

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	3
2.2 การแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์	6
2.3 การทำแห้ง	7
2.4 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์	15
2.5 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	16
2.6 เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด	26
2.7 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟสุญญากาศ	28
2.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง	30
2.9 ผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของอาหารอบแห้งในด้านต่างๆ	31
2.10 น้ำในอาหาร	35
2.11 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี	36
2.12 คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุอบแห้ง	39
2.13 ไบโอมะกรุค	41

2.14	อายุการเก็บรักษา	41
2.15	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
บทที่ 3	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
3.1	วัตถุดิบ อุปกรณ์ และสารเคมี	50
3.2	วิธีการทดลอง	
3.2.1	ตอนที่ 1 ศึกษาปริมาณ citronellal โดยวิธี Headspace Solid Phase Micro Extraction Gas Chromatography	51
3.2.2	ตอนที่ 2 ศึกษาวิธีการอบแห้งต่อคุณภาพใบมะกรูด	52
3.2.3	ตอนที่ 3 ศึกษาอายุการเก็บรักษาใบมะกรูดอบแห้งป่นโดยสภาวะเร่ง	53
บทที่ 4	ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1	การวิเคราะห์ปริมาณ citronellal โดยวิธี Headspace Solid Phase Micro Extraction Gas Chromatography	56
4.2	วิธีการอบแห้งต่อคุณภาพใบมะกรูด	
4.2.1	การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ (solar radiation) ระหว่างอบโดยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	58
4.2.2	อัตราการลดความชื้นของใบมะกรูดโดยตู้อบสมร้อนแบบถาด	58
4.2.3	อัตราการลดความชื้นของใบมะกรูดโดยตู้อบไมโครเวฟสูญญากาศ	61
4.2.4	คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของใบมะกรูดที่อบแห้งโดยวิธีต่าง ๆ	62
4.3	อายุการเก็บรักษาของใบมะกรูดอบแห้งป่น	
4.3.1	ปริมาณ citronellal ต่อการยอมรับของผู้บริโภค	64
4.3.2	อายุการเก็บรักษาของใบมะกรูดอบแห้งป่น	67
4.3.3	การทำนายอายุการเก็บรักษาของใบมะกรูดอบแห้งป่น	74
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	77
	บรรณานุกรม	78
	ประวัติผู้เขียน	86

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
2.1	ศึกษาภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมของ จ. เชียงใหม่	5
2.2	พลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกระบายออกและดูดซับ	7
3.1	ปริมาณ citronellal ต่อสารละลาย 200 ไมโครลิตร สำหรับทำกราฟมาตรฐาน	52
3.2	ระยะเวลาที่เก็บใบมะกรูดอบแห้งป่นในแต่ละอุณหภูมิ	54
3.3	อัตราส่วนของใบมะกรูดอบแห้งป่นใหม่และเก่า	55
4.1	พื้นที่ของ citronellal ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วย gas chromatography	56
4.2	อัตราการลดลงของความชื้นของใบมะกรูดที่อบ โดยตู้อบลมร้อนแบบถาด	59
4.3	ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของแต่ละ model ในการวิเคราะห์แบบ regression จากการอบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด	60
4.4	อัตราการลดลงของความชื้นของใบมะกรูดที่อบ โดยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ	61
4.5	ค่าคงที่และสัมประสิทธิ์ของแต่ละ model ในการวิเคราะห์แบบ regression จากการอบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ	62
4.6	คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของใบมะกรูดอบแห้งจากการอบแห้งวิธีต่าง ๆ	63
4.7	ปริมาณ citronellal ในตัวอย่างใบมะกรูดอบแห้งป่น	65
4.8	การยอมรับของผู้บริโภคต่อปริมาณ citronellal ในตัวอย่างใบมะกรูดอบแห้งป่นผสม	65
4.9	ปริมาณ citronellal ในใบมะกรูดอบแห้งป่นผสม หากคะแนนความชอบเท่ากับ 5	66
4.10	การยอมรับของผู้บริโภคต่ออัตราส่วนใบมะกรูดอบแห้งป่นในอัตราส่วนต่าง ๆ	66
4.11	คุณภาพทางเคมีและกายภาพเริ่มต้นสำหรับใบมะกรูดที่ใช้ศึกษาอายุการเก็บรักษา	67
4.12	ค่าตัวแปรจากสมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ citronellal กับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ สำหรับใบมะกรูดอบแห้งป่นที่บรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	69
4.13	ค่าตัวแปรจากสมการความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ citronellal กับเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิต่าง ๆ สำหรับใบมะกรูดอบแห้งป่นที่บรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน	70
4.14	ค่า Ea ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ citronellal ของใบมะกรูดอบแห้งป่น	74

- 4.15 การทำนายอายุการเก็บรักษาใบมะกรูดอบแห้งป่นที่อบแห้งโดยวิธีการต่าง ๆ 76  
และลักษณะการบรรจุต่าง ๆ ที่อุณหภูมิเก็บรักษา 4 °C



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า	
2.1	ศึกษาภาพแสงสว่างธรรมชาติจากภาพถ่ายดาวเทียมของประเทศไทย	4
2.2	การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชั้นอาหารระหว่างการอบแห้ง	9
2.3	น้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการอบแห้ง	10
2.4	ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาการอบแห้ง	11
2.5	กราฟอัตราการแห้งสำหรับอาหารชนิดหนึ่งๆ	12
2.6	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์	24
2.7	การทำงานของเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดทั่วไป	27
2.8	ไอโซเทอมของความชื้น (moisture isotherm)	37
2.9	ผลของวอเตอร์แอกติวิตีต่อการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาต่างๆ ในอาหาร	38
4.1	โครมาโตแกรมของ citronellal (a) และกราฟมาตรฐานของ citronellal ต่อพื้นที่โครมาโตแกรม (uV) (b)	57
4.2	การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ระหว่างการอบแห้งโดยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	58
4.3	อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากข้อมูลจริงและทำนายจาก model ต่าง ๆ ของใบมะกรูดที่อบแห้งโดยตู้อบลมร้อนแบบถาด	60
4.4	อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากข้อมูลจริงและทำนายจาก model ต่าง ๆ ของใบมะกรูดที่อบแห้งโดยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศ	62
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนใบมะกรูดอบแห้งป่นใหม่และเก่า ต่อปริมาณ citronellal (%)	65
4.6	Arrhenius plot ของปริมาณ citronellal (%) ของใบมะกรูดอบแห้งป่นที่อบด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์และบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	71
4.7	Arrhenius plot ของปริมาณ citronellal (%) ของใบมะกรูดอบแห้งป่นที่อบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์	71
4.8	Arrhenius plot ของปริมาณ citronellal (%) ของใบมะกรูดอบแห้งป่นที่อบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศและบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน	72
4.9	Arrhenius plot ของปริมาณ citronellal (%) ของใบมะกรูดอบแห้งป่นที่อบด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์และบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน	72

- 4.10 Arrhenius plot ของปริมาณ citronellal (%) ของใบมะกรูดอบแห้งป่น  
ที่อบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดและบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน 73
- 4.11 Arrhenius plot ของปริมาณ citronellal (%) ของใบมะกรูดอบแห้งป่น  
ที่อบด้วยตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศและบรรจุในถุงโพลีโพรพิลีน 73
- 4.12 การทำนายอายุการเก็บรักษาใบมะกรูดอบแห้งป่นที่อบด้วย  
ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์และบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ 75
- 4.13 การทำนายอายุการเก็บรักษาใบมะกรูดอบแห้งป่นที่อบด้วย  
ตู้อบลมร้อนแบบถาดและบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ 75
- 4.14 การทำนายอายุการเก็บรักษาใบมะกรูดอบแห้งป่นที่อบด้วย  
ตู้อบไมโครเวฟสุญญากาศและบรรจุในถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ 76