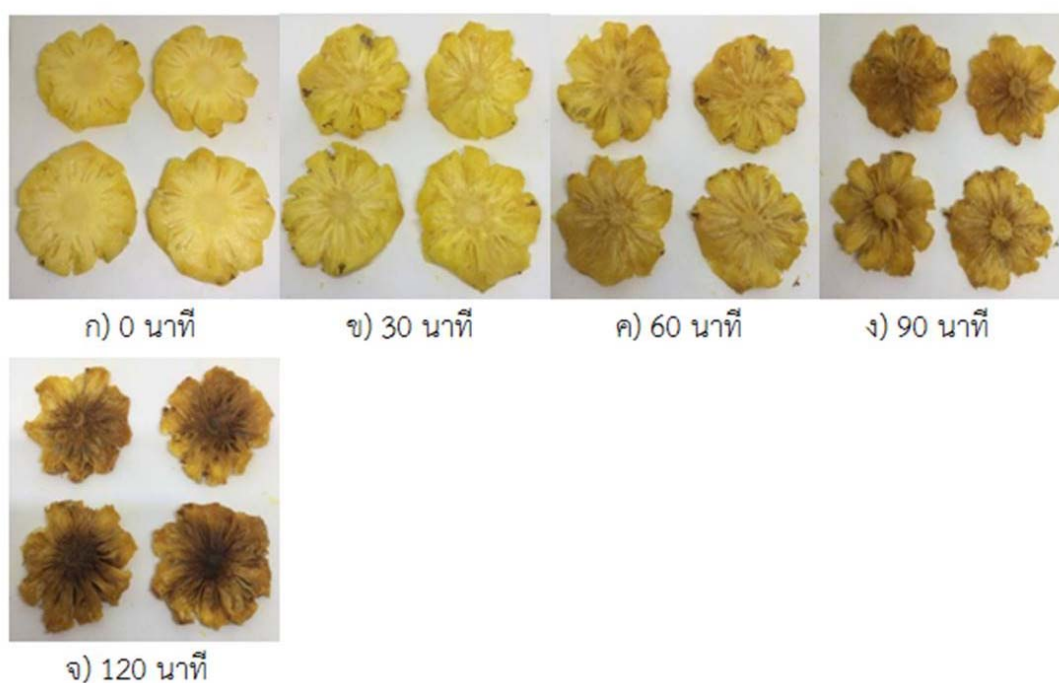
ภาพที่ 4 สีของสับปะรดภูแลที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสร่วมกับไมโครเวฟที่กำลัง 900 วัตต์ ในระยะเวลาต่างๆ กัน (บุญญาวิรรและอรวี, 2559)



ภาพที่ 5 สีของสับปะรดภูแลที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับไมโครเวฟที่กำลัง 400 วัตต์ ในระยะเวลาต่างๆ กัน (บุญญาวิรรและอรวี, 2559)

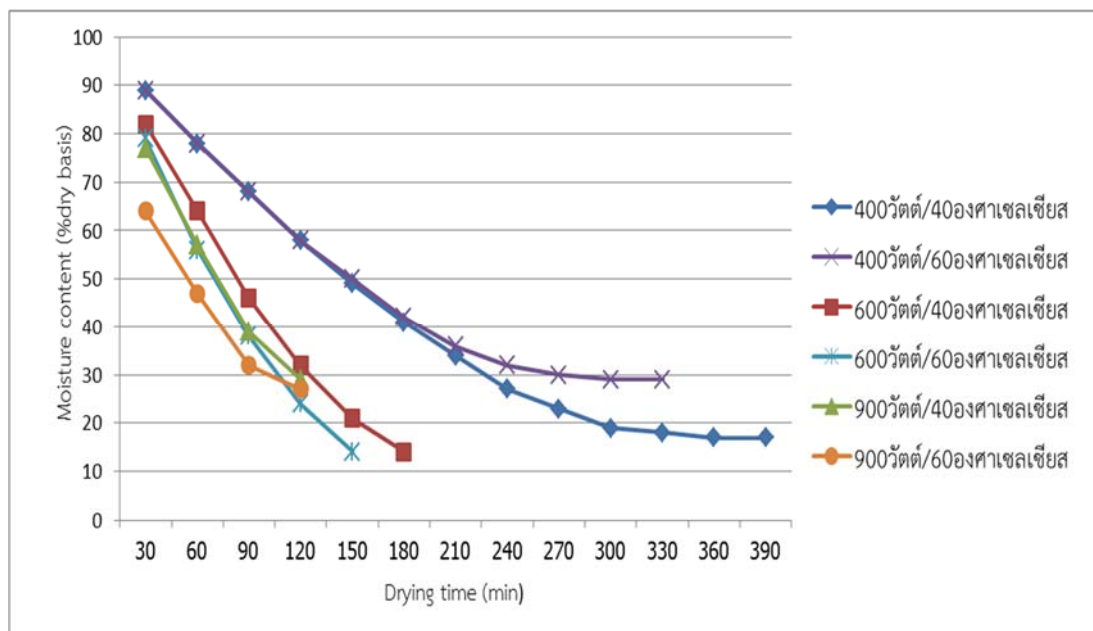


ภาพที่ 6 สีของสับปะรดกล้วยที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับไมโครเวฟที่กำลัง 600 วัตต์ ในระยะเวลาต่างๆ กัน (ปัญญาวีร์และอรวิ, 2559)

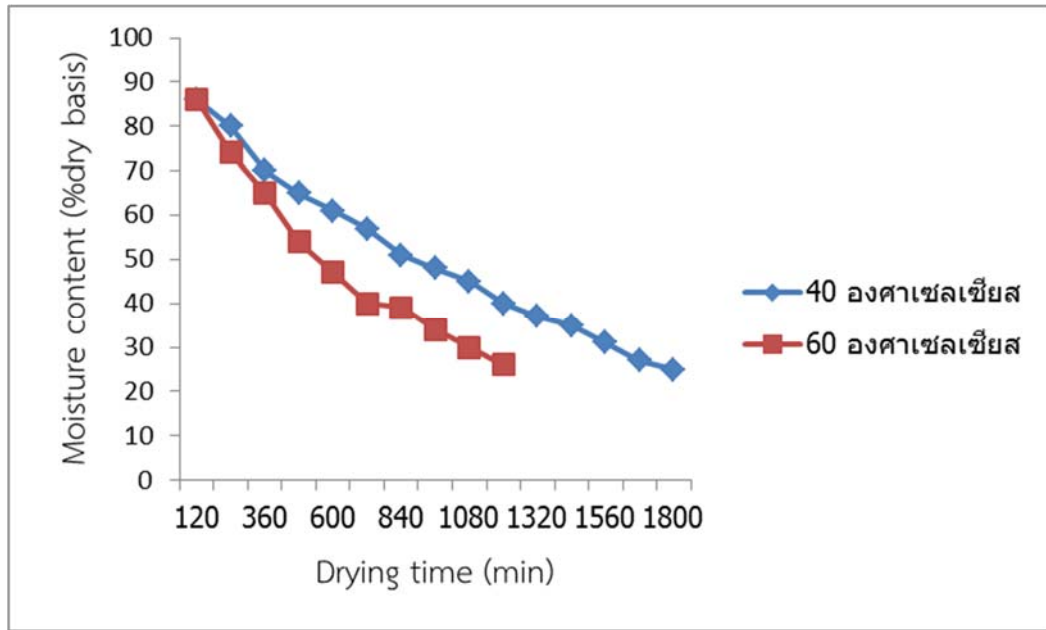


ภาพที่ 7 สีของสับปะรดกล้วยที่อบแห้ง ณ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสร่วมกับไมโครเวฟที่กำลัง 900 วัตต์ ในระยะเวลาต่างๆ กัน (ปัญญาวีร์และอรวิ, 2559)

- จากนั้นทำการศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับผลของกำลังไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูเก็ต โดยการอบตัวอย่างสับปะรดที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 86 ในสภาวะที่ความเร็วลม 1.2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส กำลังไมโครเวฟ 400 600 และ 900 วัตต์ นำค่าที่วัดได้มาสร้างกราฟระหว่างความชื้นกับเวลาดังแสดงในภาพที่ 8 เห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟที่มีผลต่อความชื้น ณ อุณหภูมิเดียวกัน พบว่า การใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นจะทำให้ความชื้นลดลงเร็วกว่าการอบแห้งที่ กำลังไมโครเวฟต่ำ กล่าวคือ เมื่อใช้กำลังไมโครเวฟที่ 900 วัตต์ ความชื้นของตัวอย่างสับปะรดจะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งด้วยระดับกำลังไมโครเวฟที่ 600 และ 400 วัตต์ ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นกว่าการใช้ระดับพลังงานที่ต่ำ นอกจากนี้ช่วงแรกความชื้นในตัวอย่่างจะลดลงอย่างรวดเร็ว และค่อยๆ ลดลงอย่างคงที่เมื่อถึงช่วงเวลาหนึ่งพลังงานของไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัสดุมาก ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในสับปะรดสั่นสะเทือนและชนโมเลกุลอื่น ๆ ต่อไปจนเกิดพลังงานจลน์ซึ่งจะกลายสภาพเป็นพลังงานความร้อนที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่ออกจากตัวอย่างสับปะรดได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อความชื้น (ภาพที่ 9) พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ความชื้นลดลงเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเสมอ กล่าวคือ การใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ความชื้นของตัวอย่างสับปะรดจะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ส่งผลให้การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้ระยะเวลาสั้นกว่าที่อุณหภูมิต่ำ

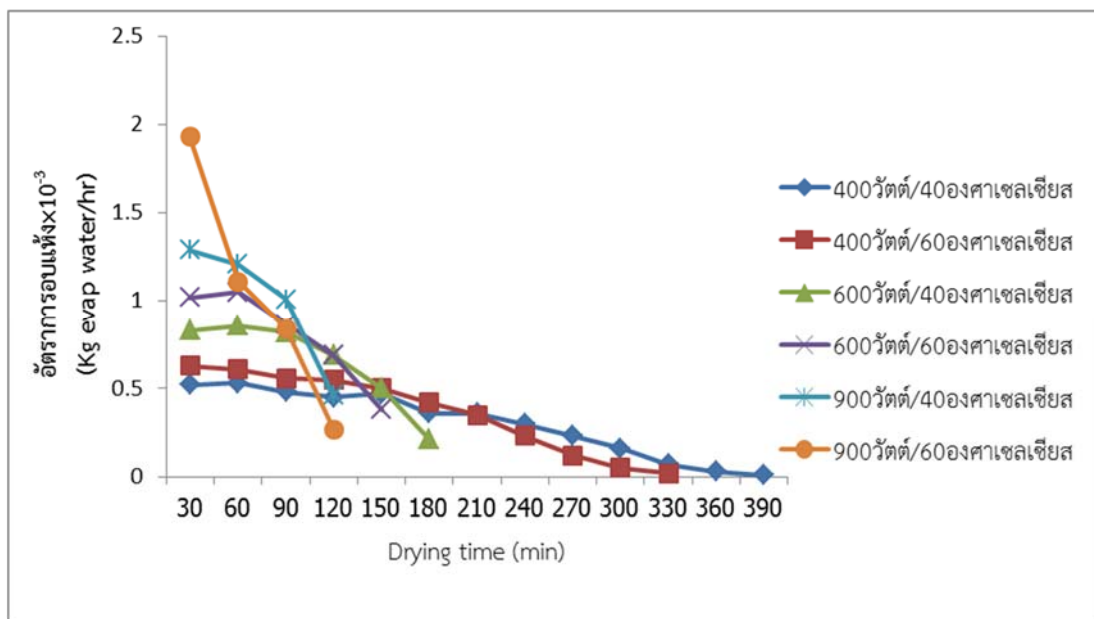


ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตที่อบแห้งในสภาวะต่างๆ
(บุญญาวีร์และอรวี, 2559)



ภาพที่ 9 แผนภูมิแสดงอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนที่มีผลต่อความชื้น
(บุญญาวีร์และอรรวี, 2559)

- สำหรับอัตราการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งสับปะรดพันธุ์ลูกแก้วเป็นการอบแห้งแบบอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น กล่าวคือ ปริมาณความชื้นมีการถ่ายเทออกจากเนื้อสับปะรดอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ช่วงต้นของการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส และกำลังไมโครเวฟ 400 600 และ 900 วัตต์ จากภาพที่ 10 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะน้อยลง



ภาพที่ 10 แผนภูมิแสดงอัตราการอบแห้งต่อระยะเวลาที่ใช้
(บุญญาวีร์และอรรวี, 2559)

- การศึกษาเบื้องต้นสำหรับค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการทดลองวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า จากมิเตอร์ของการอบแห้งสับปรดพันธุ์กล้วยแล จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่า ค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละสภาวะการอบแห้งมีความแตกต่างกัน เนื่องจากการใช้พลังงานในแต่ละระดับแตกต่างกัน จะสังเกตได้ว่าการใช้ระดับพลังงานที่สูงจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากกว่าการใช้ระดับพลังงานที่ต่ำ สภาวะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด คือ การอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กำลังไมโครเวฟ 400 วัตต์ และพลังงานน้อยที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส กำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ นอกจากนี้ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า การใช้เวลาที่แตกต่างกันทำให้ค่าพลังงานที่ได้แตกต่างกัน จะสังเกตได้ว่าการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งจะสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากกว่าการใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้น

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในการอบสับปรดพันธุ์กล้วยแลด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (ชั่วโมง)	ระดับพลังงาน (วัตต์)	Power Fan (kw)	Power Heater (kw)	Power Microwave (kw)
40	6.5	400	0.552	3.034	6.996
	3	600	0.552	3.034	6.996
	2	900	0.552	3.034	6.996
60	5.5	400	0.552	9.100	6.996
	2.5	600	0.552	9.100	6.996
	2	900	0.552	9.100	6.996

ตารางที่ 3 พลังงานที่ใช้ในแต่ละสภาวะการอบแห้งต่อเวลา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระดับพลังงาน (วัตต์)	เวลา (ชั่วโมง)	E_{Fan}	E_{Heater}	$E_{microwave}$	E_{total}
40	400	6.5	3.59	19.76	45.47	68.82
	600	3	1.66	9.12	20.99	31.77
	900	2	1.04	6.08	13.99	21.11
60	400	5.5	3.04	50.00	38.49	91.53
	600	2.5	1.38	22.75	17.49	41.62
	900	2	1.10	18.20	13.99	33.29

ภาคผนวก 3

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

แบบทดสอบการยอมรับผลิตภัณฑ์สับปะรดภูเก็ตแห้ง

ข้อมูลผู้ทดสอบ

ชื่อ..... เพศ ☐ ชาย ☐ หญิง ☐ ไม่ระบุ
 อายุ ☐ น้อยกว่า 15 ปี ☐ 16-25 ปี ☐ 26-35 ปี ☐ 36-45 ปี
☐ 46-55 ปี ☐ มากกว่า 55 ปี
 เชื้อชาติ ☐ ไทย ☐ จีน ☐ อื่นๆ โปรดระบุ.....

1. กรุณาระดับความพึงพอใจต่อคุณลักษณะของสับปะรดภูเก็ตแห้งดังต่อไปนี้
 (5 = ชอบมาก 4 = ชอบ 3 = เฉยๆ 2 = ไม่ชอบ 1 = ไม่ชอบมาก)

คุณลักษณะ	รหัสตัวอย่าง.....					รหัสตัวอย่าง.....					รหัสตัวอย่าง.....				
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
1. สี															
2. กลิ่น															
3. รสชาติ															
4. เนื้อสัมผัส															
5. ความชอบโดยรวม															
															

2. หากมีผลิตภัณฑ์นี้วางจำหน่าย ท่านจะเลือกซื้อหรือไม่

☐ ซื้ออย่างแน่นอน ☐ อาจจะซื้อ ☐ เฉยๆ ☐ อาจจะไม่ซื้อ ☐ ไม่ซื้อแน่นอน

3. ข้อคิดเห็น

.....

ผู้สัมภาษณ์.....

问卷调查
(清菜小菠萝干)

基本信息

名字..... 性别 ☐ 男 ☐ 女 ☐ 不分

年龄 ☐ 15 岁以下 ☐ 16-25 岁 ☐ 26-35 岁
☐ 36-45 岁 ☐ 46-55 岁 ☐ 55 岁以上

国籍 ☐ 泰国 ☐ 中国 ☐ 其他.....

1.对菠萝干的整体接受度

☐ 非常喜欢 ☐ 喜欢 ☐ 一般 ☐ 不喜欢 ☐ 非常不喜欢

2. 对个别属性的接受度

2.1 颜色

☐ 非常喜欢 ☐ 喜欢 ☐ 一般 ☐ 不喜欢 ☐ 非常不喜欢

2.2 气味

☐ 非常喜欢 ☐ 喜欢 ☐ 一般 ☐ 不喜欢 ☐ 非常不喜欢

2.3 口味

☐ 非常喜欢 ☐ 喜欢 ☐ 一般 ☐ 不喜欢 ☐ 非常不喜欢

2.4 质地

☐ 非常喜欢 ☐ 喜欢 ☐ 一般 ☐ 不喜欢 ☐ 非常不喜欢

3. 如果在市场上销售，你会购买吗？

☐ 肯定会买 ☐ 可能会买 ☐ 一般 ☐ 可能不会买 ☐ 肯定不会买

4. 建议

.....
.....
.....

签名.....



ภาพที่ 1 ร่วมงานมหกรรมของดีตำบลนางแล ประจำปี 2561 ระหว่างวันที่ 10-12 พฤษภาคม 2561 ณ ช่าง นางแล บ้านป่าอ้อ ตำบลนางแล อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย โดยมีการทำแบบสอบถาม ความชอบของผู้เข้าร่วมงานต่อผลิตภัณฑ์สับปะรดภูเก็ตแห้ง



ภาพที่ 2 ร่วมกับสภาเกษตรกรจังหวัดเชียงรายจัดแสดงนิทรรศการในงานสินค้าของดีนครเชียงราย 2561 ระหว่างวันที่ 16-18 พฤษภาคม 2561 ณ สวนตุงและโคมนครเชียงราย

ภาคผนวก 4

ตัวอย่างการคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์สับปะรดภูเก็ตแบบแห้ง

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างการคิดราคาต้นทุนของสับปะรดภูเก็ตแบบ EO 50 กรัม



รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	คิดเป็น (บาท)
สับปะรดภูเก็ตแบบ	1	กิโลกรัม	487.72	487.72
กระป๋องพลาสติก Easy Open	20	ชิ้น	6.19	123.80
สติ๊กเกอร์	20	ชิ้น	3.50	70.00
ซองดูดความชื้น	20	ชิ้น	0.53	10.60
ราคาต้นทุนรวมสับปะรดภูเก็ตแบบ EO จำนวน 20 กระป๋อง				692.12
ราคาต้นทุนสับปะรดภูเก็ตแบบ EO ต่อกระป๋อง				34.61

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการคิดราคาต้นทุนของสับปะรดภูเก็ตแห้งบรรจุแบบ TS 50 กรัม



รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	คิดเป็น (บาท)
สับปะรดภูเก็ตแห้ง	1	กิโลกรัม	487.72	487.72
แก้วพลาสติก	20	ชิ้น	1.06	21.20
ฟิล์มปิดฝาแก้ว	20	ชิ้น	2.20	44.00
สติ๊กเกอร์	20	ชิ้น	3.50	70.00
ซองดูดความชื้น	20	ชิ้น	0.53	10.60
ราคาต้นทุนรวมสับปะรดภูเก็ตแห้งบรรจุแบบ TS จำนวน 20 กระป๋อง				633.52
ราคาต้นทุนสับปะรดภูเก็ตแห้งบรรจุแบบ TS ต่อกระป๋อง				31.68

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างการคิดราคาต้นทุนของสับปะรดภูเก็ตแห้งบรรจุถุงซิปล็อค 80 กรัม



รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย (บาท)	คิดเป็น (บาท)
สับปะรดภูเก็ตแห้ง	800	กรัม	0.4877	390.18
ถุงซิปล็อค	10	ใบ	1.06	10.60
สติ๊กเกอร์	10	ชิ้น	3.54	35.40
ซองดูดความชื้น	10	ชิ้น	0.53	5.30
ราคาต้นทุนรวมสับปะรดภูเก็ตแห้งบรรจุถุงซิปล็อค จำนวน 10 ถุง				441.48
ราคาต้นทุนสับปะรดภูเก็ตแห้งบรรจุถุงซิปล็อคต่อถุง				44.15

ภาคผนวก 5

การถ่ายทอดเทคโนโลยี



การอบรมเชิงปฏิบัติการ “การอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน”

วันที่ 25-26 ธันวาคม 2561

ณ อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการอาหาร (S4) มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

จัดโดย สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร และกลุ่มวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

และ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

สนับสนุนโดย

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ คลินิกเทคโนโลยีเครือข่ายมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

วันอังคารที่ 25 ธันวาคม 2561

08.30-09.00 น.	ลงทะเบียนและรับเอกสาร
09.00-10.30 น.	บรรยายเรื่อง “หลักการเบื้องต้นสำหรับการอบแห้งผักและผลไม้” โดย ผศ. ดร. ละมุล วิเศษ (อ.นก)
10.30-10.45 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
10.45-12.00 น.	บรรยายเรื่อง “การแปรรูปผลไม้อบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน” โดย ผศ. ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด (อ.หนุ่ม)
12.00-13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน
13.00-14.30 น.	ฝึกปฏิบัติ “การเตรียมวัตถุดิบและการอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูเก็ตด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน” โดย ผศ. ดร. พันธุ์สิริ สุทธิลักษณ์ (อ.ออย)
14.30-15.00 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
15.00-16.30 น.	บรรยายเรื่อง “หลักเกณฑ์และวิธีการผลิตอาหารที่ดีเบื้องต้น” และ “คุณภาพและมาตรฐานผลไม้อบแห้ง” โดย ผศ. ดร. พันธุ์สิริ สุทธิลักษณ์ (อ.ออย)

วันพุธที่ 26 ธันวาคม 2561

- | | |
|----------------|--|
| 09.00-09.30 น. | ลงทะเบียน |
| 09.30-10.30 น. | บรรยายเรื่อง “การเลือกใช้บรรจุภัณฑ์สำหรับผลไม้อบแห้ง”
โดย ดร.วิรงรอง ทองดีสุนทร (อ.พลับพลึง) |
| 10.30-10.45 น. | พักรับประทานอาหารว่าง |
| 10.45-12.00 น. | ฝึกปฏิบัติ “การทดสอบคุณภาพด้านต่างๆ ของสับปะรดอบแห้ง”
โดย ผศ. ดร. พันธุ์สิริ สุทธิลักษณ์ (อ.ออย)
สอบถามและแลกเปลี่ยนข้อคิดเห็น |



การจัดการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเรื่อง “การอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน” ระหว่างวันที่ 25-26 ธันวาคม 2561 ณ อาคารปฏิบัติการเทคโนโลยีการอาหาร (S4) มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จำนวนผู้เข้าร่วมอบรม 17 คน

ภาพบรรยากาศการฝึกอบรม



ภาพบรรยากาศการฝึกอบรม



ภาคผนวก 6

ผลการวิเคราะห์คุณภาพสัปดาห์ประดุกแลอบแห้งตาม มพช.138/2558 และ
คุณค่าทางโภชนาการ

รายงานผลการทดสอบ

วันที่ออกรายงาน 25 ธันวาคม 2561

เลขที่รายงาน TRCM61/25552

หน้า 01/02

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า โครงการ "การพัฒนาระบบการแปรรูปสับปะรดพันธุ์ลูกเลอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน"
RDG60T0115

รายละเอียดตัวอย่าง

(ข้อมูลจากลูกค้า)

รหัสตัวอย่าง

ลักษณะและสภาพตัวอย่าง

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง 333 ม. 1 ต. ท่าสุค อ. เมือง จ. เชียงราย 57100

สับปะรดลูกเลอบแห้ง

CM61/09992-001

ประเภทตัวอย่าง : สับปะรดอบแห้ง

ภาชนะบรรจุ : ถุงพลาสติก (ถุงซิปล็อค), จำนวน : 1 ถุง, น้ำหนัก/ปริมาตร : 467 กรัม

อุณหภูมิขณะรับ : อุณหภูมิห้อง, สภาพตัวอย่างปกติ

วันที่รับตัวอย่าง

วันที่ทดสอบ

03 ธันวาคม 2561

03 ธันวาคม 2561 - 25 ธันวาคม 2561

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Benzoic acid	Not Detected	mg/kg	10.0	Compendium of Method for Food Analysis Thailand, 1st Edition, 2003
Moisture	16.13	g/100g	-	AOAC (2016) 925.10 and 950.46
Saccharin *	Not Detected	mg/kg	10.0	Compendium of method for food analysis (2003)
Sorbic acid	Not Detected	mg/kg	10.0	Compendium of Method for Food Analysis Thailand, 1st Edition, 2003
Sulfur dioxide (SO ₂)	13.67	mg/kg	-	AOAC (2016) 990.28
Synthetic Color (Quantitative) *				
Allura Red	Not Detected	mg/kg	1.00	In house method method based on Food control 16 (2005)
Amaranth	Not Detected	mg/kg	1.00	
Brilliant Blue	Not Detected	mg/kg	1.00	
Carmoisine	Not Detected	mg/kg	1.00	
Erythrosine	Not Detected	mg/kg	1.00	
Fast Green	Not Detected	mg/kg	1.00	

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบต้องไม่ถูกทำสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ ยกเว้นทำทั้งฉบับ

FM-QP-24-01-001-R04(28/09/61)P1/2-CM



รายงานผลการทดสอบ

วันที่ออกรายงาน 25 ธันวาคม 2561

เลขที่รายงาน TRCM61/25552

หน้า 02/02

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	LOD	วิธีทดสอบอ้างอิง
Indigo Carmine	Not Detected	mg/kg	1.00	
Ponceau 4R	Not Detected	mg/kg	1.00	
Quinoline Yellow	Not Detected	mg/kg	1.00	
Sunset Yellow	Not Detected	mg/kg	1.00	
Tartrazine	Not Detected	mg/kg	1.00	
<i>Escherichia coli</i>	< 3.0	MPN/g	-	FDA BAM Online, 2017 (Chapter 4)
<i>Salmonella</i> spp.	Not Detected	in 25 g	-	ISO 6579-1 : 2017 (E)
<i>Staphylococcus aureus</i>	< 10	CFU/g	-	FDA BAM Online, 2016 (Chapter 12)
Total Plate Count	9.5×10^2	CFU/g	-	FDA BAM Online, 2001 (Chapter 3)
Yeast and Molds	1.9×10^2	CFU/g	-	FDA BAM Online, 2001 (Chapter 18)
Water Activity (aw) at 25 °C *	0.58	-	-	In house method based on AOAC (2006), 978.18

หมายเหตุ * : รายการทดสอบนอกขอบข่ายการรับรองจาก สมป.

~End of Report~

อนุมัติโดย

(นางสาวศรีวรรณ พักน้อย)

ผู้อำนวยการกอง

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาเชียงใหม่



รายงานผลการทดสอบ

วันที่ออกรายงาน 27 ธันวาคม 2561

เลขที่รายงาน TRSK61/25833

หน้า 01/03

ชื่อและที่อยู่ลูกค้า โครงการ "การพัฒนากระบวนการแปรรูปสับประรดพันธุ์ลูกเลอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน"

RDG60T0115

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง 333 หมู่ที่ 1 ตำบลท่าสุต อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100

รายละเอียดตัวอย่าง สับประรดลูกเลอบแห้ง

(ข้อมูลจากลูกค้า) ปริมาณสุทธิ 50 กรัม

รหัสตัวอย่าง SK61/09310-001

ลักษณะและสภาพตัวอย่าง ประเภทตัวอย่าง : สับประรดลูกเลอบแห้ง

ภาชนะบรรจุ : ถุงพลาสติก (ถุงซิปล)

จำนวน : 1 ถุง น้ำหนัก/ปริมาตร 1 กิโลกรัม

อุณหภูมิ : อุณหภูมิห้อง สภาพตัวอย่างปกติขณะรับ

วันที่รับตัวอย่าง 07 ธันวาคม 2561

วันที่ทดสอบ 11 ธันวาคม 2561 - 24 ธันวาคม 2561

ผลการทดสอบ

รายการทดสอบ	ต่อ 100 กรัม	ต่อหนึ่งหน่วย บริโภค	%RDI	วิธีทดสอบอ้างอิง
พลังงานทั้งหมด (กิโลแคลอรี)	359.37	90	-	Journal of AOAC INTERNATIONAL;1993.p.106
พลังงานจากไขมัน (กิโลแคลอรี) *	5.13	0	-	Journal of AOAC INTERNATIONAL;1993.p.106
ไขมันทั้งหมด (ก.) *	0.57	0	0	AOAC (2016) 948.15
ไขมันอิ่มตัว (ก.)	0.00	0	0	In-house method TE-CH-208 by GC Technique
โคเลสเตอรอล (มก.)	1.75	0	0	In-house method TE-CH-143 based on AOAC (2016) 976.26
โปรตีน (ก.) (%N x 6.25) *	3.01	น้อยกว่า 1	-	AOAC (2016) 981.10
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (ก.)	85.55	21	7	Journal of AOAC INTERNATIONAL;1993.p.106
ใยอาหาร (ก.)	5.14	1	4	AOAC (2016) 985.29
น้ำตาล (ก.)	68.82	17	-	AOAC (2016) 925.35(B)
โซเดียม (มก.)	22.246	5	0	In-house method TE-CH-134 based on AOAC (2016) 984.27
วิตามินเอ (มก.) *	0.00	(0.00)	0	In-house method TE-CH-024 based on Compendium of Methods for Food Analysis Thailand, 1st Edition, 2003
วิตามินบี 1 (มก.)	ไม่พบ	(0.00)	0	In-house method TE-CH-311 based on Journal of AOAC International ,Vol. 85,No.4,2002
วิตามินบี 2 (มก.)	น้อยกว่า 0.10	(0.00)	0	In-house method TE-CH-225 based on Journal of Agriculture Food Chemistry (1984) 32,p.1326-1341
แคลเซียม (มก.)	54.334	(13.58)	น้อยกว่า 2	In-house method TE-CH-134 based on AOAC (2016) 984.27
เหล็ก (มก.)	0.867	(0.22)	0	In-house method TE-CH-134 based on AOAC (2016) 999.10
เถ้า (ก.)	3.10	-	-	AOAC (2016) 923.03
ความชื้น (ก.) *	7.77	-	-	In-house method TE-CH-357 based on AOAC (2016) 925.45

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบต้องไม่ถูกทำสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ ยกเว้นทำทั้งฉบับ

FM-QP-24-01-001-R04(03/12/61)P1/3-SK



รายงานผลการทดสอบ

วันที่ออกรายงาน 27 ธันวาคม 2561

เลขที่รายงาน TRSK61/25833

หน้า 02/03

ข้อมูลโภชนาการ			
หนึ่งหน่วยบริโภค : 1/2 กระปุก (25 กรัม)			
จำนวนหน่วยบริโภคต่อ กระปุก : 2			
คุณค่าทางโภชนาการต่อหนึ่งหน่วยบริโภค			
พลังงานทั้งหมด 90 กิโลแคลอรี (พลังงานจากไขมัน 0 กิโลแคลอรี)			
ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *			
ไขมันทั้งหมด 0 ก.			0%
ไขมันอิ่มตัว 0 ก.			0%
โคเลสเตอรอล 0 มก.			0%
โปรตีน น้อยกว่า 1 ก.			
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด 21 ก.			7%
ใยอาหาร 1 ก.			4%
น้ำตาล 17 ก.			
โซเดียม 5 มก.			0%
ร้อยละของปริมาณที่แนะนำต่อวัน *			
วิตามินเอ 0%	วิตามินบี 1		0%
วิตามินบี 2 0%	แคลเซียม		น้อยกว่า 2%
เหล็ก 0%			
* ร้อยละของปริมาณสารอาหารที่แนะนำให้บริโภคต่อวันสำหรับคนไทยอายุตั้งแต่ 6 ปีขึ้นไป (Thai RDI) โดยคิดจากความต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี			
ความต้องการพลังงานของแต่ละบุคคลแตกต่างกัน ผู้ที่ต้องการพลังงานวันละ 2,000 กิโลแคลอรี ควรได้รับสารอาหารต่าง ๆ ดังนี้			
ไขมันทั้งหมด	น้อยกว่า	65	ก.
ไขมันอิ่มตัว	น้อยกว่า	20	ก.
โคเลสเตอรอล	น้อยกว่า	300	มก.
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด		300	ก.
ใยอาหาร		25	ก.
โซเดียม	น้อยกว่า	2000	มก.
พลังงาน(กิโลแคลอรี) ต่อกรัม : ไขมัน = 9; โปรตีน = 4; คาร์โบไฮเดรต = 4			

รายงานฉบับนี้มีผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

รายงานผลการทดสอบต้องไม่ถูกทำสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน โดยไม่ได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากห้องปฏิบัติการ ยกเว้นทำทั้งฉบับ
FM-QP-24-01-R04(03/12/61)P2/3-SK



รายงานผลการทดสอบ

วันที่ออกรายงาน 27 ธันวาคม 2561
เลขที่รายงาน TRSK61/25833
หน้า 03/03

คุณค่าทางโภชนาการต่อ 1 กระปุก
ควรแบ่งกิน 2 ครั้ง

พลังงาน	น้ำตาล	ไขมัน	โซเดียม
180	34	0	10
กิโลแคลอรี	กรัม	กรัม	มิลลิกรัม
*9%	*52%	*0%	*0%

* คิดเป็นร้อยละของปริมาณสูงสุดที่บริโภคได้ต่อวัน

~End of Report~

อนุมัติโดย
(นายไตรรัตน์ สายมณี)
ผู้อำนวยการ
CERTIFIED
บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด สาขาสงขลา

