

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 บทนำ	3
2.2 การถ่ายเทความร้อน	3
2.3 การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก	4
2.4 เครื่องอบไมโครเวฟ	5
2.4.1 หลักการพื้นฐานของไมโครเวฟ	5
2.4.2 การเกิดความร้อนจากไมโครเวฟ	6
2.4.3 ลักษณะเด่นของคลื่นไมโครเวฟ	7
2.5 กลไกการลดความชื้นของเครื่องอบลมร้อน	8
2.6 ข้อมูลเกี่ยวกับงาขี้ม้อน	8
2.6.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	9
2.6.2 น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	10
2.7 ลิพิด	11
2.7.1 กรดไขมัน	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของกรดไขมัน	13
2.7.3 ความคงตัวของน้ำมัน	21
2.8 สรุปผลการเสื่อมสภาพของน้ำมันเนื่องจากความร้อน	24
2.9 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 บทนำ	29
3.2 การวางแผนการทดลอง	29
3.3 การเตรียมเมล็ดงาขี้ม้อนเพื่อใช้ในการทดลอง	29
3.4 การประเมินสมรรถนะของการลดความชื้น	30
3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง	30
3.4.2 เทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกและแบบลมร้อน	30
3.4.3 วิธีการทดลอง	32
3.4.4 การเก็บข้อมูลเพื่อประเมินสมรรถนะของเทคนิคการให้ความร้อน	32
3.5 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของเมล็ดงาขี้ม้อน	32
3.5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงาขี้ม้อน	32
3.5.2 การวิเคราะห์สีของเมล็ดงาขี้ม้อน	33
3.5.3 ปริมาณความชื้นของเมล็ดงาขี้ม้อน (% wb)	33
3.5.4 การตรวจวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity; a_w) ของเมล็ดงาขี้ม้อน	34
3.6 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	34
3.6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	34
3.6.2 ปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้	35
3.6.3 ความถ่วงจำเพาะ	36
3.6.4 สี	36
3.6.5 ความหนืด	36
3.7 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	37
3.7.2 ค่าไอโอดีน	38
3.7.3 ค่าซาปอนินฟิเคชัน	39
3.7.4 ค่าของกรด	39
3.7.5 ปริมาณสารที่ระเหยได้	40
3.7.6 ค่าเปอร์ออกไซด์	40
3.7.7 ปริมาณเบตา-แคโรทีน	41
3.8 วิธีการเตรียมสารละลายในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 บทนำ	44
4.2 ความสามารถในการลดความชื้น	44
4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพเมล็ดงาขี้ม้อนหลังลดความชื้น	47
4.3.1 ปริมาณความชื้นและปริมาณน้ำอิสระของเมล็ดงาขี้ม้อน	47
4.3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดงาขี้ม้อน	49
4.3.3 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงาขี้ม้อนหลังลดความชื้น	54
4.4 ผลการศึกษาปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้	55
4.5 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	57
4.5.1 ผลการศึกษาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	57
4.5.2 ผลการศึกษาค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	62
4.5.3 ผลการศึกษาค่าความตึงผิวเฉพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	64
4.5.4 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	66
4.6 ผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	67
4.6.1 ผลการศึกษาค่าของกรดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	67
4.6.2 ผลการศึกษาค่าซาปอนินฟิเคชันของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	69
4.6.3 ผลการศึกษาค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.6.4 ผลการศึกษาค่าไอโอดีนของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	72
4.6.5 ผลการศึกษาปริมาณของเบตา-แคโรทีนในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	73
4.6.6 ผลการศึกษาปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	75
4.6.7 สรุปผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	76
4.7 สรุปผลการศึกษาเทคนิค อุณหภูมิ และระยะเวลาในการลดความชื้นต่อสมบัติทางกายภาพของเมล็ดงาขี้ม้อน รวมถึงปริมาณ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	78
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	80
5.1.1 ผลการวิเคราะห์หือทธิพลของเทคนิคและระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันต่อระยะเวลาในการลดความชื้น	80
5.1.2 ผลการวิเคราะห์หือทธิพลของเทคนิคและระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันของการให้ความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพเมล็ดงาขี้ม้อนหลังการลดความชื้น	80
5.1.3 ผลการวิเคราะห์หือทธิพลของเทคนิคและระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันของการให้ความร้อนต่อปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้	81
5.1.4 ผลการวิเคราะห์หือทธิพลของเทคนิคและระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันของการให้ความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	81
5.1.5 ผลการวิเคราะห์หือทธิพลของเทคนิคและระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันของการให้ความร้อนต่อสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	83
5.2 ข้อเสนอแนะ	85
บรรณานุกรม	86
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ภาพต้น เมล็ด น้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนและอุปกรณ์การทดลอง	96
ภาคผนวก ข ตัวอย่างตารางข้อมูลการทดลอง	102

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ	116
ภาคผนวก ง การคำนวณค่าวิเคราะห์ต่างๆ ในวิทยานิพนธ์	137
ภาคผนวก จ การทดลองย่อยในวิทยานิพนธ์	148
ประวัติผู้เขียน	154

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	10
2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	11
4.1 ผลของอุณหภูมิและเทคนิคต่อระยะเวลาในการลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อน	45
4.2 ผลการศึกษาทางสถิติด้านความชื้นและปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดงาขี้ม้อน	47
4.3 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพด้านสีของเมล็ดงาขี้ม้อน	53
4.4 ปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้	55
4.5 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพด้านสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	61
4.6 สรุปผลสมบัติด้านความหนืดและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	66
4.7 สรุปผลการศึกษาสมบัติทางเคมีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	77
ข.1 ตารางข้อมูลการทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้น (% wb) กับระยะเวลาในการลดความชื้น (นาที)	103
ข.2 ตารางข้อมูลความชื้น (สุดท้าย) เมล็ดงาขี้ม้อนหลังลดความชื้น	104
ข.3 ตารางข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดงาขี้ม้อน	105
ข.4 ตารางข้อมูลปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ของเมล็ดงาขี้ม้อน	105
ข.5 ตารางข้อมูลปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	106
ข.6 ตารางข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	107
ข.7 ตารางข้อมูลความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	108
ข.8 ตารางข้อมูลความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	109
ข.9 ตารางข้อมูลค่าของกรดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	110
ข.10 ตารางข้อมูลค่าซาปอนนิฟิเคชันของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	111
ข.11 ตารางข้อมูลค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	112
ข.12 ตารางข้อมูลค่าไอโอดีนของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	113
ข.13 ตารางข้อมูลปริมาณเบตา-แคโรทีนในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	114
ข.14 ตารางข้อมูลสารที่ระเหยได้ในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	115
ค.1 ผลวิเคราะห์ทางสถิติด้านเวลาในการลดความชื้นของเมล็ดงาขี้ม้อน	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ค.2 ผลวิเคราะห์ทางสถิติด้านความชื้น (สุดท้าย) หลังการลดความชื้นเมล็ดงาขี้ม้อน	118
ค.3 ผลวิเคราะห์ทางสถิติด้านปริมาณน้ำอิสระในเมล็ดงาขี้ม้อน	119
ค.4 ผลวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L*) ของเมล็ดงาขี้ม้อน	120
ค.5 ผลวิเคราะห์ค่าสีแดง (a*) ของเมล็ดงาขี้ม้อน	121
ค.6 ผลวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (b*) ของเมล็ดงาขี้ม้อน	122
ค.7 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของสีเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการลดความชื้นเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (ΔE)	123
ค.8 ผลวิเคราะห์ทางสถิติด้านปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	124
ค.9 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	125
ค.10 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	126
ค.11 ผลวิเคราะห์ค่าความสว่าง (L*) ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	127
ค.12 ผลวิเคราะห์ค่าสีแดง (a*) ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	128
ค.13 ผลวิเคราะห์ค่าสีเหลือง (b*) ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	129
ค.14 ผลวิเคราะห์ความแตกต่างของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่ผ่านการให้ความร้อนเมล็ดเทียบกับกลุ่มควบคุม (ΔE)	130
ค.15 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าของกรดของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	131
ค.16 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าซาปอนนิฟิเคชันของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	132
ค.17 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	133
ค.18 ผลวิเคราะห์ทางสถิติค่าไอโอดีนของน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	134
ค.19 ผลวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณเบตา-แคโรทีนในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	135
ค.20 ผลวิเคราะห์ทางสถิติปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	136
จ.1 ผลของสารสกัดต่อปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อนที่สกัดได้	151
จ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันที่ใช้ในการสกัดต่อปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาขี้ม้อน	153

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 ช่วงสเปกตรัมความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ	5
2.2 การสั่นสลับขั้วของ โมเลกุลในคลื่นไมโครเวฟ	6
2.3 การสั่นสลับขั้วของ โมเลกุลตามทิศทางของคลื่นไมโครเวฟ	7
2.4 แบบการทำงานของเครื่องอบลมร้อน	8
2.5 โครงสร้างของกรดไขมัน	12
2.6 การเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันระหว่างการให้ความร้อน	25
3.1 ส่วนประกอบของเครื่องอบไมโครเวฟที่ควบคุมอุณหภูมิได้	31
3.2 ส่วนประกอบของเครื่องอบลมร้อน	31
4.1 อุณหภูมิและเทคนิคในการให้ความร้อนที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของเมล็ดงาเขียว	45
4.2 ผลการศึกษาความชื้นสุดท้าย (% wb) เมล็ดงาเขียว	48
4.3 ผลการศึกษาค่าปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เมล็ดงาเขียว	48
4.4 ผลการศึกษาค่า L^* เมล็ดงาเขียว	50
4.5 ผลการศึกษาค่า a^* เมล็ดงาเขียว	50
4.6 ผลการศึกษาค่า b^* เมล็ดงาเขียว	51
4.7 ผลการศึกษาค่า ΔE เมล็ดงาเขียว	52
4.8 ปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาเขียวที่สกัดได้	56
4.9 น้ำมันจากเมล็ดงาเขียวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วย 2 เทคนิค ณ อุณหภูมิต่างๆ	57
4.10 ผลการศึกษาค่า L^* น้ำมันจากเมล็ดงาเขียว	58
4.11 ผลการศึกษาค่า a^* น้ำมันจากเมล็ดงาเขียว	59
4.12 ผลการศึกษาค่า b^* น้ำมันจากเมล็ดงาเขียว	59
4.13 ผลการศึกษาค่า ΔE น้ำมันจากเมล็ดงาเขียว	60
4.14 ผลการศึกษาค่าความหนืดของน้ำมันจากเมล็ดงาเขียว	63
4.15 ผลการศึกษาค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากเมล็ดงาเขียว	65
4.16 ผลการศึกษาค่าของกรดของน้ำมันจากเมล็ดงาเขียว	68
4.17 ผลการศึกษาค่าซาปอนนิฟิเคชันของน้ำมันจากเมล็ดงาเขียว	70
4.18 ผลการศึกษาค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันจากเมล็ดงาเขียว	71

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.19 ผลการศึกษาค่าไอ โอดีนของน้ำมันจากเมล็ดงาจี๊ม่อน	72
4.20 ผลการศึกษาปริมาณเบตา-แคโรทีนในน้ำมันจากเมล็ดงาจี๊ม่อน	74
4.21 ผลการศึกษาปริมาณสารที่ระเหยได้ในน้ำมันจากเมล็ดงาจี๊ม่อน	75
ก.1 ต้นและเมล็ดงาจี๊ม่อน	97
ก.2 น้ำมันจากเมล็ดงาจี๊ม่อนที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเทคนิคและอุณหภูมิระดับต่างๆ	97
ก.3 เครื่องอบไมโครเวฟที่ควบคุมอุณหภูมิได้	98
ก.4 เครื่องอบลมร้อน	98
ก.5 เครื่องระเหยแยกสารแบบหมุนและควบคุมความดัน	99
ก.6 เครื่องหมุนเหวี่ยง	99
ก.7 เครื่องวัดสี	100
ก.8 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์	100
ก.9 ตู้แช่เย็นสำหรับใช้เก็บเมล็ดงาจี๊ม่อน	101
ก.10 การเก็บวัตถุดิบในตู้แช่เย็น	101
จ.1 ปริมาณน้ำมันจากเมล็ดงาจี๊ม่อนที่สกัดด้วยเอทานอลเปรียบเทียบกับน้ำมันจากเมล็ดงาจี๊ม่อนที่สกัดด้วยเฮกเซน	150

อักษรย่อและสัญลักษณ์

A	คือ แอมแปร์ (ampere)
A.V.	คือ ค่าของกรด (acid value)
a_w	คือ ปริมาณน้ำอิสระ (water activity)
cP	คือ หน่วยของความหนืด (เซนติพอยต์)
CTMW	คือ เครื่องอบไมโครเวฟที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (controllable temperature microwave dryer)
$^{\circ}\text{C}$	คือ องศาเซลเซียส (degree celsius)
db	คือ dry basis
ΔE	คือ ค่าความแตกต่างของสีรวม (total color difference)
ERH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (equilibrium relative humidity)
ϵ'	คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant)
ϵ''	คือ แฟกเตอร์การสูญเสียไดอิเล็กทริก (dielectric loss factor)
g	คือ กรัม (gram)
GHz	คือ หน่วยของความถี่ (gigahertz)
HA	คือ เครื่องอบลมร้อน (hot air dryer)
I.N, I.V.	คือ ค่าไอโอดีน (iodine number)
M	คือ หน่วยความเข้มข้นที่เป็นอัตราส่วนของจำนวนโมลของตัวถูกละลายที่อยู่ในสารละลาย ปริมาตร 1 ลิตร (โมลาร์; molarity)
Meq.O ₂ /kg	คือ หน่วยของค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลของออกซิเจนต่อ 1 กิโลกรัมของน้ำมัน)
mgKOH/g	คือ หน่วยของค่าซาปอนิฟิเคชัน (มิลลิกรัมของโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมของน้ำมัน)
mgNaOH/g	คือ หน่วยของค่าของกรด (มิลลิกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อ 1 กรัมของน้ำมัน)
M_i	คือ ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้งเริ่มต้น, %
M_f	คือ ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้งสุดท้าย, %

MHz	คือ megahertz
m_w	คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ, kg
$m_{p,i}$	คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุ, kg
min	คือ นาที (minute)
ml	คือ มิลลิลิตร (milliliter)
N	คือ จำนวนกรัมสมมูลของสารละลาย 1 ลิตร (นอร์มอล; normality)
N/m^2	คือ หน่วยของความเค้นเฉือน (นิวตันต่อตารางเมตร)
P	คือ ความดันไอของอาหาร, Pa
P_0	คือ ความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน, Pa
ppm	คือ หนึ่งในล้านส่วน (part per million)
P.V.	คือ ค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value)
R.M.N.	คือ รีเชิร์ต มิซล นัมเบอร์ (Reichert Meissl number)
RH	คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity)
S.N., S.V.	คือ ค่าซาปอนนิฟิเคชัน (saponification value)
$\tan \delta$	คือ loss tangent หรือ dissipation factor
V	คือ โวลต์ (volt)
W	คือ วัตต์ (watt)
wb	คือ wet basis