

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
สัญลักษณ์และอักษรเต็ม	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการศึกษา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บั๊วบก	4
2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของบั๊วบก	4
2.1.2 องค์ประกอบทางสารเคมีที่สำคัญในบั๊วบก	6
2.1.3 สารประกอบเทอร์พีน	6
2.1.4 สารประกอบฟีนอล	8
2.1.5 คลอโรฟิลล์	9
2.1.6 แคโรทีนอยด์	11
2.1.7 ผลต่อสุขภาพของบั๊วบก	12
2.2 เซลลูลี	17
2.2.1 ส่วนประกอบสำคัญในการผลิตเซลลูลี	18
2.3 การอบแห้ง	28
2.3.1 การทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่	29
2.3.2 การทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งลดลง	29

2.3.3 การถ่ายเทความร้อนและมวล	29
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งอาหาร	30
2.3.5 การเปลี่ยนแปลงระหว่างการอบแห้งอาหาร	31
2.4 การอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อน	32
2.4.1 หลักการทำงานของปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	32
2.4.2 ลักษณะของระบบปั๊มความร้อน	34
2.4.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน	36
2.5 รังสีอัลตราไวโอเล็ต	38
2.5.1 ประโยชน์และข้อจำกัดของการฉายรังสี	39
2.5.2 ผลของการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ตต่อเปลี่ยนแปลงของจุลินทรีย์	39
2.6 การอบแห้งด้วยอินฟราเรด	41
2.6.1 การแผ่รังสีอินฟราเรด	42
2.6.2 กลไกการแผ่รังสีอินฟราเรด	42
2.6.3 การลดความชื้นโดยใช้อินฟราเรด	45
2.6.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด	45
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	48
3.1 วัตถุประสงค์และอุปกรณ์	48
3.2 วิธีการทดลอง	49
3.2.1 การเตรียมน้ำบวบก	49
3.2.2 วิธีวิจัย	50
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	68
4.1 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาของน้ำบวบกสด	68
4.2 พัฒนาสูตรที่เหมาะสมของเฮลลีแห้งจากน้ำบวบก	72
4.2.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างคาร์ราจีแนนกับ โลคัสต์บีนกัม ในการผลิตเฮลลีแห้งจากน้ำบวบก	72
4.2.2 ศึกษาปริมาณน้ำตาลซูโครสที่เหมาะสมในการผลิตเฮลลีแห้งจากน้ำบวบก	79
4.3 การศึกษาคุณภาพของเฮลลีจากน้ำบวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อน	86

ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ต และอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ	
4.3.1 ผลของการทำแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ต ต่อคุณภาพของเยลลีน้ำบัวบก	86
4.3.2 ผลของการทำแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศต่อคุณภาพ ของเยลลีน้ำบัวบก	94
4.3.3 เปรียบเทียบคุณภาพของเยลลี่ที่อบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อน และอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ	101
4.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพในระหว่างการเก็บรักษาของเยลลี่แห้ง จากน้ำบัวบก	104
4.4.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพของเยลลี่แห้งจากน้ำบัวบก	104
4.4.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของเยลลี่แห้งจากน้ำบัวบก	106
4.4.5 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางจุลชีววิทยาของเยลลี่แห้งจากน้ำบัวบก	117
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	120
5.1 สรุปผลการทดลอง	120
5.2 ข้อเสนอแนะ	121
เอกสารอ้างอิง	122
ภาคผนวก	133
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ และด้านจุลชีววิทยา	134
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาระหว่างเก็บรักษา	145
ภาคผนวก ค โครมาโตแกรม HPLC	152
ภาคผนวก ง แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	157
ภาคผนวก จ รูปภาพงานวิจัย	160
ภาคผนวก ฉ การทำงานของเครื่องปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต	163
ภาคผนวก ช การทำงานของเครื่องอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ	167
ภาคผนวก ซ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเยลลี่แห้ง	169
ประวัติผู้เขียน	177

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
2.1	องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของบัวบก	6
2.2	ฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ของสารสกัดจากบัวบก	16
3.1	สิ่งทดลองที่ผันแปรอัตราส่วนของคาร์ราจีแนนกับ โลคัสต์บีนกัม	65
4.1	คุณภาพทางเคมี และจุดชีววิทยาของน้ำใบบัวบกสด	69
4.2	ค่าปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าความเหนียว ของเยลลีน้ำใบบัวบก ที่ผันแปรอัตราส่วนของคาร์ราจีแนนต่อ โลคัสต์บีนกัม ที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธี ปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50 ^o ซ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	75
4.3	ค่าสี ของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผันแปรอัตราส่วนระหว่างคาร์ราจีแนนและ โลคัสต์บีนกัมที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50 ^o ซ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	76
4.4	คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผันแปรอัตราส่วนของ คาร์ราจีแนนต่อ โลคัสต์บีนกัมที่ผ่านการอบด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสี อัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50 ^o ซ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	78
4.5	ปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าความเหนียว ของเยลลีน้ำใบบัวบก ที่ผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ผ่านการอบด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้ รังสีอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50 ^o ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	82
4.6	ค่าสีของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผันแปรปริมาณน้ำตาลซูโครสที่ผ่านการอบด้วยวิธี ปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50 ^o ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	83
4.7	คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ผันแปรปริมาณน้ำตาล ซูโครสที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต อุณหภูมิ 40-50 ^o ซ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	85
4.8	ปริมาณความชื้น ค่ากิจกรรมของน้ำ และค่าความเหนียว ในเยลลีน้ำใบบัวบก ที่ทำแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต	87
4.9	ค่าสีของเยลลีน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีปั๊มความร้อนภายใต้รังสี อัลตราไวโอเลต	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.10 ปริมาณกรดอะซิติก ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และปริมาณแคโรทีนอยด์ ของเยลลี่จากน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีป้อนความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต	89
4.11 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเยลลี่จากน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีป้อนความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลต	93
4.12 ค่าสีของเยลลี่จากน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ	94
4.13 ค่าความหนืด ค่ากิจกรรมของน้ำ และปริมาณความชื้นของเยลลี่จากน้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ	95
4.14 ปริมาณกรดอะซิติก ปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด ปริมาณแคโรทีนอยด์ และปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมดในเยลลี่น้ำใบบัวบกที่ทำแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ	96
4.15 ผลการวิเคราะห์ทางประสาทสัมผัสของเยลลี่จากน้ำใบบัวบกที่อบแห้งด้วยวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ	100
4.16 คุณภาพของเยลลี่ที่อบแห้งด้วยวิธีป้อนความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตและอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ	102
4.17 ข้อดีและข้อเสียของเยลลี่น้ำใบบัวบกที่ผ่านการอบแห้งด้วยวิธีป้อนความร้อนภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตและวิธีอินฟราเรดภายใต้สุญญากาศ	103

สารบัญรูปภาพ

รูป	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของใบบัวบก	5
2.2 โครงสร้างพื้นฐานของ Asiaticoside	7
2.3 โครงสร้างพื้นฐานของ Madecassoside	7
2.4 โครงสร้างพื้นฐานของ Asiatic acid	8
2.5 โครงสร้างพื้นฐานของ Madecassic acid	8
2.6 โครงสร้างโมเลกุลของไพโรล (pyroole) และพอร์ไฟริน (porphyrin)	10
2.7 การสลายตัวของวัตถุคลอโรฟิลล์	11
2.8 หน่วยโครงสร้างย่อยในโมเลกุลของแคปป์ตา-แลมบ์ดา-และไอโอดีตา-คาร์ราจีแนน	25
2.9 หน่วยโครงสร้างย่อยในโมเลกุลของโคลัสตีบีนกัม	28
2.10 ส่วนประกอบของวัฏจักรบีบีความร้อนแบบอัดไอ	33
2.11 แผนภูมิความดันและวัฏจักรเอนทัลปีของวัฏจักรบีบีความร้อนแบบอัดไอ	34
2.12 แผนผังระบบวงจรของเครื่องอบแห้งแบบบีบีความร้อน	34
2.13 ประสิทธิภาพของวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกัน	37
2.14 การอบแห้งด้วยการแผ่รังสีของแผ่นของแข็งขึ้น	43
2.15 โพรไฟล์อุณหภูมิ (a) และโพรไฟล์ความชื้น (b) ระหว่างการอบแห้งด้วยการแผ่รังสีของแผ่นของแข็งขึ้นในรูป 2.13	44
3.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำบัวบก	49
3.2 กราฟมาตรฐานอะเซียติโคไซด์ (mg/L)	51
3.3 กราฟมาตรฐานกรดอะเซียติก (mg/L)	52
3.4 กราฟมาตรฐานสารประกอบฟีนอลทั้งหมด (mg/L)	55
3.5 กราฟมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก (mg/L)	58
3.6 กราฟมาตรฐานสารประกอบแคโรทีนอยด์ (mg/L)	61
3.7 กรรมวิธีการผลิตเซลล์แห้งจากน้ำบัวบก	64
4.1 โครมาโทแกรมของกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid)	68
4.2 โครมาโทแกรมของอะเซียติโคไซด์ (asiaticoside) และกรดอะเซียติก (asiatic acid)	69

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักเปียก) และค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) เทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ชั่วโมง)	73
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) กับเวลาที่ใช้ออบ (ชั่วโมง)	73
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักเปียก) และค่ากิจกรรมของน้ำ (a_w) เทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบ (ชั่วโมง)	79
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) เทียบกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	80
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเหนียวและเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4°C (a) และ 30°C (b)	105
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4°C (a) และ 30°C (b)	107
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากิจกรรมของน้ำและเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4°C (a) และ 30°C (b)	108
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกรดอะซิติก และเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4°C (a) และ 30°C (b)	110
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด และเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C (a) และ 30°C (b)	112
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคโรทีนอยด์ และเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4°C (a) และ 30°C (b)	114
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอโรฟิลล์ทั้งหมด และเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C (a) และ 30°C (b)	116
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนจุลินทรีย์ทั้งหมด และเวลาในการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C (a) และ 30°C (b)	118
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนยีสต์และรา และเวลาในการเก็บรักษา ที่อุณหภูมิ 4°C (a) และ 30°C (b)	119

อักษรย่อและ อักษรเต็ม

อักษรย่อ	อักษรเต็ม
a_w	water activity
$^{\circ}\text{Bx}$	Brix หรือ Balling,
BCE	beta-carotene equivalent
Be'	Baume
CFU	colony-forming unit
DNA	deoxyribonucleic acid
FIR	far-infrared
GAE	gallic acid equivalent
HP	heat pump
HPLC	high - performance liquid chromatography
IR	infrared
kGy	kilogray
kPa	kilopascal
MER	moisture extraction rates
mid-IR	middle infrared
MPN	most probable number
NIR	near infrared
PE	polyethylene
PPO	polyphenol oxidase
SMER	specific moisture extraction rates
UV	ultraviolet
Vis	visible

สัญลักษณ์ 1 atm = 760 mmHg = 1.01 bar = 101.3 KPa