สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก-1
บทคัดย่อ	บ-1
Abstract	บ-5
สัญลักษณ์และคำย่อ	ส-1
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1-1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1-4
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	1-4
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากงานโครงการวิจัย	1-5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2-1
2.1.1 พืชพลังงานที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย	2-1
2.1.2กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากพืชน้ำมัน	2-2
2.1.3 มาตรฐานไบโอดีเซลและคุณสมบัติเชื้อเพลิง	2-8
2.1.4 การวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด	2-10
2.1.5 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระ	2-10
2.1.6 การคำนวณหาร้อยละของผลผลิตไบโอดีเซล	2-11
2.1.7 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล	2-11
2.1.8 การเผาไหม้และการเกิดมลพิษในเครื่องยนต์	2-13
2.1.9 การประเมินศักยภาพการลดอุณหภูมิสภาวะแวดล้อมจากการใช้น้ำของมะเยาหิน	2-15
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2-19
2.2.1 งานวิจัยการผลิตไบโอดีเซลจากพืชน้ำมัน	2-19
2.2.2 งานวิจัยการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์จากพืชน้ำมัน	2-23

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 แปลงมะเยาหินที่ทำการศึกษาในโครงการ 3-1
3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือทดสอบ 3-1
3.2.1 เครื่องมือ และสารเคมีในการทดลอง 3-1
3.2.2 เครื่องสกัดน้ำมันทางกล และทางเคมี 3-3
3.2.3 ชุดผลิตไบโอดีเซลด้วยคลื่นอัลตราโซนิค และไมโครเวฟ 3-4
3.2.4 ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 3-5
3.2.5 ชุดวัดมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล 3-7
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย 3-8

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะเยาหิน 4-2
1.1 ลักษณะของต้นมะเยาหิน 4-2
ส่วนที่ 2 ศักยภาพการให้ผลผลิต และการสำรวจสายพันธุ์มะเยาหินในประเทศลาว 4-5
2.1 สายพันธุ์ และการปลูกต้นมะเยาหินในประเทศลาว 4-5
2.2 ลักษณะทั่วไปของพันธุ์มะเยาหินในประเทศลาว 4-5
2.2.1 พื้นที่เพาะปลูกมะเยาหิน 4-5
2.2.2 อายุและระยะการปลูกต้นมะเยาหิน 4-7
2.3 สภาพแวดล้อมของมะเยาหินและธาตุอาหารในดินเพาะปลูกประเทศลาว 4-10
2.3.1 สภาพภูมิอากาศ ดินและน้ำ 4-10
2.3.2 ปริมาณธาตุอาหารในดินเพาะปลูกต้นมะเยาหินในประเทศลาว 4-11
2.4 ศักยภาพการให้ผลผลิต และการซื้อขายมะเยาหินในประเทศลาว 4-12
2.4.1 ศักยภาพการให้ผลผลิตมะเยาหิน 4-12
2.4.2 การซื้อขายเมล็ดมะเยาหินในประเทศลาว 4-15

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
ส่วนที่ 3 ศักยภาพการให้ผลผลิต และการตอบสนองสภาพแวดล้อมของมะเยาหิน จังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน	4-17
3.1 การสำรวจแปลงเพาะปลูกในจังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน	4-17
3.2 ระยะการปลูกมะเยาหินที่เหมาะสม	4-22
3.3 การจัดการเรื่องดิน น้ำ และการใช้ปุ๋ย	4-23
3.3.1 การจัดการเรื่องดิน	4-23
3.3.2 การจัดการเรื่องน้ำ	4-23
3.3.3 การจัดการเรื่องปุ๋ย	4-23
3.4 คุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารในดินของแปลงเพาะปลูกจังหวัดเชียงใหม่	4-24
3.5 การตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน	4-25
3.6 โรค แมลง และศัตรูพืชมะเยาหิน	4-26
3.7 ศักยภาพในการให้ผลผลิตมะเยาหินในแปลงจังหวัดเชียงใหม่	4-30
ส่วนที่ 4 การเก็บเกี่ยวผลผลิต และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว	4-32
4.1 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะเยาหิน	4-32
4.2 การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต	4-32
4.2.1 การเก็บเกี่ยวเมล็ดมะเยาหิน	4-32
4.2.2 การเก็บรักษาและการผึ่งเมล็ดมะเยาหิน	4-34
4.2.3 การกะเทาะเมล็ดในมะเยาหิน	4-34
ส่วนที่ 5 การศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากมะเยาหิน	4-36
5.1 การศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะเยาหินด้วยวิธีการทางกล	4-36
5.1.1 ผลการสกัดน้ำมันจากมะเยาหินด้วยเครื่องอัดแบบสกรู	4-36
5.1.2 ผลการสกัดน้ำมันจากมะเยาหินด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิค	4-37
5.2 การศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันมะเยาหินด้วยวิธีการทางเคมี	4-39
5.2.1 อิทธิพลเวลาที่ใช้ในการสกัดน้ำมันต่อปริมาณน้ำมันจากมะเยาหิน	4-39

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
5.2.2 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำหนักมะเยาหินต่อปริมาณตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมัน	4-40
ส่วนที่ 6 การศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน	4-43
6.1 การศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยเทคนิคไมโครเวฟและอัลตราโซนิค	4-43
6.1.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของน้ำหนักน้ำมันต่อเมทานอลที่เหมาะสม	4-43
6.1.2 ผลการศึกษาร้อยละน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม	4-44
6.1.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการอัลตราโซนิคร่วมกับไมโครเวฟ	4-45
6.2 ผลการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	4-49
ส่วนที่ 7 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ และการเกิดพิษจากมะเยาหิน	4-50
7.1 คุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของน้ำมันมะเยาหิน	4-50
7.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันมะเยาหิน	4-50
7.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันมะเยาหิน	4-51
7.2 คุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซล	4-52
7.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล	4-52
7.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพน้ำมันไบโอดีเซล	4-50
7.3 องค์ประกอบทางเคมีด้านชีวมวลของต้นมะเยาหิน	4-54
7.4 องค์ประกอบด้านสารพิษจากมะเยาหิน	4-55
7.4.1 การศึกษาปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์และพิษวิทยาของมะเยาหิน	4-55
ส่วนที่ 8 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน	4-57
8.1 สมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน	4-57
8.1.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ	4-57

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

หน้า

8.1.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซล 4-59
8.2 ปริมาณแก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล 4-60
8.2.1 ค่ามลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล 4-61
8.3 การทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ดีเซล 4-62
ส่วนที่ 9 การศึกษาศักยภาพด้านชีวมวล การลดความร้อนสภาวะอากาศ และคาร์บอนเครดิต 4-63
9.1 ศักยภาพด้านชีวมวลจากการตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน 4-63
9.1.1 ปริมาณชีวมวลจากการตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน
9.2 การประเมินศักยภาพการลดความร้อนสภาวะอากาศต้นมะเยาหิน 4-65
9.2.1 การลดภาระความร้อนจากร่มเงาต้นมะเยาหิน 4-65
9.2.2 ศักยภาพการทำความเย็นจากต้นไม้จากการใช้น้ำของพืช 4-71
9.3 การประเมินคาร์บอนเครดิตของการปลูกมะเยาหิน 4-74

บทที่ 5 การประเมินผลตอบแทนและเผยแพร่

5.1 การวิเคราะห์ทางด้านผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์การปลูกมะเยาหิน 5-1
5.2 การประเมินต้นแบบกระบวนการผลิตในระดับชุมชน 5-3
5.3 การประชุมเผยแพร่ผลงานวิจัยสู่ชุมชน 5-7

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา 6-1
6.2 ข้อเสนอแนะงานวิจัย 6-8

บรรณานุกรม บ-1
ภาคผนวก ก มาตรฐานของน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลของประเทศไทย ผก-1

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติน้ำมันพืชพลังงานชนิดใหม่	1-2
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบผลผลิตและคุณสมบัติของพืชน้ำมันชนิดใหม่ ปาล์มน้ำมัน และสบู่ดำ	2-1
ตารางที่ 2.2 เกณฑ์เบื้องต้นของคุณลักษณะและคุณภาพไบโอดีเซล	2-9
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดคุณลักษณะไดนาโม ยี่ห้อ DAICHI	3-7
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากประเทศลาว	4-12
ตารางที่ 4.2 การประเมินผลผลิตมะเยาหินที่ช่วงอายุต่าง ๆ	4-13
ตารางที่ 4.3 การประเมินศักยภาพจากพื้นที่เพาะปลูกในแขวงหัวพัน	4-14
ตารางที่ 4.4 การซื้อขายเมล็ดมะเยาหินในประเทศลาว	4-15
ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินสวนในจังหวัดเชียงใหม่	4-24
ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการสำรวจผลผลิตมะเยาหิน แปลงบ้านแม่นาป๊าก จังหวัดเชียงใหม่	4-31
ตารางที่ 4.7 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะเยาหินด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรู	4-37
ตารางที่ 4.8 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะเยาหินด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบไฮดรอลิค	4-38
ตารางที่ 4.9 ผลผลิตของน้ำมันมะเยาหินที่สกัดในเวลาต่าง ๆ	4-40
ตารางที่ 4.10 ผลผลิตที่ได้ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ อุณหภูมิในการอบ 105 $^{\circ}$C เวลา 6 ชั่วโมง	4-41
ตารางที่ 4.11 อัตราส่วนโดยโมลของน้ำหนักน้ำมันต่อเมทานอลที่เหมาะสม	4-44
ตารางที่ 4.12 ร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม	4-45
ตารางที่ 4.13 ระยะเวลาการใช้อัลตราโซนิค (Ultrasonic) ทำการปฏิกิริยาที่เหมาะสม	4-48
ตารางที่ 4.14 ระยะเวลาการใช้ไมโครเวฟ (Microwave) ทำการปฏิกิริยาที่เหมาะสม	4-48
ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากมะเยาหิน	4-48
ตารางที่ 4.16 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันมะเยาหินและน้ำมันจากสบู่ดำ	4-50
ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันมะเยาหิน	4-51
ตารางที่ 4.18 องค์ประกอบของกรดไขมันที่มีอยู่ในไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน	4-52
ตารางที่ 4.19 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน	4-53
ตารางที่ 4.20 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและกิ่งไม้จากต้นมะเยาหิน	4-54
ตารางที่ 4.21 ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ประกอบอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของมะเยาหิน	4-55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.22 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก	4-60
ตารางที่ 4.22 การทดสอบมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลจากเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	4-61
ตารางที่ 4.23 ปริมาณโลหะในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส	4-62
ตารางที่ 4.24 ค่าความชื้นของชีวมวลจากการตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน	4-65
ตารางที่ 4.25 การประเมินศักยภาพชีวมวลจากการตัดแต่งกิ่ง และเปลือกผลมะเยาหิน	4-65
ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์อัตราการลดภาระทางความร้อนเนื่องจากร่มเงาต้นมะเยาหิน	4-67
ตารางที่ 4.27 อัตราการใช้น้ำของต้นมะเยาหินอายุ 1 ปี จากแปลงสวนแม่นาป๋าก อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่	4-72
ตารางที่ 4.28 อัตราการใช้น้ำของต้นมะเยาหินอายุ 3-4 ปี จากแปลงสวนแม่นาป๋าก อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่	4-73
ตารางที่ 4.29 ศักยภาพการลดความร้อนอากาศแวดล้อมของต้นมะเยาหิน อายุ 3-4 ปี	4-74
ตารางที่ 4.30 สมการแอลโลเมตรีของมวลชีวมวลชีวภาพจากส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้สัก	4-75
ตารางที่ 4.31 ผลการประเมินคาร์บอนเครดิตจากการปลูกมะเยาหิน อายุ 3-4 ปี	4-76
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบต้นทุนการปลูกมะเยาหิน	5-2
ตารางที่ 5.2 ผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทนจากมะเยาหิน	5-3
ตารางที่ 5.3 ผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทนจากปาล์มน้ำมัน	5-4
ตารางที่ 5.4 ผลผลิต ต้นทุน และผลตอบแทนจากสบู่ดำ	5-5
ตารางที่ 5.5 ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลอย่างง่าย	5-6
ตารางที่ 5.6 ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลจากกระบวนการร่วมอัลตราโซนิคและไมโครเวฟ	5-7
ตารางที่ 5.7 สรุปผลการวิเคราะห์ต้นแบบระบบการผลิตไบโอดีเซลชุมชนขนาด 1,000 ลิตร/ชั่วโมง	5-11

สารบัญภาพ

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 1.1 การสำรวจพืชน้ำมันชนิดใหม่ (มะเยาหิน) ในประเทศลาว 1-2
รูปที่ 1.2 มะเยาหินที่นำมาปลูกในประเทศไทย อายุประมาณ 2.5 ปี เริ่มให้ผลผลิต 1-3
รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบพืชพลังงาน 3 ชนิด ปาล์มน้ำมัน สบู่ดำ และมะเยาหิน 2-1
รูปที่ 2.2 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน 2-3
รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันที่มีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 2-4
รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน 2-5
รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 2-5
รูปที่ 2.6 ปรากฏการณ์คาวิเตชันของคลื่นอัลตราโซนิค 2-6
รูปที่ 2.7 ผลของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีต่อพฤติกรรมของขั้วไฟฟ้า 2-7
รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบกระบวนการผลิตร่วมอัลตราโซนิคร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ 2-8
รูปที่ 2.9 การใช้น้ำของพืช 2-17
รูปที่ 2.10 เปรียบเทียบผลผลิตต่อพื้นที่การเพาะปลูกในประเทศปารากวัย 2-20
รูปที่ 3.1พืชน้ำมันชนิดใหม่ (มะเยาหิน)ที่มีการตัดแต่งกิ่งปลูกที่จังหวัดเชียงใหม่ 3-1
รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 3-2
รูปที่ 3.3 เครื่องหีบสกัดน้ำมันทางกล 3-3
รูปที่ 3.4 ชุดสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย แบบ Soxhlet 3-3
รูปที่ 3.5 เครื่องอัลตราโซนิคCT-406 ความถี่ 28 kHz กำลังตราโซนิคสูงสุด 50W 3-4
รูปที่ 3.6 เครื่องไมโครเวฟSAMSUNG R-267ความถี่ 2,450 kHz กำลังตราโซนิคสูงสุด 800W 3-5
รูปที่ 3.7 ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก 3-6
รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซล 3-6
รูปที่ 3.9 เครื่องมือทดสอบและหัวตรวจวัดก๊าซ CO และ HC ยี่ห้อ KOEN 3-7
รูปที่ 3.10 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบควันดำ ยี่ห้อ HESHBON 3-7
รูปที่ 3.11 ปฏิกิริยารานเอสเทอริฟิเคชัน 3-9
รูปที่ 3.12 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลแบบดั้งเดิม 3-10
รูปที่ 3.13 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอน 3-11
รูปที่ 3.14 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลแบบอัลตราโซนิคร่วมไมโครเวฟ 3-12

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.1 ต้นพืชน้ำมันชนิดใหม่ (มะเยาหิน) ความสูงประมาณ 10 - 12 เมตร	4-2
รูปที่ 4.2 ลักษณะของใบมะเยาหิน	4-3
รูปที่ 4.3 ช่อดอกมะเยาหิน	4-3
รูปที่ 4.4 ผลแห้งและผลสดของมะเยาหิน	4-4
รูปที่ 4.5 เมล็ดในของผลมะเยาหิน	4-4
รูปที่ 4.6 พื้นที่เป้าหมายสำรวจต้นมะเยาหินในประเทศลาว	4-5
รูปที่ 4.7 ลักษณะการปลูกต้นมะเยาหินในประเทศลาว	4-7
รูปที่ 4.8 อายุของต้นมะเยาหินในประเทศลาว	4-8
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบต้นตะกูกับต้นมะเยาหินที่มีรูปทรงสมบูรณ์ที่สุด	4-9
รูปที่ 4.10 แปลงปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ ระยะ 4 x 4 เมตร	4-9
รูปที่ 4.11 อ่างเก็บกักน้ำในพื้นที่สวนปลูกมะเยาหิน	4-10
รูปที่ 4.12 การเก็บตัวอย่างดินใต้ทรงพุ่มสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติดิน	4-10
รูปที่ 4.13 จุดรับซื้อของพ่อค้าคนกลางที่เมืองเวียงไชย แขวงหัวพัน ประเทศลาว	4-16
รูปที่ 4.14 พันธุ์มะเยาหินที่แปลงปลูกในจังหวัดเชียงใหม่	4-17
รูปที่ 4.15 การสำรวจมะเยาหินแปลงเพาะปลูกอำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่	4-19
รูปที่ 4.16 แปลงเพาะปลูกของเกษตรกรในอำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่	4-20
รูปที่ 4.17 แปลงเพาะปลูกของเกษตรกรในอำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูน	4-21
รูปที่ 4.18 แปลงปลูกมะเยาหินแนวร่องน้ำ ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	4-21
รูปที่ 4.19 การปลูกแบบสี่เหลี่ยมสลับฟันปลาแบบสบู่ดำ	4-22
รูปที่ 4.20 การตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน	4-26
รูปที่ 4.21 ส่วนที่เหลือจากต้นมะเยาหิน กองไว้ที่ลำต้นสำหรับเป็นปุ๋ยต่อไป	4-26
รูปที่ 4.22 ตัวอ่อนของมวนปีกแข็ง / มวนสบู่ดำ	4-27
รูปที่ 4.23 ตัวเต็มวัยของมวนปีกแข็ง / มวนสบู่ดำ	4-27
รูปที่ 4.24 เพลี้ยไฟ (Thrips) – ผลของมะเยาหินหลังถูกเพลี้ยไฟเข้าทำลายตอนเป็นผลอ่อน	4-27
รูปที่ 4.25 หนอนเจาะผล – ผลของมะเยาหินถูกหนอนเจาะผลเข้าทำลาย	4-27

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.26 โรคผลเน่า	4-28
รูปที่ 4.27 หนอน – กัดกินใบ	4-28
รูปที่ 4.28 หนอนม้วนใบ	4-28
รูปที่ 4.29 รังที่ผีเสื้อทิ้งไว้หลังพัฒนาจากตัวดักดำ	4-28
รูปที่ 4.30 ก ต้นมะเยาหินที่กำลังสลัดใบแก่ทิ้ง และใบอ่อนจะอยู่เหนือใบแก่	4-29
รูปที่ 4.30 ข ต้นมะเยาหินที่กำลังสลัดใบแก่ทิ้ง และใบอ่อนจะอยู่เหนือใบแก่	4-29
รูปที่ 4.30 ค ต้นมะเยาหินที่กำลังสลัดใบแก่ทิ้ง และใบอ่อนจะอยู่เหนือใบแก่	4-29
รูปที่ 4.31 ก ใบกรอบ / ใบแห้ง	4-30
รูปที่ 4.31 ข ใบกรอบ / ใบแห้ง	4-30
รูปที่ 4.32 แปลงทดสอบในประเทศไทย สวนแม่นาป๊าก จ.เชียงใหม่	4-31
รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบขนาดผลมะเยาหินของประเทศลาวกับแปลงปลูกจังหวัดเชียงใหม่	4-31
รูปที่ 4.32 การเก็บผลผลิตจากต้นมะเยาหินในประเทศลาว	4-33
รูปที่ 4.33 การเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาผลมะเยาหิน	4-34
รูปที่ 4.34 ขอเหล็กสำหรับกะเทาะเอาเมล็ดในมะเยาหิน	4-34
รูปที่ 4.35 การแกะเอาเมล็ดในมะเยาหินเพื่อทำเมล็ดพันธุ์ / ขาย	4-35
รูปที่ 4.36 ลักษณะการผึ่งเมล็ดมะเยาหิน	4-35
รูปที่ 4.37 ผลของการเพิ่มอุณหภูมิบ่มเมล็ดที่ระยะเวลาต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันที่สกัดได้	4-38
รูปที่ 4.38 น้ำมันที่สกัดได้ที่ช่วงอุณหภูมิอบแห้งเมล็ดมะเยาหิน	4-39
รูปที่ 4.39 ระยะเวลาการสกัดน้ำมันกับปริมาณผลผลิตน้ำมันที่ได้	4-40
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวอย่างต่อตัวทำละลายกับปริมาณผลผลิตน้ำมันที่ได้	4-41
รูปที่ 4.41 กราฟ RSM ของอุณหภูมิในการอบและเวลาในการสกัดที่มีต่อปริมาณน้ำมัน	4-41
รูปที่ 4.42 กราฟ RSM ของอุณหภูมิในการอบและเวลาในการสกัดที่มีต่อค่าความเป็นกรด	4-42
รูปที่ 4.43 อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันมะเยาหินต่อเมทานอล	4-44
รูปที่ 4.44 อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมคลอไรด์	4-45
รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ของเวลาทำปฏิกิริยาคลื่นอัลตราโซนิคต่อปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล	4-46

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ของเวลาทำปฏิกิริยาคลื่นไมโครเวฟต่อปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล	4-47
รูปที่ 4.47 การเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากมะเยาหินของแต่ละกระบวนการผลิต	4-49
รูปที่ 4.48 FT-IR spectra ของน้ำมันมะเยาหินที่สกัดได้เปรียบเทียบกับน้ำมันมะเยาหินที่นำเข้าจากประเทศจีน	4-51
รูปที่ 4.49 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหินจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS	4-52
รูปที่ 4.50 โครมาโตแกรมของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์	4-57
รูปที่ 4.51 อัตราความสิ้นเปลื้องเชื้อเพลิงจำเพาะ	4-58
รูปที่ 4.52 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์	4-59
รูปที่ 4.53 ปริมาณควันดำจากการตรวจวัดเครื่องยนต์ดีเซลทดสอบ	4-61
รูปที่ 4.54 ชีวมวลที่ได้จากต้นมะเยาหิน และค่าความชื้นหลังจากตัดแต่งกิ่ง	4-64
รูปที่ 4.55 การใช้ชีวมวลจากต้นมะเยาหินเป็นเชื้อเพลิงในเตาชีวมวล	4-64
รูปที่ 4.56 การเก็บข้อมูลร่มเงาและกลางแจ้งของต้นมะเยาหิน	4-66
รูปที่ 4.57 ความเข้มรังสีอาทิตย์ของต้นมะเยาหิน	4-67
รูปที่ 4.58 อุณหภูมิอากาศในร่มเงาและกลางแจ้ง	4-68
รูปที่ 4.59 ความเข้มรังสีอาทิตย์สัมพัทธ์ของต้นมะเยาหิน	4-68
รูปที่ 4.60 อุณหภูมิสัมพัทธ์ของต้นมะเยาหิน	4-69
รูปที่ 4.61 อัตราการลดภาระทางความร้อนเนื่องจากร่มเงาต้นมะเยาหิน	4-69
รูปที่ 4.62 ร่มเงาต้นมะเยาหินที่เวลาต่าง ๆ (พื้นที่กริด 8 x 8 m.)	4-70
รูปที่ 5.1 ผลกระทบจากราคาน้ำมันมันมะเยาหินต่อต้นทุนการผลิตไบโอดีเซล กำหนดราคาเมทานอล 50 บาท/ลิตร	5-8
รูปที่ 5.2 เวทีวิชาการด้านพืชพลังงานที่เหมาะสมสำหรับภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย	5-14