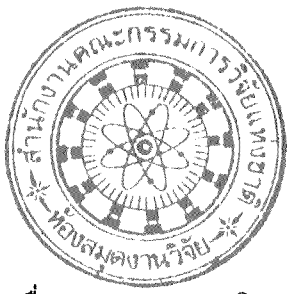
บทที่ 4
ผลการวิจัย



การศึกษาศักยภาพในการปลูกมะเยาหิน (Tung Oil tree) เพื่อควบคุมอุณหภูมิแวดล้อมแบบครบวงจรและการผลิตไบโอดีเซลด้วยเทคนิคไมโครเวฟ/อัลตราโซนิค โดยทำการศึกษาทั้งกระบวนการเพาะปลูก สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการเพาะปลูกต้นมะเยาหินในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ การเก็บเกี่ยวผลผลิต การจัดการด้านชีวมวลจากการตัดแต่งกิ่งของต้นมะเยาหิน องค์ประกอบทางเคมี สารพิษจากมะเยาหิน และประเมินศักยภาพด้านผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล ศักยภาพในการลดอุณหภูมิสภาวะแวดล้อม การศึกษาด้านการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม (Conventional Process) กระบวนการผลิตแบบสองขั้นตอน (Two-stage acid and base catalyst Process) เปรียบเทียบกับเป้าหมายของโครงการวิจัยนี้ที่ทำการศึกษาถึงกระบวนการแบบใช้เทคนิคอัลตราโซนิค (Ultrasonic Technology) และเทคนิคคลื่นรังสีไมโครเวฟ (Microwave irradiation technology) ร่วมกัน ซึ่งภายหลังจากได้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินแล้ว ก็จะทำการศึกษาองค์ประกอบทางฟิสิกส์- เคมี และนำมาทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลเพื่อศึกษาสมรรถนะประสิทธิภาพเครื่องยนต์ และผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งในการศึกษาโครงการวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 9 ส่วน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะเยาหิน
ส่วนที่ 2 ศักยภาพการให้ผลผลิต และการสำรวจสายพันธุ์มะเยาหินในประเทศลาว
ส่วนที่ 3 ศักยภาพการให้ผลผลิต และการตอบสนองสภาพแวดล้อมของมะเยาหิน จังหวัดเชียงใหม่
ส่วนที่ 4 การเก็บเกี่ยวผลผลิต และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว
ส่วนที่ 5 การศึกษาแนวทางการพัฒนาน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน
ส่วนที่ 6 การศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน
ส่วนที่ 7 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ และการเกิดพิษจากมะเยาหิน
ส่วนที่ 8 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน
ส่วนที่ 9 การศึกษาศักยภาพด้านชีวมวล การลดความร้อนสภาวะอากาศ และคาร์บอนเครดิต

ซึ่งผลการศึกษาโครงการวิจัย ศักยภาพในการปลูกมะเยาหินเพื่อควบคุมอุณหภูมิแวดล้อมแบบครบวงจรและการผลิตไบโอดีเซลด้วยเทคนิคไมโครเวฟ / อัลตราโซนิค ในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของมะเยาหิน

มะเยาหิน หรือสบู่ดำหิน เป็นไม้ยืนต้น มีชื่อภาษาอังกฤษว่า *Tung Oil* Tree จัดอยู่ในสกุล (Genus) Vernicia มีชื่อวิทยาศาสตร์ Vernicia fordii (*Aleurtes fordii* Hemmley) มีต้นกำเนิดจากประเทศจีน จึงมีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า China wood oil หรือ Kalo Nut tree ในประเทศไทยเคยมีรายงานการพบแหล่งที่ปลูกพืชชนิดนี้อยู่บริเวณภาคเหนือที่จังหวัดลำปาง น่าน และเชียงใหม่ ที่บริเวณ ดอยเชียงดาว ดอยสุเทพ แต่ปัจจุบันยังไม่มีการรายงานการพบพืชชนิดนี้ จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่าพืชชนิดนี้มีปลูกกันพอสมควรในประเทศลาว มีผลผลิตปีละ 200-300 ตัน โดยส่งออกไปจำหน่ายที่ประเทศเวียดนาม จากการสุ่มสำรวจเบื้องต้นของมะเยาหิน พืชน้ำมันชนิดใหม่ที่ปลูกในประเทศลาว พบว่าพืชชนิดนี้ ที่อายุ 5 ปี ติดผลปานกลาง ให้ผลผลิต ประมาณ 3,026 ลูกต่อต้น คิดเป็นน้ำหนักเมล็ดประมาณ 22 กิโลกรัม ถ้าประเมินที่ระยะปลูก 4x4 เมตร จะให้ผลผลิตประมาณ 1,200-1,500 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าผลผลิตสบู่ดำที่ปลูกในประเทศไทย 3-4 เท่า

รูปที่ 4.1 ต้นพืชน้ำมันชนิดใหม่ (มะเยาหิน) ความสูงประมาณ 10 - 12 เมตร

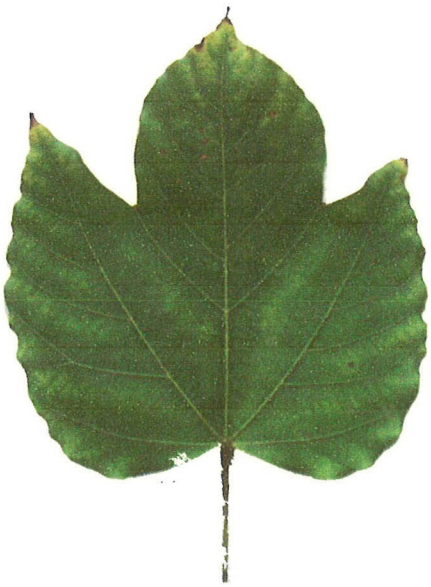
1.1 ลักษณะของต้นมะเยาหิน

1.1.1 ใบ

ลักษณะของใบต้นมะเยาหิน เมื่อเริ่มอายุประมาณ 3-6 เดือน ใบจะมีขนาดใหญ่ มีจำนวน 4-5 แฉก มีสีเขียวอ่อน เมื่อต้นอายุมากขึ้น ใบจะมีขนาดเล็กลง และมีสีเข้มขึ้น

1.1.2 ดอก

ลักษณะของดอกมะเยาหินออกดอกเป็นช่อ มีขนาดช่อดอกใหญ่ เมื่อดอกบานจะมีสีขาวอมชมพู และจะออกดอกในเดือนสิงหาคม-กันยายน ของทุกปี



รูปที่ 4.2 ลักษณะของใบมะเยาหิน

รูปที่ 4.3 ช่อดอกมะเยาหิน

1.1.3 ลำต้น

ลักษณะของลำต้นมะเยาหินเป็นไม้ยืนต้น มีลักษณะคล้ายต้นหูกวาง คือ แตกเป็นชั้นๆ แต่ละชั้น แบ่งเป็น 5 กิ่งโดยประมาณ มีหลายชั้น ขึ้นอยู่กับอายุของต้น

1.1.4 ผลมะเยาหิน

ลักษณะของผลมะเยาหิน มีลักษณะเกลี้ยงกลมคล้ายลูกมะนาว เมื่อเริ่มแก่ผลจะมีลายเส้นนูนปรากฏขึ้น และแยกเป็นพู 3 พู แต่ละพู มีเมล็ด 1 เมล็ด บางลูกจะมีถึง 4 พู ซึ่งผลมะเยาหิน 1 ผล มีส่วนที่เป็นเปลือก 14-20% เมล็ด 53-60%

1.1.5 เมล็ดใน

ลักษณะของเมล็ดใน (Seed) ของมะเยาหิน มีลักษณะกลมแบนเล็กน้อย ผิวขรุขระ มีเปลือกแข็งหุ้มเมล็ด เนื้อในมีสีขาวอมเหลือง เนื้อมีลักษณะอัดแน่น

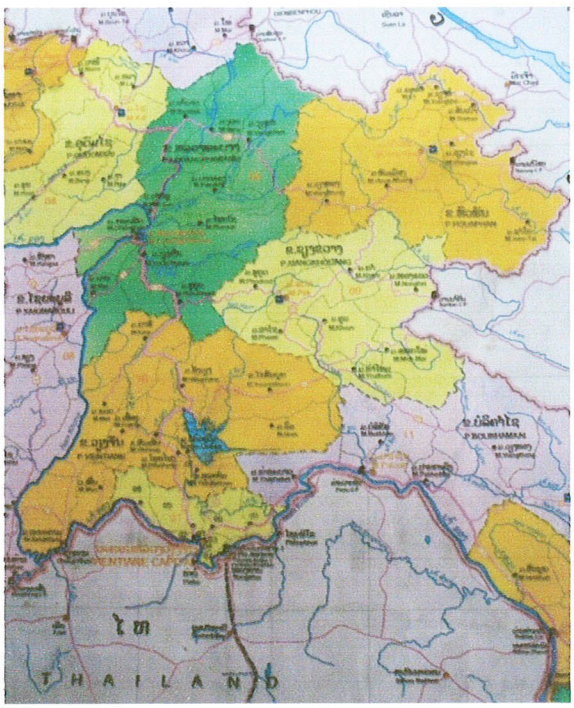
รูปที่ 4.4 ผลแห้งและผลสดของมะเยาหิน

รูปที่ 4.5 เมล็ดในของผลมะเยาหิน

ส่วนที่ 2 ศักยภาพการให้ผลผลิต และการสำรวจสายพันธุ์มะเยาหิน ในประเทศลาว

2.1 สายพันธุ์ และการปลูกต้นมะเยาหินในประเทศลาว

การสำรวจและรวบรวมพันธุ์มะเยาหินที่นำมาปลูกในประเทศไทย ที่จังหวัดเชียงใหม่ ได้นำเมล็ดพันธุ์จากประเทศลาว ทั้งนี้ทางคณะวิจัยจึงได้เข้าพื้นที่สำรวจในประเทศลาว โดยมีเป้าหมายที่เมืองซำเหนือ เมืองเวียงไชย แขวงหัวพัน ซึ่งเป็นแหล่งพื้นที่ที่มีการปลูกต้นมะเยาหิน เป็นจำนวนมาก โดยได้เข้าสำรวจ และสอบถามข้อมูลด้าน การเก็บเกี่ยว การจัดการผลผลิต และการซื้อขายในประเทศลาว



พื้นที่เป้าหมายสำรวจมะเยาหิน
แขวงหัวพัน ประเทศลาว พื้นที่รวม 17,186 ตร.กม.

รูปที่ 4.6 พื้นที่เป้าหมายสำรวจต้นมะเยาหินในประเทศลาว

2.2 ลักษณะทั่วไปของพันธุ์มะเยาหินในประเทศลาว

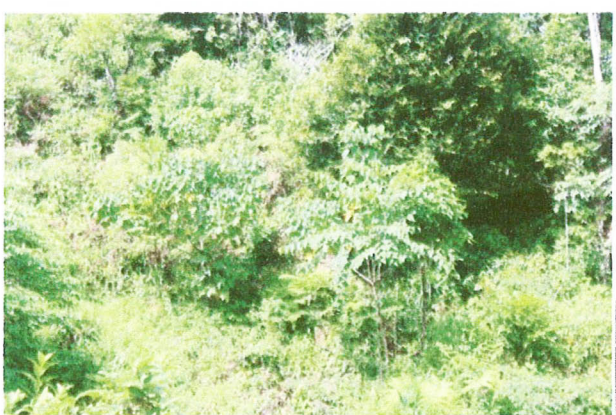
พันธุ์มะเยาหินที่ปลูกในประเทศลาวส่วนใหญ่เป็นสายพันธุ์ Vernicia ***montana*** Lour. โดยจะมีการปลูกตั้งแต่เมืองแปก แขวงเชียงขวาง ถึงเมืองซำเหนือ เมืองเวียงไชย แขวงหัวพัน โดยแขวงหัวพัน มีทั้งหมด 8 เมือง มีพื้นที่ประมาณ 17,186 ตารางกิโลเมตร

2.2.1 พื้นที่เพาะปลูกมะเยาหิน

ต้นมะเยาหิน ที่ปลูกในประเทศลาว ในแขวงหัวพัน โดยทั่วไปแล้วจะมีลักษณะการเพาะปลูกอยู่ประมาณ 4 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งในการปลูกจะไม่มีการดูแลรักษาต้น (ปุ๋ย /

สารเคมี) โดยจะปล่อยให้ออกตามธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ พอให้ผลผลิตก็จะไปเก็บผลผลิตเพื่อนำไปขายให้กับพ่อค้าคนกลาง หรือเจ้าหน้าที่ของรัฐในประเทศ (กระทรวงกสิกรรมและป่าไม้ สปป.ลาว) เพื่อส่งเสริมให้เพาะปลูกในเมืองต่าง ๆ ทั้งนี้สามารถสรุปลักษณะการเพาะปลูกต้นมะเยาหินในประเทศลาว ได้ดังต่อไปนี้

- **ปลูกตามธรรมชาติทั่วไป**
  มะเยาหินในประเทศลาว ส่วนใหญ่มีการออกตามธรรมชาติทั่วไป เช่นตามภูเขา ที่ลาดชันเชิงเขา ริมถนน ตามแนวรั้วสวน และตามป่า ซึ่งต้นมะเยาหินที่ออกตามธรรมชาตินี้ จะไม่มีการดูแลรักษา ซึ่งชาวลาวจะนิยมไปเก็บเมล็ดมาขาย หรือนำต้นกล้าที่อยู่ตามป่ามาเพาะปลูกตามสวน
- **ปลูกตามแนวรั้ว**
  การปลูกมะเยาหินตามแนวรั้วบ้าน สวน นั้น จะปลูกเพื่อแบ่งแนวพื้นที่ขอบเขตของพื้นที่ และอีกอย่างหนึ่งป้องกันสัตว์เข้าไปอาศัยอยู่ในพื้นที่ ซึ่งการปลูกแนวรั้วของมะเยาหิน จะมีคล้ายกับการปลูกสบู่ดำตามแนวรั้วของพื้นที่สวน
- **ปลูกให้ร่มเงาในบ้าน**
  การปลูกต้นมะเยาหินอีกแบบหนึ่งในประเทศลาว จะปลูกเพื่อให้ร่มเงาในบ้าน เนื่องจากต้นมะเยาหิน จะมีทรงพุ่มที่ให้ร่มเงาได้เป็นอย่างดี
- **ปลูกบนพื้นที่ไร่ / พื้นที่สวน**
  การปลูกต้นมะเยาหินในพื้นที่ไร่ / พื้นที่สวน ในประเทศลาว จะมีการนำกล้าพันธุ์ที่ออกตามธรรมชาติ บนดอย มาปลูกในพื้นที่สวน พื้นที่ไร่ เพื่อสำหรับการเก็บผลผลิตไปขายให้กับพ่อค้าคนกลาง หรือเจ้าหน้าที่ของรัฐ ซึ่งในการปลูกบนพื้นที่สวน พื้นที่ไร่ จะมีการให้ปุ๋ยกับต้นมะเยาหิน และมีการบำรุงรักษา การตัดแต่งกิ่ง เป็นต้น

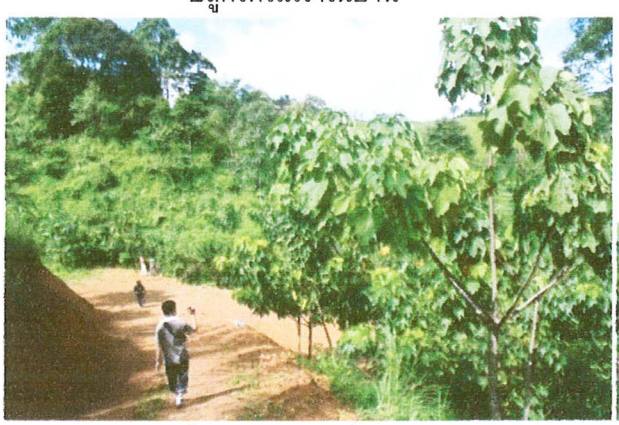


ปลูก / ออกตามธรรมชาติทั่วไป

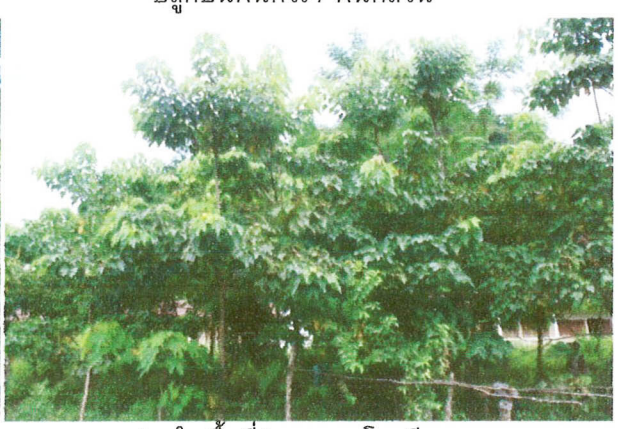
ปลูกตามแนวรั้วบ้าน / สวน

ปลูกให้ร่มเงาในบ้าน

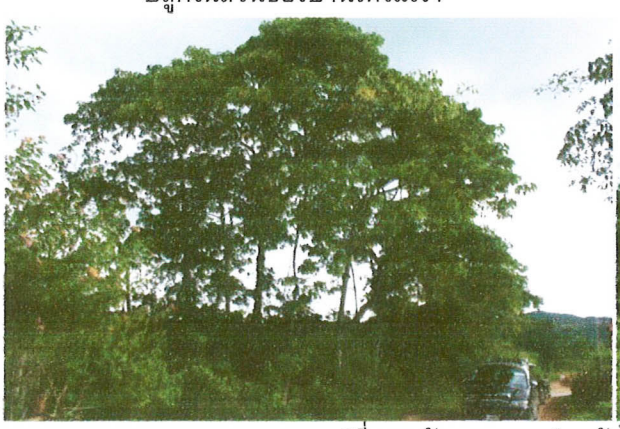
ปลูกบนพื้นที่ไร่ / พื้นที่สวน

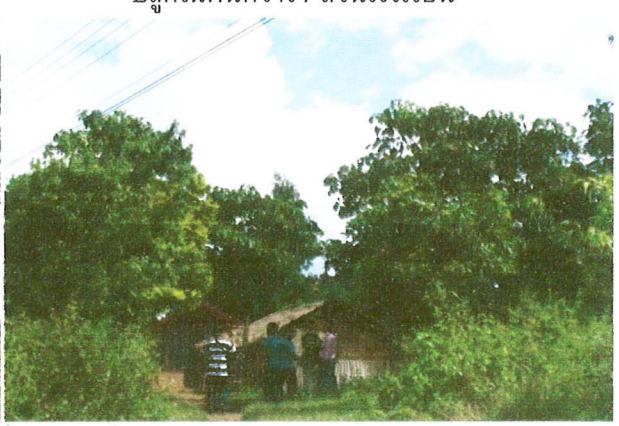


ปลูกในสวนของบ้านให้ร่มเงา



ปลูกในพื้นที่ว่าง / สวนโรงเรียน





รูปที่ 4.7 ลักษณะการปลูกต้นมะเยาหินในประเทศลาว

2.2.2 อายุและระยะการปลูกต้นมะเยาหิน

ต้นมะเยาหินที่ปลูกในประเทศลาว แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีอายุ 1-5 ปี สำหรับแปลงปลูกใหม่ ที่ปัจจุบันเริ่มมีการส่งเสริมให้เพาะปลูก โดยกระทรวงกสิกรรมและป่าไม้ สปป.ลาว โดยมีทรงพุ่มของต้นไม้ประมาณ 2 – 6 เมตร สูง 5-6 เมตร และกลุ่มที่อายุ 5-20 ปี จะเป็นกลุ่มต้นมะเยาหินที่เกิดตามธรรมชาติบนลาดเชิงเขา บางส่วนก็ปลูกไว้ในบ้านเพื่อให้ร่มเงา โดยมีทรงพุ่มของต้นไม้ประมาณ 8 – 12 เมตร สูง 8-10 เมตร ทั้งนี้จากการวัดต้นมะเยาหินอายุ 20 ปี พบว่ามีทรงพุ่ม 12 เมตร สูง 8 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ส่วนระยะของการปลูกของต้นมะเยาหินในพื้นที่สวนจากการ

สอบถามของเจ้าหน้าที่จากกระทรวงกสิกรรมและป่าไม้ สปป.ลาว ได้ให้ข้อมูลว่าระยะการปลูกที่กระทรวงได้ส่งเสริมให้ประชาชนปลูกนั้นจะปลูกระยะ 7 x 7 เมตร ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมและส่งเสริมในประเทศลาว เนื่องจากว่าต้นมะเยาหินจะมีทรงพุ่มห่างกัน ทำให้สามารถรับแสงแดด และเกิดการสังเคราะห์แสงของพืชได้ดีกว่าระยะ 4 x 4 เมตร ที่มีการปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ ดังรูปที่ 4.10

อายุ 5 เดือน

อายุ 2-3 ปี

อายุ 15 ปี

อายุ 20 ปี

รูปที่ 4.8 อายุของต้นมะเยาหินในประเทศลาว

ต้นตะกู / ต้นมะเยาหิน ต้นมะเยาหินรูปทรงที่สมบูรณ์ที่สุด

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบต้นตะกูกับต้นมะเยาหินที่มีรูปทรงสมบูรณ์ที่สุด

รูปที่ 4.10 แปลงปลูกในจังหวัดเชียงใหม่ ระยะ 4 x 4 เมตร

2.3 สภาพแวดล้อมของมะเยาหินและธาตุอาหารในดินเพาะปลูกประเทศลาว

2.3.1 สภาพภูมิอากาศ ดินและน้ำ

สภาพภูมิอากาศในประเทศลาว (แขวงหัวพัน) อุณหภูมิอากาศในช่วงที่เข้าพื้นที่สำรวจพบว่ามีอุณหภูมิในช่วง 20 – 30 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศค่อนข้างสูงเฉลี่ย 53-89 %RH ในส่วนของแหล่งน้ำสำหรับต้นมะเยาหินจะอาศัยน้ำในช่วงฤดูฝน ไม่มีระบบการให้น้ำแก่ต้นมะเยาหิน อย่างไรก็ตามในบางพื้นที่ที่มีการปลูกเป็นแปลงในสวนนั้น จะมีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก และทำการปลูกต้นมะเยาหินโดยรอบอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้ก็จะอาศัยน้ำจากอ่างเก็บน้ำบางส่วนแก่ต้นมะเยาหิน ดังแสดงในรูปที่ 4.11

รูปที่ 4.11 อ่างเก็บกักน้ำในพื้นที่สวนปลูกมะเยาหิน

ขณะเดียวกันจากการสำรวจ ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บตัวอย่างดิน เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ฟิสิกส์และสมบัติอื่นๆ ของดิน เพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลพื้นฐานประกอบการพิจารณาถึงการจัดการดิน ซึ่งการเก็บตัวอย่างดินจะทำการเก็บตัวอย่างบริเวณโดยรอบต้นมะเยาหินหลาย ๆ จุด เก็บที่ความลึก 15-30 เซนติเมตร และนำดินมาผสมกัน และนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติ

รูปที่ 4.12 การเก็บตัวอย่างดินใต้ทรงพุ่มสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติดิน

2.3.2 ปริมาณธาตุอาหารในดินเพาะปลูกต้นมะเยาหินในประเทศลาว

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในแปลงเพาะปลูกมะเยาหินในประเทศลาวทั้งหมดจำนวน 5 ตัวอย่าง และนำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าดินในแปลงเพาะปลูกมะเยาหินในประเทศลาว

มีค่าระดับความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 4.95 อยู่ในระดับความเป็นกรดจัดมาก (pH 4.5-5.0) และต้องทำการปรับสภาพดินในเป็นกลางโดยใช้ปูนขาว

ส่วนค่าปริมาณสารอินทรีย์วัตถุ (%OM) พบว่ามีค่าเฉลี่ยร้อยละ 3.86 อยู่ในระดับสูง จากรายงานการศึกษาของ ชำนาญ ฉัตรแก้ว และคณะ (2549) ได้กล่าวว่าปริมาณอินทรียวัตถุจะมีส่วนช่วยในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชปลูก โดยจะเป็นแหล่งของธาตุอาหาร 3 ชนิด คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน นอกจากนั้นยังช่วยทำให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่ในดินเพิ่มขึ้น

ส่วนปริมาณไนโตรเจน พบว่ามีปริมาณสูงมากถึงร้อยละ 0.19 ซึ่งจะเป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโน โปรตีน คลอโรฟิลด์ กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ในพืช ส่งเสริมการเจริญเติบโตของยอดอ่อนใบและกิ่งก้าน

ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available-P) พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.0 ppm ซึ่งมีปริมาณต่ำ ซึ่งฟอสฟอรัสนี้จะช่วยทำให้ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช เป็นองค์ประกอบของสารที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดพลังงานในกระบวนการต่าง ๆ เช่น การสังเคราะห์แสงและการหายใจ

ปริมาณโพแทสเซียม (K) พบว่ามีปริมาณสูงมากโดยเฉลี่ยเท่ากับ 282 ppm ซึ่งทำให้ช่วยในการสังเคราะห์น้ำตาล แป้ง และโปรตีนส่งเสริมการเคลื่อนย้ายของน้ำตาลจากใบไปยังผล ช่วยให้ผลเจริญเติบโตเร็ว พืชแข็งแรงมีความต้านทานต่อโรคบางชนิด

ปริมาณแคลเซียม (Ca) พบว่ามีปริมาณต่ำโดยเฉลี่ย 811 ppm ซึ่งแคลเซียมในดินนี้จะเป็นสารที่เชื่อมผนังเซลล์ให้ติดกัน ช่วยในการแบ่งเซลล์ การผสมเกสร การงอกของเมล็ด และช่วยให้เอนไซม์บางชนิดทำงานได้ดี

ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) พบว่ามีปริมาณปานกลางโดยเฉลี่ย 124 ppm ซึ่งแมกนีเซียมนี้จะเป็นองค์ประกอบคลอโรฟิลด์สังเคราะห์กรดอะมิโน วิตามิน ไขมัน และน้ำตาล ทำให้สภาพกรดด่างในเซลล์พอเหมาะ ช่วยในการงอกของเมล็ด

จากข้อมูลการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่แปลปลูกมะเยาหินในประเทศลาว พบว่าปริมาณธาตุอาหารที่มีมากในดินประกอบไปด้วยธาตุไนโตรเจน โพแทสเซียม และปริมาณสารอินทรีย์วัตถุ ส่วนปริมาณแมกนีเซียมนั้นพบว่ามีค่าปานกลาง ส่วนธาตุที่มีปริมาณต่ำ ได้แก่ แคลเซียม ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ และจากการวิเคราะห์ความเป็นกรดด่างในดิน พบว่าดินจะมีค่าความเป็นกรดจัดมาก ซึ่งผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในดินแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากประเทศลาว

Sample	pH	% OM	%N	Available-P	Extractable forms (ppm)		
				(ppm)	K	Ca	Mg
Soil. 1	5.28	3.30	0.16	1	149	1016	40
Soil. 2	5.76	4.71	0.24	3	745	1188	285
Soil. 3	4.83	4.21	0.21	1	172	796	102
Soil. 4	4.98	2.91	0.15	6	88	852	128
Soil. 5	3.91	4.16	0.21	4	258	204	65
Average.	4.95	3.86	0.19	3	282	811	124

หมายเหตุ : วิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2.4 ศักยภาพการให้ผลผลิต และการซื้อขายมะเยาหินในประเทศลาว

2.4.1 ศักยภาพการให้ผลผลิตมะเยาหิน

สำหรับการเพาะปลูกมะเยาหินในประเทศลาว จะมีมากในแขวงหัวพัน ติดกับประเทศเวียดนาม ซึ่งพื้นที่โดยรวม 17,186 ตารางกิโลเมตร (17,186,000,000 ตารางเมตร) และก็เริ่มมีการขยายตัวส่งเสริมการปลูกต้นมะเยาหินในแขวงหลวงพระบาง ซึ่งจากข้อมูลการสำรวจสายพันธุ์มะเยาหินโดยส่วนใหญ่จะปลูกพันธุ์ Vernicia ***montana*** Lour. โดยจากการสำรวจและประเมินศักยภาพด้านผลผลิต พบว่าที่ช่วงอายุต้นมะเยาหินต่ำกว่า 4 ปี จะให้ผลผลิตเมล็ดมะเยาหิน 360 – 400 ลูกต่อต้น หรือ 23-25 กิโลกรัมต่อต้น และให้ผลผลิตต่อไร่ ที่ระยะการปลูก 4x4 เมตร (100 ต้น) จะให้ผลผลิต 2,300-2,500 กิโลกรัม/ไร่ ระยะ 5x5 เมตร (64 ต้น) จะให้ผลผลิต 1,472-1,600 กิโลกรัม/ไร่ และระยะการปลูกที่กำลังได้รับการส่งเสริมในประเทศลาวคือระยะ 7x7 เมตร (32 ต้น) จะให้ผลผลิต 736-800 กิโลกรัม/ไร่ ขณะเดียวกันเมื่อทำการประเมินการเพาะปลูกในพื้นที่แขวงหัวพัน โดยประเมินที่มีต้นมะเยาหินคิดเป็นร้อยละ 2 ของพื้นที่แขวงหัวพัน (พื้นที่ที่มีต้นมะเยาหินสูงสุดในประเทศลาว) พบว่าจะให้ผลผลิตเมล็ดมะเยาหิน (รวมเปลือก) ทั้งหมด 730,405 ตัน คิดเป็นเปลือกของเมล็ดมะเยาหิน 299,466 ตัน เป็นเมล็ดใน เท่ากับ 430,939 ตัน เมื่อประเมินเป็นปริมาณน้ำมันมะเยาหินที่สกัดได้ 22.16% (ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2553) พบว่าจะได้น้ำมันมะเยาหิน 95,496 ตัน หรือ 102 ล้านลิตร เมื่อนำไปขายในราคาลิตรละ 30 บาท จะได้เงิน 3,052 ล้านบาท คิดเป็นผลตอบแทน 14,207 บาทต่อไร่ ทั้งนี้เนื่องจากได้สำรวจที่เมืองเวียงไชย แขวงหัวพัน ดังนั้นจึงประเมินได้จากร้อยละของพื้นที่ ดังแสดงในตารางที่ 4.2-4.3

ตารางที่ 4.2 การประเมินผลผลิตมะเยาหินที่ช่วงอายุต่าง ๆ

รายละเอียด	อายุต้นมะเยาหิน (ปี)		
	อายุ < 4 ปี	อายุ 4-7 ปี	อายุ 15-20 ปี
สายพันธุ์มะเยาหิน	Vernicia ***montana*** Lour.	Vernicia ***montana*** Lour.	Vernicia ***montana*** Lour.
ความสูงต้น (เมตร)	4-5	4-6	12-15
ขนาดลำต้น (เซนติเมตร)	10-15	18-20	25/40
ทรงพุ่ม (เมตร)	3-5	4-8	10-12
จำนวนเมล็ดต่อต้น (ลูก/ต้น)	360-400	540-600	720-750
จำนวนเมล็ดต่อกิโลกรัม (ลูก/กก.)	12-14	12-14	12-14
น้ำหนักเมล็ดต่อลูก (กรัม/ลูก)	63-77	63-77	63-77
จำนวนลูกต่อช่อ (ลูก/ช่อ)	8-9	8-9	8-9
สัดส่วนเมล็ดใน (%)	59	59	59
สัดส่วนเปลือก (%)	41	41	41
ผลผลิตต่อต้น (กก./ต้น)	23-25	34-38	45-47
ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่) ระยะปลูก 4 x 4 เมตร (100 ต้น)	2,300-2,500	3,400-3,800	4,500-4,700
ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่) ระยะปลูก 5 x 5 เมตร (64 ต้น)	1,472-1,600	2,176-2,432	2,880-3,008
ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่) ระยะปลูก 7 x 7 เมตร (32 ต้น)	736-800	1,088-1,216	1,440-1,504
น้ำหนักเมล็ดต่อกระสอบ (กก./ กระสอบ)	55-58	55-58	55-58
เมล็ดใน (kg/ไร่) (ระยะการปลูก 4x4 เมตร)	1,357-1,475	2,006-2,242	2,655-2,773
ปริมาณน้ำมัน (กก/ไร่) (ระยะการปลูก 4x4 เมตร)	301-327	445-497	588-614
ปริมารน้ำมัน (ลิตร/ไร่) (ระยะการปลูก 4x4 เมตร)	320-348	474-529	627-655
ราคาขายน้ำมัน (บาท/ไร่) @ 30 บาท/ลิตร	9,610-10,446	14,207-15,878	18,803-19,639

หมายเหตุ: ข้อมูลได้จากการสอบถามและสำรวจในประเทศลาว, กันยายน 2553

ตารางที่ 4.3 การประเมินศักยภาพจากพื้นที่เพาะปลูกในแขวงหัวพัน

พื้นที่เพาะปลูกต้นมะเยาหิน (ไร่)		ระยะปลูก	ปริมาณ (ตัน)				น้ำมัน (ล้านลิตร)	ราคา (ล้านบาท)
			เมล็ด	เปลือก	เมล็ดใน	น้ำมัน		
ประเมินที่ 2% ของพื้นที่	214,825	4 x 4 m.	730,405	299,466	430,939	95,496.07	102	3,052
		5 x 5 m.	467,459	191,658	275,801	61,117.49	65	1,953
		7 x 7 m.	233,730	95,829	137,900	30,558.74	33	977
ประเมินที่ 5% ของพื้นที่	537,063	4 x 4 m.	1,826,013	748,665	1,077,347	238,740.18	254	7,630
		5 x 5 m.	1,168,648	479,146	689,502	152,793.71	163	4,883
		7 x 7 m.	584,324	239,573	344,751	76,396.86	81	2,442
ประเมินที่ 10% ของพื้นที่	1,074,125	4 x 4 m.	3,652,025	1,497,330	2,154,695	477,480.36	509	15,260
		5 x 5 m.	2,337,296	958,291	1,379,005	305,587.43	326	9,766
		7 x 7 m.	1,168,648	479,146	689,502	152,793.71	163	4,883
ประเมินที่ 20% ของพื้นที่	2,148,250	4 x 4 m.	7,304,050	2,994,661	4,309,390	954,960.71	1,017	30,520
		5 x 5 m.	4,674,592	1,916,583	2,758,009	611,174.86	651	19,533
		7 x 7 m.	2,337,296	958,291	1,379,005	305,587.43	326	9,766

หมายเหตุ : 1. ประเมินจากพื้นที่แขวงหัวพัน 17,189 ตร.กม.

2. ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดในร้อยละ 22.16 โดยน้ำหนัก (ที่มา: ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2553)

3. ราคาน้ำมันดิบ (มะเยาหิน) เท่ากับ 30 บาท/ลิตร

2.4.2 การซื้อขายเมล็ดมะเยาหินในประเทศลาว

อุตสาหกรรมในการแปรรูปมะเยาหินในประเทศลาวนั้น ยังไม่มีการแปรรูป แต่จะเป็นการเก็บเมล็ดพันธุ์มาขายให้กับพ่อค้าคนกลาง และกระทรวงกสิกรรมและป่าไม้ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ซึ่งพ่อค้าคนกลางก็จะมีเครือข่ายเพื่อขายเมล็ดพันธุ์ให้กับประเทศเวียดนามและจีน แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มดังต่อไปนี้

- พ่อค้าคนกลาง
- กระทรวงกสิกรรมและป่าไม้ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว

ในกรณีของพ่อค้าคนกลาง จะทำการรวบรวมเมล็ด โดยทำการซื้อเมล็ดจากเกษตรกรทั้งในลักษณะทั้งเปลือก และแบบเฉพาะเมล็ดในอย่างเดียว ซึ่งจะทำการรวบรวมเมล็ดพันธุ์เหล่านี้ เพื่อส่งขายต่อให้กับพ่อค้าเวียดนาม และจีนต่อไป ในส่วนของกระทรวงกสิกรรมและป่าไม้ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว นั้นจะทำการซื้อเฉพาะเมล็ดใน เพื่อเป็นเมล็ดพันธุ์ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูกในแปลงในประเทศลาว

ตารางที่ 4.4 การซื้อขายเมล็ดมะเยาหินในประเทศลาว

รายละเอียด	พ่อค้าคนกลาง	กระทรวงกสิกรรมและป่าไม้ สปป.ลาว
- เมล็ดที่ทำการรับซื้อ	1. ทั้งเปลือก 2. เมล็ดใน	1. เมล็ดใน
- ราคาในการรับซื้อ	- ทั้งเปลือก = 2,000 – 3,000 kip/kg = 8 – 12 บาท/kg - เมล็ดใน = 3,000 3,500 kip/kg = 12 – 14 บาท/kg	- เมล็ดใน = 3,000 3,500 kip/kg 12 – 14 บาท/kg
- รับซื้อ / จำหน่าย	- นำไปขายให้กับพ่อค้าเวียดนาม และส่งขายต่อในประเทศจีน	- ส่งเสริมการเพาะปลูกในประเทศ

หมายเหตุ ; อัตราแลกเปลี่ยนเงินราคา 1 บาท เท่ากับ 254.4 kip (24 ก.ย.53)

การแกะเอาเมล็ดในมะเยาหินเพื่อทำเมล็ดพันธุ์ / ขาย

เมล็ดในมะเยาหิน

แบบทั้งเปลือก

จุดรับซื้อเมล็ดมะเยาหินของพ่อค้าคนกลางในเมืองเวียงไชย

รูปที่ 4.13 จุดรับซื้อของพ่อค้าคนกลางที่เมืองเวียงไชย แขวงหัวพัน ประเทศลาว

ส่วนที่ 3 ศักยภาพการให้ผลผลิต และการตอบสนองสภาพแวดล้อมของมะเยาหิน จังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน

3.1 การสำรวจแปลงเพาะปลูกในจังหวัดเชียงใหม่-ลำพูน

จากการสำรวจต้นมะเยาหินในประเทศลาว และรวบรวมสายพันธุ์มะเยาหิน แล้วนำมาปลูกในประเทศไทย โดยศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ร่วมกับ สหกรณ์ผู้ผลิตพลังงานทดแทนเพื่อชาติ พบว่ามีอยู่ด้วยกัน 2 สายพันธุ์ที่นำมาปลูก ดังรูปที่ 4.14 ได้แก่

1) พันธุ์ *Vernicia fordii* (Hemsl.)

คุณลักษณะทั่วไปของสายพันธุ์

- **ใบ** มีลักษณะคล้ายรูปหัวใจ ขนาด 7.6 - 12.7 ซม. สีเขียวเข้ม มีก้านใบยาวสีแดง
- **ผล** มีลักษณะกลม เมื่อแก่จัดจะมีสีเขียวเข้มถึงแดงม่วง ประกอบไปด้วยเมล็ด 1-5 เมล็ด โดยปกติจะมี 5 เมล็ด
- **เมล็ด** ค่อนข้างกลมแบน ภายในเนื้อสีขาวอมเหลือง ประกอบไปด้วย น้ำมัน 57% โปรตีน 16% คาร์โบไฮเดรต 13% ไฟเบอร์ 3% น้ำ 4% กากเถ้า 4%

2) พันธุ์ *Vernicia montana* Lour.

คุณลักษณะทั่วไปของสายพันธุ์

- **ใบ** สีเขียวเข้ม คล้ายรูปหัวใจ ขอบใบหยัก 3 – 5 แฉก ก้านใบยาว
- **ผล** เมื่อสดมีสีเขียว ขนาด 4 – 4.5 ซม. มี 3 เมล็ด ให้ผลแก่ราวเดือนกันยายน – พฤศจิกายน จะให้ผลผลิตเต็มที่เมื่อมีอายุ 10 -12 ปี
- **เมล็ด** มีลักษณะกลมแบน ผิวขรุขระเปลือกแข็ง เนื้อในสีขาวอมเหลือง ขนาดเมล็ดหนาประมาณ 1.2 ซม. กว้างประมาณ 2.5 ซม. น้ำหนักประมาณ 300 เมล็ดต่อ 1 กิโลกรัม

รูปที่ 4.14 พันธุ์มะเยาหินที่แปลงปลูกในจังหวัดเชียงใหม่

ขณะเดียวกันนั้น ได้เริ่มมีการขยายผลการส่งเสริมการเพาะปลูกในหลายพื้นที่ในจังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ อำเภอจอมทอง แม่แตง ฝาง ในส่วนของจังหวัดเชียงราย และจังหวัดลำพูน ก็เริ่มมีการเพาะปลูกมากขึ้น โดยการเพาะปลูกจะเป็นลักษณะการปลูกแทรกระหว่างต้นลำไย ทั้งนี้ทางคณะผู้วิจัยก็ได้เข้าไปสำรวจในแปลง ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่จะปลูกต้นมะเยาหินสายพันธุ์ *Vernicia montana* ทั้งนี้จากการสำรวจมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

➢ แปลงที่ 1 แปลงสหกรณ์ผู้ผลิตพลังงานทดแทนเพื่อชาติร่วมกับมหาวิทยาลัยแม่โจ้

จากการสำรวจในเบื้องต้นในแปลงเพาะปลูก ตำบลแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีพื้นที่เพาะปลูกจำนวน 100 ไร่ โดยมีการเพาะปลูกในลักษณะเป็นแบบการปลูกพืชสวน ที่ระยะการปลูก 4 x 4 เมตร และ 3 x 4 เมตร อายุต้นมะเยาหิน 2 – 3 ปี มีความสูงของต้น 5 – 6 เมตร ขนาดทรงพุ่ม 3.5 – 4 เมตร ซึ่งในสวนดังกล่าวนี้มีการเพาะกล้าและมีการตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน เพื่อให้เกิดยอดของต้นมะเยาหิน และรักษาทรงพุ่มของต้นไว้ ดังรูปที่ 4.15

ต้นกล้าพันธุ์มะเยาหิน

ต้นมะเยาหินที่เพาะปลูก ระยะ 4x4 m.

ดอกมะเยาหิน

ผลมะเยาหิน

รูปที่ 4.15 การสำรวจมะเยาหินแปลงเพาะปลูกอำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

➢ **แปลงที่ 2 แปลงของเกษตรกรพื้นที่ในอำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่**

จากการสำรวจในแปลงที่ 2 ของเกษตรกรใน อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งนำมะเยาหินพันธุ์ *Vernicia montana* มาปลูกร่วมกันกับพื้นที่เพาะปลูกสวนลำไย 10 ไร่ โดยปลูกไว้ประมาณ 15 – 20 ต้น โดยมีความสูงของต้นมะเยาหินประมาณ 6 – 8 เมตร อายุประมาณ 2 ปี อาศัยน้ำจากการให้น้ำสวนลำไย ปัจจุบันเริ่มให้ผลผลิตแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.16

รูปที่ 4.16 แปลงเพาะปลูกของเกษตรกรในอำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

➢ **แปลงที่ 3 แปลงของเกษตรกรพื้นที่อำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูน**

จากการสำรวจในแปลงที่ 3 ของเกษตรกรใน อำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูน ซึ่งนำมะเยาหินพันธุ์ *Vernicia montana* มาปลูกร่วมกันกับพื้นที่เพาะปลูกสวนลำไย ปัจจุบันมะเยาหินที่ปลูกมีอายุประมาณ 3 ปี ไม่มีการดูแลในเรื่องปุ๋ยและน้ำอย่างจริงจัง ทั้งนี้จะได้รับปุ๋ยที่หลงเหลือจากการให้กับต้นลำไย ปริมาณน้ำที่ต้นมะเยาหินได้รับนั้นจะได้รับจากน้ำฝนที่ตกในฤดูฝนเท่านั้น ไม่มีการจัดการในเรื่องของระบบน้ำมาให้มะเยาหิน ความสูงต้น ระหว่าง 3.0-4.0 เมตร รัศมีทรงพุ่ม 3.2 -4.0 เมตร มีจำนวน 2-3 ฉัตร แตะละฉัตร มีจำนวน 2-3 กิ่ง มีจำนวนการติดช่อผลค่อนข้างแตกต่างกัน จำนวน 9-48 ช่อผลต่อต้น ในแต่ละช่อมีจำนวนผล 1-7 ผลต่อช่อ ลักษณะทรงพุ่ม พบว่า ต้นค่อนข้างสูง เจริญเติบโตด้านข้างน้อย เนื่องจากการปลูกในระยะชิด ใบส่วนใหญ่มีสีเขียวค่อนข้างเหลือง อาจเนื่องมาจากการขาดสารอาหาร หรือมีน้ำขังรากที่ชั้นดินด้านล่าง

แปลงเพาะปลูกของเกษตรกรในอำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูน

รูปที่ 4.17 แปลงเพาะปลูกของเกษตรกรในอำเภอทุ่งหัวช้าง จังหวัดลำพูน

➢ แปลงที่ 4 แปลงทดสอบศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

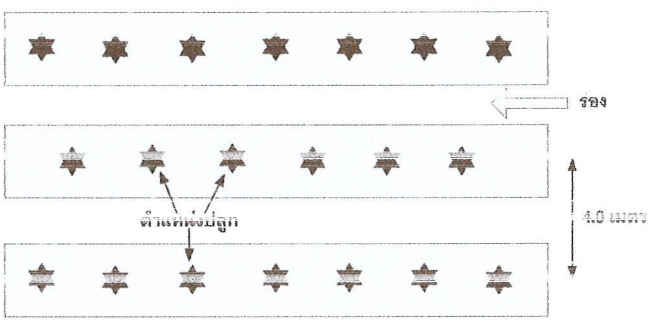
ในส่วนของแปลงทดสอบของศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้นั้น ได้ทำการเพาะปลูกมะเยาหินพันธุ์ *Vernicia montana* ซึ่งมีอายุประมาณ 1 ปี มีความสูงของต้นประมาณ 2-3 เมตร ตามแนวยาวของร่องน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 4.18

รูปที่ 4.18 แปลงปลูกมะเยาหินแนวร่องน้ำ ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

จากการสำรวจข้อมูลมะเยาหินที่นำมาปลูกในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน พบว่าสามารถเจริญเติบโตได้ดี ถ้าหากมีการจัดการเรื่องดิน น้ำ และปุ๋ย ก็จะเพิ่มผลผลิตของมะเยาหินมากขึ้น ซึ่งเห็นได้ชัดว่าในกรณีที่ปลูกแทรกต้นลำไยของเกษตรกร ซึ่งได้รับน้ำและปุ๋ยจากต้นลำไย ส่งผลให้ต้นมะเยาหินมีการเจริญเติบโตที่ดี และให้ผลผลิตที่สมบูรณ์มากขึ้น ทั้งนี้จากข้อมูลทั้ง 3 แปลงที่ทำการสำรวจพบว่าจะเริ่มให้ผลผลิตในช่วงอายุประมาณ 2-3 ปี โดยปีแรกจะให้ผลผลิตเล็กน้อย โดยใน1 ช่อจะให้ผลมะเยาหินประมาณ 5-20 ผล/ช่อ ขึ้นอยู่กับสภาพความสมบูรณ์ แต่อย่างไรก็ตามทั้ง 4 แปลงดังกล่าวยังต้องการบำรุงรักษาในเรื่องปุ๋ย และระบบการให้น้ำที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของต้นมะเยาหิน

3.2 ระยะการปลูกมะเยาหินที่เหมาะสม

อัตราการปลูกมะเยาหินจะแตกต่างกันไป ตามความสมบูรณ์ของพื้นที่ และวัตถุประสงค์ของการปลูก ในปัจจุบันยังไม่มีผลการทดลองที่แนะนำว่าระยะการปลูกเท่าใดที่ให้ผลผลิตสูงสุดในประเทศไทย แต่ที่แปลงเพาะปลูกของสหกรณ์พืชพลังงานทดแทนแห่งชาติ บ้านแม่นาป๊าก ตำบลแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ได้ทำการปลูกที่ระยะ 4x4 เมตร แบบสลับฟันปลา (100 ต้น/ไร่) ภายใต้สภาพพื้นที่ป่าบนภูเขา ดินไม่ค่อยสมบูรณ์ พบว่าระยะการปลูกดังกล่าวจะให้ผลผลิตมะเยาหิน 4-8 kg/ต้น หรือ 400-800 kg/ไร่ ทั้งนี้การสำรวจสอบถามข้อมูลในประเทศลาว พบว่ามีการส่งเสริมโดยให้เพาะปลูกมะเยาหินในระยะ 8 x 8 เมตร (25 ต้น/ไร่) เนื่องจากต้นมะเยาหินจะได้รับแสงอาทิตย์สำหรับในการสังเคราะห์แสงได้ดีกว่า ระยะชิดกัน ซึ่งผลผลิตที่ได้ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับสภาพความสมบูรณ์ของพื้นที่เพาะปลูกอีกส่วนหนึ่งด้วย ส่วนในการเพาะปลูกอีกแบบหนึ่งที่นิยมปลูกกันในพื้นที่ภาคเหนือ คือการปลูกแบบพืชแซม กับพืชสวนลำไย ซึ่งการปลูกจะปลูกคั่นระหว่างต้นลำไย ยังไม่มีข้อมูลที่แน่นอนเกี่ยวกับผลผลิตที่ได้ แต่ในเบื้องต้นน่าจะให้ผลผลิตที่ดีเนื่องจากการปลูกแซมกับต้นลำไยนั้น มะเยาหินจะได้รับน้ำและปุ๋ยจากเกษตรกรที่ให้กับต้นลำไย ซึ่งทำให้ต้นมะเยาหินได้รับผลพลอยได้จากการให้ปุ๋ยของต้นลำไยดังกล่าวด้วย



รูปที่ 4.19 การปลูกแบบสี่เหลี่ยมสลับฟันปลาแบบสบู่ดำ

ที่มา : แปลงเพาะปลูกแม่นาป๊าก ตำบลแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

3.3 การจัดการเรื่องดิน น้ำ และการใช้ปุ๋ย

3.3.1 การจัดการเรื่องดิน

การจัดเตรียมพื้นที่เพาะปลูกมะเยาหิน สามารถทำเหมือนการเตรียมแปลงปลูกสบู่ดำก็ได้ ซึ่งในขั้นต้นโดยทั่วไปจะทำความสะอาดพื้นที่แปลงปลูกให้เรียบร้อยก่อน แล้วถึงขั้นตอนการเตรียมดิน การเตรียมดินนี้อาจจะมีความจำเป็นหรือไม่จำเป็นก็แล้วแต่สภาพดินและความต้องการของผู้ปลูก โดยอาจใช้วิธีการที่ไม่มีการไถพรวนดินก็ได้ ในกรณีที่ต้องการดินมีความเหมาะสมต่อการปลูก อาจมีการเตรียมดิน โดยการไถบุกเบิก 1 ครั้ง แล้วไถพรวนอีก 1 ครั้ง ก็จะเพียงพอสำหรับการปลูกมะเยาหิน ซึ่งการไถทั้งสองครั้งนี้จะเป็นการทำให้แปลงปลูกมีความสะอาดขึ้น

ในบางสภาพอาจมีวิธีการปลูกแบบไม่ไถพรวนหรือปลูกโดยไม่มีการเตรียมดิน วิธีการนี้ก็เป็นการประหยัดต้นทุนซึ่งสามารถทำได้เพราะมะเยาหินจะใช้ระยะการปลูกกว้าง อาจใช้วิธีการขุดหลุมปลูกได้เลย ก็จะเป็นการประหยัดต้นทุนในการเตรียมดินเพาะปลูก

3.3.2 การจัดการเรื่องน้ำ

การจัดการเรื่องน้ำ มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการมีชีวิตของเซลล์สิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศทั้งหมด และน้ำก็เป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์และขบวนการเมตาโบลิซึมของทุกเซลล์จะเกิดไม่ได้ถ้าหากขาดน้ำ น้ำในประเทศไทยจะได้มาจากน้ำฝนเท่านั้น และน้ำฝนบางส่วนก็สามารถถูกเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำ และแหล่งน้ำต่าง ๆ ส่วนน้อยเท่านั้นที่มีระบบชลประทานได้ สำหรับการปลูกต้นมะเยาหินในพื้นที่ภาคเหนือ (เชียงใหม่ ลำพูน) พบว่ายังไม่มีการจัดการเรื่องระบบดิน น้ำ และการใช้ปุ๋ยเท่าที่ควร ในส่วนของแปลงทดลองการเพาะปลูกที่สวนแม่นาป๊าก พบว่าในช่วงแรกที่ไม่มีการจัดการเรื่องระบบน้ำ จะอาศัยน้ำฝนเท่านั้น จากข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่มีปริมาณฝนตกโดยเฉลี่ย 4.08, 3.06, 3.11, 2.92 และ 3.14 มิลลิเมตร/วัน ในปี 2549, 2550, 2551, 2552 และ 2553 ตามลำดับ

3.3.3 การจัดการเรื่องปุ๋ย

มะเยาหินเป็นพืชน้ำมันที่ต้องการใช้ธาตุอาหารจากดินจำนวนมากพอสมควร ดังนั้น การปลูกในเชิงพาณิชย์จึงมีความจำเป็นต้องเติมธาตุอาหารลงในดินให้แก่ต้นมะเยาหิน ชนิดของปุ๋ยอาจใช้ปุ๋ยเคมีหรือปุ๋ยอินทรีย์ในท้องถิ่นก็ได้

ปุ๋ยเคมี

เมื่อต้นมะเยาหินเริ่มตั้งตัวอาจจำเป็นต้องเร่งการเจริญเติบโตชนิดของปุ๋ยที่อาจใช้ปุ๋ยสูตร 15–15–15 จำนวนต้นละประมาณ 50 กรัมต่อต้น หรืออาจใส่ปุ๋ยยูเรียเพิ่ม 46-0-0 จำนวนต้นละ

ประมาณ 20-30 กรัมต่อต้น ซึ่งพืชน้ำมันจะมีการตอบสนองต่อปุ๋ยฟอสเฟตอย่างมาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นใช้ปุ๋ยพวกซูเปอร์ฟอสเฟตช่วยเร่งการเจริญเติบโตและให้ผลผลิต

ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์สำหรับต้นมะเยาหินจะใช้กิ่งไม้ และใบไม้ที่ได้จากการตัดแต่งต้นมะเยาหิน โดยจะกองไว้ที่โคนต้นมะเยาหิน ขณะเดียวกันอาจใช้ปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยคอก มูลวัว มูลสัตว์ต่าง ๆ หรือปุ๋ยหมัก เป็นต้น

3.4 คุณสมบัติและปริมาณธาตุอาหารในดินของแปลงเพาะปลูกจังหวัดเชียงใหม่

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินในแปลงเพาะปลูกมะเยาหิน ทั้งหมดจำนวน 5 ตัวอย่าง และนำไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่าดินในแปลงเพาะปลูกมะเยาหิน มีค่าระดับความเป็นกรดเป็นด่างเท่ากับ 5.37 อยู่ในระดับความเป็นกรดปานกลาง (pH 5.6-6.0) ซึ่งถ้าหากต้องการปรับสภาพให้เป็นกลางต้องทำการปรับสภาพดินโดยใช้ปูนขาว ส่วนค่าปริมาณสารอินทรีย์วัตถุ (%OM) พบว่ามีค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.79 อยู่ในระดับต่ำ ส่งผลทำให้ดินขาดแหล่งของธาตุอาหาร 3 ชนิดคือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถัน ส่วนปริมาณไนโตรเจน พบว่ามีปริมาณต่ำถึงร้อยละ 0.04 ซึ่งทำให้เกิดการโตช้า ใบมีสีเหลือง และกลายเป็นสีน้ำตาลร่วงหล่น ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (Available-P) พบว่ามีปริมาณสูงมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38 ppm ที่ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีนและสารอินทรีย์ที่สำคัญในพืช และการสังเคราะห์แสง การหายใจ ปริมาณโพแทสเซียม (K) พบว่ามีปริมาณปานกลางโดยเฉลี่ยเท่ากับ 61.20 ppm ปริมาณแคลเซียม (Ca) พบว่ามีปริมาณต่ำโดยเฉลี่ย 178.40 ppm ซึ่งจะส่งผลทำให้ใบใหม่ที่เกิดมาหงิก มีจุดดำที่เส้นใบ รากเส้นและมีคุณภาพไม่ดี ปริมาณแมกนีเซียม (Mg) พบว่ามีปริมาณต่ำโดยเฉลี่ย 52.6 ppm จะทำให้ใบแก่เหลือง และใบร่วงหล่นเร็ว

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินสวนในจังหวัดเชียงใหม่

Sample	pH	% OM	%N	Avaliable-P	Extractable forms (ppm)		
				(ppm)	K	Ca	Mg
Soil. 1	5.81	1.06	0.05	81	23	268	68
Soil. 2	4.92	0.19	0.01	19	47	148	32
Soil. 3	5.38	0.59	0.03	33	43	116	51
Soil. 4	5.03	0.97	0.05	33	62	148	47
Soil. 5	5.71	1.14	0.06	25	131	212	65
Average.	5.37	0.79	0.04	38	61.20	178.40	52.6

หมายเหตุ : วิเคราะห์ ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาทรัพยากรดินและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

3.5 การตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน

การตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหินนั้น จะเป็นการเพิ่มช่อของดอกมะเยาหิน ซึ่งจะส่งผลทำให้มีผลผลิตเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากว่ามะเยาหินจะออกลูกที่ช่อ ดังนั้นการตัดแต่งกิ่งมะเยาหินจะช่วยให้มีผลผลิตต่อต้นเพิ่มขึ้น ซึ่งในการตัดแต่งกิ่งมะเยาหินจะทำการตัดแต่งในช่วงของลำต้นกระโดงของมะเยาหินสูง 2 เมตร จะทำการตัดกิ่งกระโดง ส่วนกิ่งก้านสาขาของมะเยาหิน จะทำการตัดแต่งกิ่งที่ระยะห่างกันประมาณ 30 เซนติเมตร ซึ่งการตัดแต่งกิ่งดังกล่าวมีข้อดีคือต้นมะเยาหินจะไม่สูงเกินไป ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวได้ง่าย ประกอบกับการตัดแต่งกิ่งก้านสาขา ก็จะได้ช่อดอกที่ให้ผลผลิตมะเยาหินเพิ่มมากขึ้นด้วย ขณะเดียวกันไม้ที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งมะเยาหิน พบว่าต้นอายุ 3-4 ปี เมื่อตัดแต่งกิ่งตามรูปทรงดังกล่าวแล้วจะได้ไม้ตัดแต่งกิ่งเฉลี่ยประมาณ 4-5 กิโลกรัม/ต้น ซึ่งรูปทรงการตัดแต่งกิ่งและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดแต่งกิ่ง แสดงได้ดังรูปที่ 4.20

อุปกรณ์ตัดแต่งกิ่ง

การตัดแต่งกิ่งมะเยาหิน

การตัดแต่งต้นที่มีรูปทรงสูง

การตัดแต่งกิ่งก้านสาขาเพื่อให้ได้กิ่งเพิ่มขึ้น

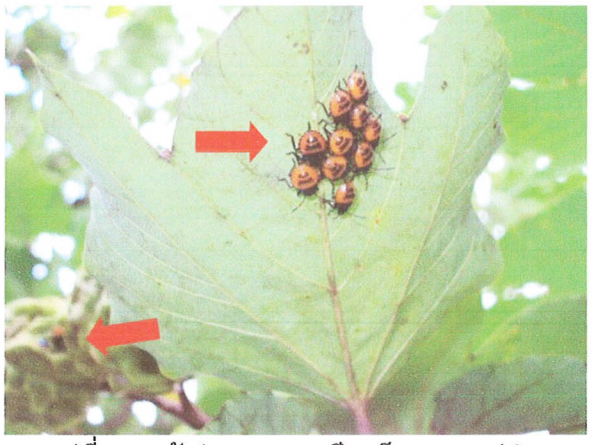
รูปทรงก่อนตัดแต่งกิ่ง ตัดแต่งกิ่ง รูปทรงหลังจากตัดแต่งกิ่ง

รูปที่ 4.20 การตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน

รูปที่ 4.21 ส่วนที่เหลือจากต้นมะเยาหิน กองไว้ที่ลำต้นสำหรับเป็นปุ๋ยต่อไป

3.6 โรค แมลง และศัตรูพืชมะเยาหิน

จากการสำรวจเรื่องโรค แมลง ศัตรูพืชของต้นมะเยาหิน ในแปลงปลูกจังหวัดเชียงใหม่ โดยได้สำรวจ และนำตัวอย่างใบ กิ่งของต้นมะเยาหินไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ พบว่าแปลงปลูกต้นมะเยาหินในจังหวัดเชียงใหม่ พบแมลงจำพวกมวนปีกแข็ง เพลี้ยไฟ หนอนเจาะใบ หนอนม้วนใบ และยังมีพวกโรคใบแห้ง ใบม้วน ต่างๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปลูกต้นมะเยาหินยังมีศัตรูพืชหลายอย่างที่รบกวนต้นและผลผลิตอยู่ ซึ่งต้องทำการปราบศัตรูพืชเหล่านี้ด้วยวิธีการ ใช้สารปราบศัตรูพืช หรือกระบวนการอื่นที่เหมาะสมในการกำจัดศัตรูพืชเหล่านี้ ทั้งนี้รายละเอียดของโรค และแมลงศัตรูพืชมะเยาหินสรุปได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.22 ตัวอ่อนของมวนปีกแข็ง / มวนสบู่ดำ

รูปที่ 4.23 ตัวเต็มวัยของมวนปีกแข็ง / มวนสบู่ดำ

มวนปีกแข็ง (Shield backed bug : *Pachycoris klugii*) / มวนสบู่ดำ (*Calidea dregii*) – เข้าทำลายโดยการดูดกินน้ำเลี้ยงจากผลมะเยาหิน พบการระบาดตลอดทั้งปีและจะระบาดมากช่วงติดผล ทำให้ผลของมะเยาหินบิดเบี้ยว พัฒนาผิดปกติ ขนาดเล็ก ผลหลุดล่วง และการสะสมสารอาหารในเมล็ดลดลง ทำให้เมล็ดเล็กไม่สมบูรณ์ ปริมาณน้ำมันน้อย

รูปที่ 4.24 เพลี้ยไฟ (Thrips) – ผลของมะเยาหินหลังถูกเพลี้ยไฟเข้าทำลายตอนเป็นผลอ่อน

รูปที่ 4.25 หนอนเจาะผล – ผลของมะเยาหินถูกหนอนเจาะผลเข้าทำลาย

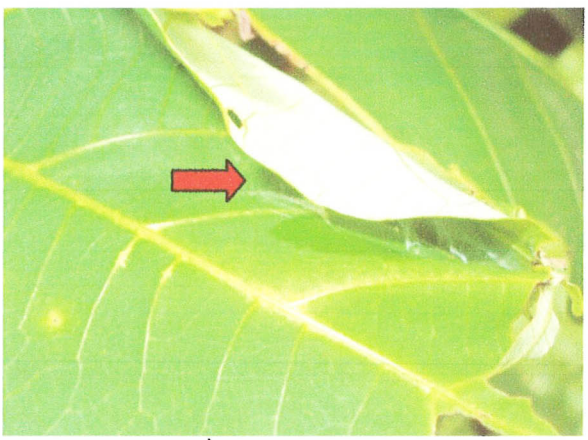
พบการระบาดของเพลี้ยไฟมากช่วงฤดูแล้งและช่วงที่พืชกำลังแตกยอด ใบอ่อน ติดดอก และออกผล โดยจะเข้าไปดูดน้ำเลี้ยง ทำให้เกิดการหยิกงอ ม้วน การเจริญเติบโตผิดปกติตรงบริเวณที่เข้าทำลาย ในมะเยาหินนั้นนั้นจะแสดงเป็นแผลไหม้สีน้ำตาลทั่วบริเวณผล เนื่องจากเพลี้ยไฟเข้าดูดน้ำเลี้ยงและทำลายเมื่อผลมะเยายังอ่อนและอาการชัดเจนเมื่อผลมีขนาดใหญ่ขึ้นดังรูปที่ 4.24

หนอนเจาะผล พบมากช่วงติดผลอ่อน โดยมีผีเสื้อมาบินวางไข่ช่วงกลางวัน ไข่ของหนอนจะถูกวางไว้ภายนอกหรือในผลอ่อน เมื่อตัวอ่อนของหนอนเจริญเติบโตจะกัดกินผลอ่อนและเจาะเข้าไปลำลายส่วนที่อยู่ในผลด้วยดังรูปที่ 4.25 แผลที่ถูกหนอนเข้าทำลายจะเป็นช่องทางทำให้โรคและแมลงศัตรูพืชชนิดอื่น ๆ เข้าไปทำลายผลมะเยาหินได้

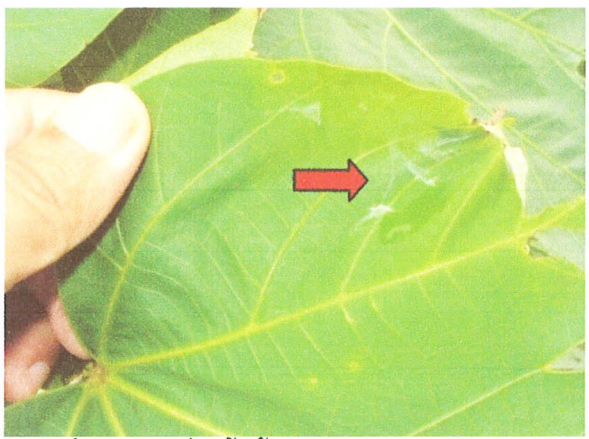
รูปที่ 4.26 โรคผลเน่า

รูปที่ 4.27 หนอน – กัดกินใบ

โรคผลเน่าอาจเกิดจากเชื้อโรคเข้าทำลายหรือผลถูกแมลงเจาะเข้าไปทำลายก่อนแล้วแผลที่ถูกหนอนเจาะเป็นช่องทางทำให้เชื้อโรคเข้าทำลายได้ ดังรูปที่ 4.26 เชื้อของโรคผลเน่าอาจจะระบาดได้หากไม่มีการกำจัดผลที่เกิดโรคออกจากแปลง และจะระบาดมากหากมีความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสม จะพบกับพืชที่มีการปลูกระยะระหว่างต้นชิดกันมากเกินไป หรือ ทรงพุ่มหนาแน่น ทึบแสงแดดส่องเข้าไม่ถึง หนอนกินใบ พบการเข้าทำลายใบอ่อนของมะเยาหิน โดยหนอนจะกัดกินจนเหลือแต่ก้านใบ ดังรูปที่ 4.27 ทำให้ใบเสียหายสร้างอาหารไม่ได้ แต่พบว่าการระบาดยังไม่มากนัก

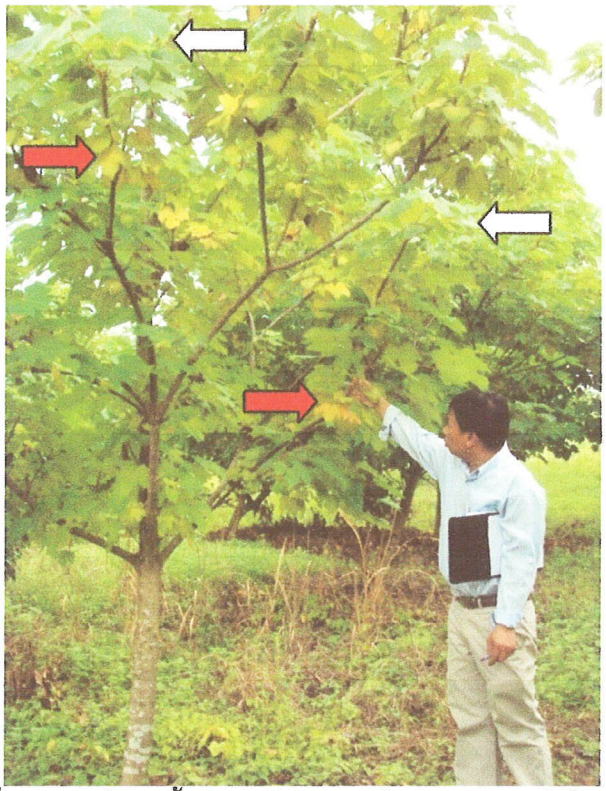


รูปที่ 4.28 หนอนม้วนใบ



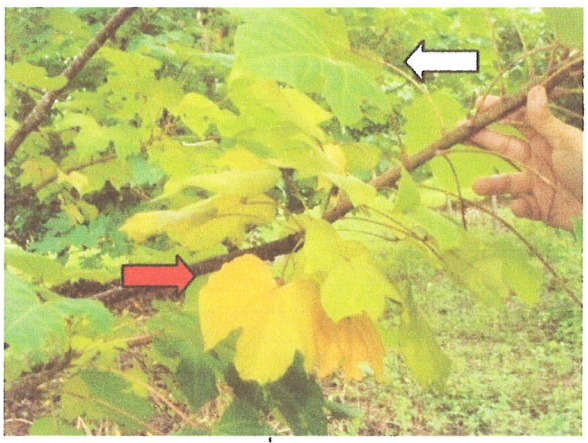
รูปที่ 4.29 รังที่ผีเสื้อทิ้งไว้หลังพัฒนาจากตัวดักดำ

หนอนม้วนใบ เมื่อตัวหนอนที่ได้กินใบและเจริญเติบโตเต็มที่ จะพัฒนาเข้าสู่ระยะดักแด้ จะทำการม้วนใบมะเยาเพื่อทำรังป้องกันดักแด้ของตัวเองจากศัตรูธรรมชาติ ดังรูปที่ 4.28 และสร้างดักแด้เพื่อพัฒนาเป็นผีเสื้อต่อไป ใบที่ทำรังนั้นจะเป็นใบอ่อน พบมากช่วงที่มีการระบาดของหนอนกินใบ ทำให้ใบอ่อนบิดเบี้ยวและผิดรูปทรง ดังรูปที่ 4.29



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

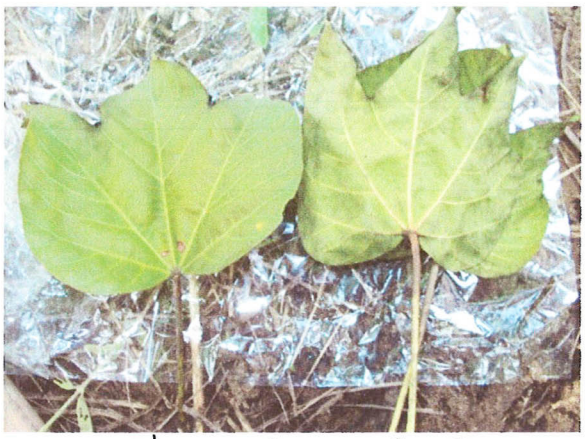
รูปที่ 4.30 ก ต้นมะเยาหินที่กำลังสลัดใบแก่ทิ้ง (ลูกศรสีแดง) และใบอ่อนจะอยู่เหนือใบแก่ (ลูกศรสีขาว)



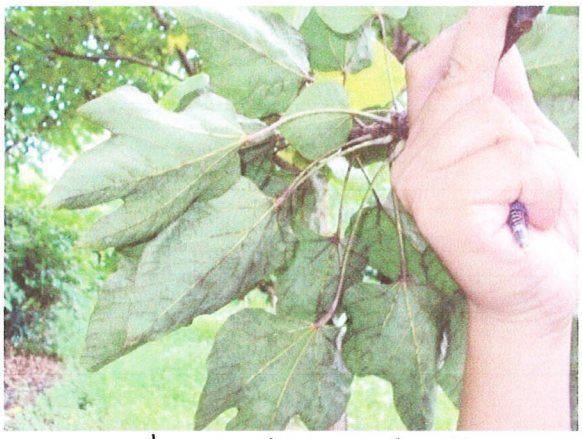
รูปที่ 4.30 ข

รูปที่ 4.30 ค

การสลัดใบแก่ / การหลุดล่วงของใบแก่ – เป็นการสลัดใบแก่ (ลูกศรสีแดง) ที่มีอายุมาก เนื่องจากความสามารถในการสังเคราะห์แสงและสร้างอาหารลดลง หากมีมากเกินไปจะทำให้แย่งสารอาหารจากใบอ่อนที่แตกออกมาใหม่ (ลูกศรสีขาว) และเป็นแหล่งสะสมแมลงศัตรูพืชของมะเยาหิน



รูปที่ 4.31 ก ใบกรอบ / ใบแห้ง



รูปที่ 4.31 ข ใบกรอบ / ใบแห้ง

ใบกรอบ / ใบแห้ง – ลักษณะเส้นใบด้านล่างดำเป็นช่วง ๆ ส่วนใบดำกระด้าง มีสีคล่ำ และแห้งกรอบ ดังรูปที่ 4.31 ก พบกับใบที่แก่และใบอ่อนที่อยู่ภายในทรงพุ่มของต้นมะเยาหิน ดังรูปที่ 4.31 ข เนื่องจากภายในทรงพุ่มการส่องผ่านของแสงน้อย มีความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญและการเข้าทำลายจากเชื้อโรค ส่วนเชื้อที่เข้าทำลายยังไม่มีที่แน่ชัด จะต้องนำมาเพาะเลี้ยงและแยกเชื้อเพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป

3.7 ศักยภาพในการให้ผลผลิตมะเยาหินในแปลงจังหวัดเชียงใหม่

3.7.1 การประเมินศักยภาพการให้ผลผลิตในจังหวัดเชียงใหม่

จากการสำรวจแปลงมะเยาหินในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าจะให้ผลผลิตโดยเฉลี่ยประมาณ 4-8 กิโลกรัม/ต้น โดยมีจำนวนลูกมะเยาหินอยู่ระหว่าง 53-124 ลูก/ต้น ดังนั้นจะให้ผลผลิตเฉพาะเมล็ดในมะเยาหินอยู่ระหว่าง 3-5 กิโลกรัม/ต้น ขณะเดียวกันเมื่อทำการประเมินผลผลิตจากข้อมูลดังกล่าวที่ระยะการปลูก 4 x 4 เมตร จำนวน 100 ต้น/ไร่ พบว่าจะให้ผลผลิต 400-800 กิโลกรัม /ไร่ ถ้าหากขายเฉพาะเมล็ดในของมะเยาหินจะให้ผลตอบแทน 3,304-6,608 บาท/ไร่ เมื่อนำไปสกัดน้ำมันจากเมล็ดจะได้น้ำมันดิบมะเยาหินประมาณ 55-112 ลิตร/ไร่ คิดเป็นราคาขาย 1,650-3,360 บาท/ไร่ ดังแสดงในตาราง ที่ 4.6 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าถ้าหากเฉพาะเมล็ดในของมะเยาหินจะได้ราคาสูงกว่าการขายน้ำมันดิบที่ได้จากการสกัดเมล็ดมะเยาหินถึงร้อยละ 50 อย่างไรก็ตามน้ำมันจากมะเยาหินยังมีมูลค่าและลดต้นทุนได้กรณีเมื่อใช้ทดแทนสารเคมีในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์สี หรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการสำรวจผลผลิตมะเยาหิน แปลงบ้านแม่นาป๋าก จังหวัดเชียงใหม่

รายละเอียด	อายุต้นมะเยาหิน (ปี) อายุ 3-5ปี
สายพันธุ์มะเยาหิน	Vernicia ***montana*** Lour.
ความสูงต้น (เมตร)	4-5
ขนาดลำต้น (เซนติเมตร)	10-18
ทรงพุ่ม (เมตร)	4-6
จำนวนเมล็ดต่อต้น (ลูก/ต้น)	53-124
จำนวนเมล็ดต่อกิโลกรัม (ลูก/กก.)	17-20
น้ำหนักเมล็ดต่อลูก (กรัม/ลูก)	48-50
จำนวนลูกต่อช่อ (ลูก/ช่อ)	5-8
ผลผลิตต่อต้น (กก./ต้น)	4-8
ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่) ระยะปลูก 4 x 4 เมตร (100 ต้น)	400-800
ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่) ระยะปลูก 5 x 5 เมตร (64 ต้น)	256-512
ผลผลิตต่อไร่ (กก./ไร่) ระยะปลูก 7 x 7 เมตร (32 ต้น)	128-256
น้ำหนักเมล็ดต่อกระสอบ (กก./ กระสอบ)	36-38
เมล็ดในมะเยาหิน (kg/ไร่)	236-472
ปริมาณน้ำมัน (กก/ไร่)	52-105
ปริมารน้ำมัน (ลิตร/ไร่)	55-112
ราคาขายน้ำมัน (บาท/ไร่) @ 30 บาท/ลิตร	1,650-3,360

หมายเหตุ: 1.ประเมินสัดส่วนเปลือกร้อยละ 41 เมล็ดในร้อยละ 59 โดยน้ำหนัก

2.ปริมาณน้ำมันสกัดได้ประเมินที่ร้อยละ 22.16 โดยน้ำหนัก ราคาขายน้ำมันมะเยาหินดิบ 30 บาท/ลิตร

3. ราคาขายเมล็ดในมะเยาหิน อ้างอิงราคาลาว 14 บาท/กก.

รูปที่ 4.32 แปลงทดสอบในประเทศไทย สวนแม่นาป๋าก จ.เชียงใหม่

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5-6 เซนติเมตรในจังหวัดเชียงใหม่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-4 เซนติเมตรในประเทศลาว

รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบขนาดผลมะเยาหินของประเทศลาวกับแปลงปลูกจังหวัดเชียงใหม่

ส่วนที่ 4 การเก็บเกี่ยวผลผลิต และการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว

4.1 ระยะเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะเยาหิน

มะเยาหิน มีจะเริ่มให้ผลผลิตเมื่อมีอายุตั้งแต่ 3 ปีขึ้นไป โดยจะให้ผลผลิตตามอายุ และการบำรุงรักษาสำหรับการปลูกในแปลง ซึ่งมะเยาหินจะเริ่มออกดอกในช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคม โดยเป็นช่วงหลังฤดูฝน ทำให้ต้นมะเยาหินได้รับน้ำอย่างเต็มที่ หลังจากนั้นช่วงเวลาการเก็บเกี่ยวผลผลิตจะอยู่ในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม ซึ่งอายุการเก็บเกี่ยวผลผลิตมะเยาหินสามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดการปลูกในช่วงอายุ 20-30 ปี

4.2 การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต

เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตมะเยาหินที่ให้ผลสุกในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม เมื่อรวบรวมผลผลิตให้มีปริมาณมากก็อาจนำมารวมแล้วทำการกะเทาะเมล็ดรวม หรือผึ่งตากให้แห้งก่อน เพื่อระบายความร้อนในกองเมล็ด ป้องการการเน่าเสียของเมล็ดมะเยาหิน ซึ่งการเก็บเกี่ยวในช่วงที่เหมาะสมจะได้ผลผลิตที่สูง และมีปริมาณน้ำมันสูงด้วย ขณะเดียวกันการเก็บผลผลิตช้าไปไม่ดีเพราะจะทำให้เมล็ดเน่าเสีย หรืออาจร่วงหล่นก็ได้

4.2.1 การเก็บเกี่ยวเมล็ดมะเยาหิน

การเก็บเกี่ยวผลผลิตของมะเยาหินนั้น จะใช้แรงงานคนในการเก็บเกี่ยว ซึ่งในประเทศลาวจะเก็บผลผลิตอยู่ 2 แบบ คือ

- **แบบที่ 1** การเก็บเกี่ยวผลผลิตที่แห้งใต้ต้นมะเยาหิน

ผลผลิตที่อยู่บนต้นมะเยาหิน เมื่อสุกเต็มที่แล้วจะตกบนพื้นดินเหมือนไม้ผลทั่วไป พอนานเข้าก็จะแห้ง โดยมีลักษณะของเปลือกจะมีสีดำ แห้ง ซึ่งเกษตรกร จะเก็บเมล็ดเหล่านี้ แล้วก็เคาะเอาเมล็ดข้างในออก และขายให้กับกระทรวงกสิกรรมและป่าไม้ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว หรือให้กับพ่อค้าคนกลางต่อไป

- **แบบที่ 2** การเก็บเกี่ยวผลผลิตที่อยู่บนต้นมะเยาหิน

ในส่วนของการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่อยู่บนต้นมะเยาหินนี้ จะใช้ไม้สอย หรือขึ้นต้นมะเยาหิน แล้วสอยเอาเมล็ดลงมา และมีคนเก็บใส่ตะกร้า หรือกระสอบ พอหลังจากการเก็บผลผลิตก็จะนำเมล็ดมะเยาหินที่ได้ไปตากเพื่อให้แห้ง เพื่อจำหน่ายต่อไป

ก.) การเก็บเมล็ดแห้งมะเยาหินจากในป่า

ข.) การเก็บเกี่ยวเมล็ดจากต้นมะเยาหิน

รูปที่ 4.32 การเก็บผลผลิตจากต้นมะเยาหินในประเทศลาว

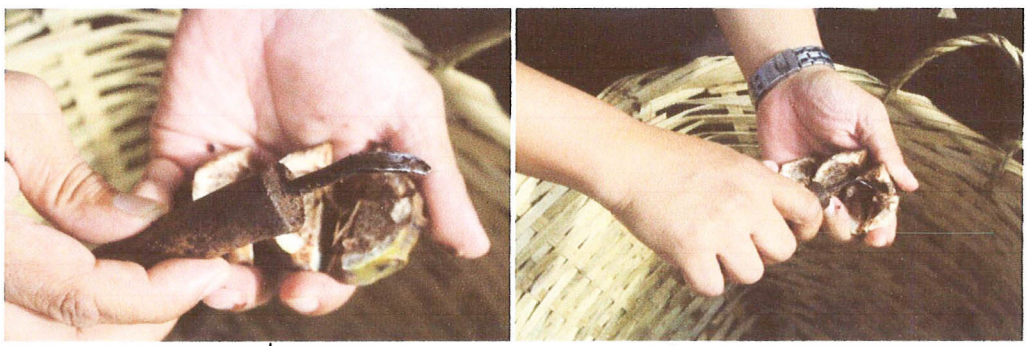
4.2.2 การเก็บรักษา และการผึ่งเมล็ดมะเยาหิน

ผลของมะเยาหินที่เก็บเกี่ยวมาแล้ว ควรทำการกะเทาะเปลือกทันที แล้วนำมาผึ่งเมล็ดให้แห้ง หรือรวบรวมผึ่งเมล็ดให้แห้งก่อนแล้วนำมากะเทาะเปลือกรวมกัน การตากแดดนี้จะช่วยทั้งทำให้การกะเทาะเปลือกง่ายขึ้น อีกทั้งยังป้องกันผลมะเยาหินเน่าเสียด้วย

รูปที่ 4.33 การเก็บเกี่ยวและเก็บรักษาผลมะเยาหิน

4.2.3 การกะเทาะเมล็ดในมะเยาหิน

ผลมะเยาหินหลังจากการเก็บเกี่ยวแล้ว ถ้าหากมีปริมาณน้อยก็จะทำการกะเทาะเอาเมล็ดออก และถ้าหากมีปริมาณมากก็จะรวบรวมและทำการกะเทาะเปลือกทีหลัง ซึ่งการกะเทาะเปลือกเอาเมล็ดในมะเยาหินนั้น จะใช้เหล็กเป็นขอ สำหรับการกะเทาะเอาเปลือกออก และนำเอาเมล็ดข้างในของมะเยาหินออกมา แล้วนำไปผึ่งให้แห้งอีกครั้งเพื่อป้องกันการเน่าของเมล็ด และเป็นการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์



รูปที่ 4.34 ขอเหล็กสำหรับกะเทาะเอาเมล็ดในมะเยาหิน

รูปที่ 4.35 การแกะเอาเมล็ดในมะเยาหินเพื่อทำเมล็ดพันธุ์ / ขาย

การผึ่งเมล็ดในมะเยาหินชั้น

เมล็ดมะเยาหินหลังกะเทาะเปลือก เมล็ดมะเยาหินหลังจากผึ่งให้แห้งแล้ว

รูปที่ 4.36 ลักษณะการผึ่งเมล็ดมะเยาหิน

ส่วนที่ 5 การศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากมะเยาหิน

การศึกษาแนวทางการพัฒนาน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินนั้น ต้องทำการศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะเยาหิน ซึ่งกระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะเยาหิน จะศึกษาถึงกระบวนการสกัดทางกล ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรู และเครื่องสกัดน้ำมันแบบไฮดรอลิค ส่วนอีกวิธีจะใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน (n-Hexane) หรือการสกัดน้ำมันทางเคมี ซึ่งรายละเอียดและผลการสกัดน้ำมันจากมะเยาหิน มีดังต่อไปนี้

5.1 การศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะเยาหินด้วยวิธีการทางกล

5.1.1 ผลการสกัดน้ำมันจากมะเยาหินด้วยเครื่องอัดแบบสกรู

5.1.1.1 ผลการสกัดมะเยาหินที่อุณหภูมิแวดล้อม

ผลการสกัดน้ำมันจากมะเยาหินด้วยใช้วิธีการทางกลด้วยเครื่องสกัดแบบสกรู ที่อุณหภูมิเมล็ดเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในช่วงประมาณ 28-30°C พบว่าเครื่องสกัดแบบสกรูจะให้ปริมาณน้ำมันสูงสุดประมาณ 22.16% โดยน้ำหนัก

5.1.1.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มมะเยาหินต่อปริมาณน้ำมัน

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการบ่มเมล็ดมะเยาหินก่อนนำไปสกัดน้ำมัน โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิอบแห้งมะเยาหิน 60°C, 80°C, 90°C, 100°C และ 120°C ระยะเวลา 30, 60 และ 90 นาที พบว่า การเพิ่มระยะเวลาในการบ่มมะเยาหิน และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ด้วยเครื่องแบบสกรูมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาบ่มผลมะเยาหินระยะเวลา 60 นาที ที่อุณหภูมิการบ่มเมล็ดมะเยาหิน 100°C จะให้ปริมาณน้ำมันสูงสุด 26.20% โดยน้ำหนัก ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะเยาหินด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรู

Time of Drying (min)	Temperature drying (°C)	Sample weight (g)	Crude oil weight (g)	Yield of Oil (%)
-	28	105.66	23.41	22.16
30	60	1000.00	209.30	20.93
	80	1000.00	115.20	11.52
	90	1000.00	125.60	12.56
	100	1000.00	105.30	10.53
	120	1000.00	118.80	11.88
60	60	1000.00	251.00	25.10
	80	1000.00	216.00	21.60
	90	1000.00	255.00	25.50
	100	1000.00	262.00	26.20
	120	1000.00	213.00	21.30
90	60	1000.00	232.00	23.20
	80	1000.00	237.00	23.70
	90	1000.00	212.00	21.20
	100	1000.00	243.00	24.30
	120	1000.00	193.00	19.30

5.1.2 ผลการสกัดน้ำมันจากมะเยาหินด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิค

5.1.2.1 ผลการสกัดมะเยาหินที่อุณหภูมิแวดล้อม

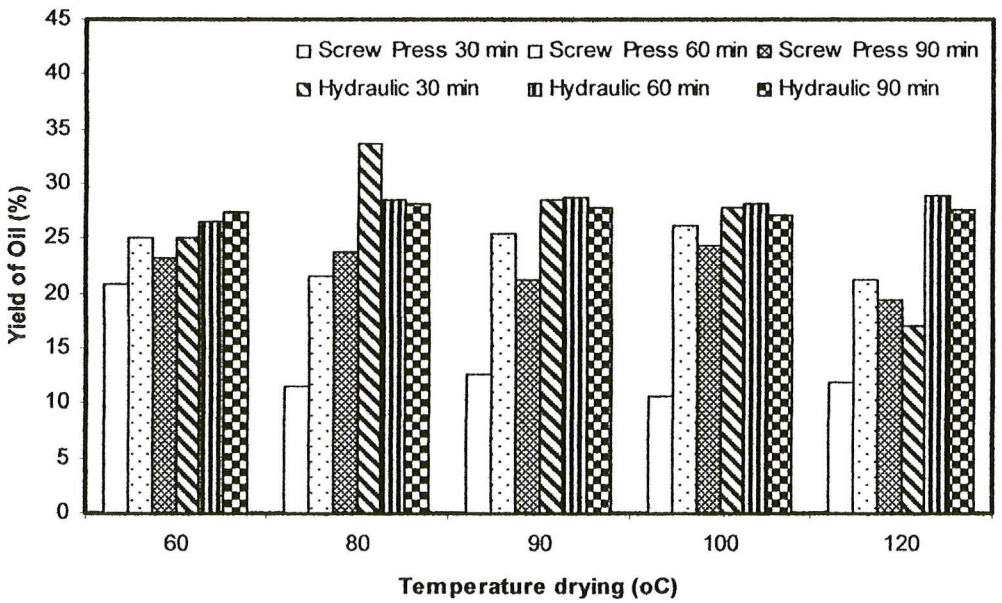
ผลการสกัดน้ำมันจากมะเยาหินด้วยใช้วิธีการทางกลด้วยเครื่องสกัดแบบไฮดรอลิค ที่อุณหภูมิเมล็ดเท่ากับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในช่วงประมาณ 28-30°C พบว่าเครื่องสกัดแบบไฮดรอลิค จะให้ปริมาณน้ำมันสูงสุดประมาณ 17.79% โดยน้ำหนัก

5.1.2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มมะเยาหินต่อปริมาณน้ำมัน

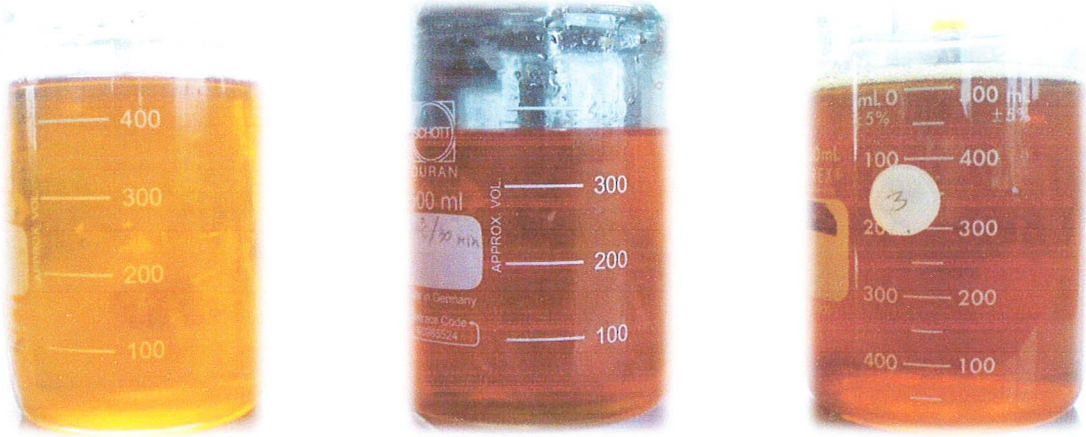
จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการบ่มเมล็ดมะเยาหินก่อนนำไปสกัดน้ำมัน โดยทำการศึกษาที่อุณหภูมิอบแห้งมะเยาหิน 60°C, 80°C, 90°C, 100°C และ 120°C ระยะเวลา 30, 60 และ 90 นาที พบว่าการเพิ่มระยะเวลาในการบ่มมะเยาหิน และอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ด้วยเครื่องไฮดรอลิคมีค่าใกล้เคียงกันในช่วง 25-34% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้สูงสุดจะอยู่ที่อุณหภูมิอบแห้ง 80°C ที่ระยะเวลาการอบ 30 นาที จะให้ปริมาณน้ำมันสูงสุด 33.70% โดยน้ำหนัก ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะเยาหินด้วยเครื่องสกัดน้ำมันแบบไฮดรอลิค

Time of Drying (min)	Temperature drying (°C)	Sample weight (g)	Crude oil weight (g)	Yield of Oil (%)
-	28	100.34	17.85	17.79
30	60	46.18	11.60	25.12
	80	46.11	15.58	33.70
	90	46.77	13.33	28.50
	100	54.38	15.08	27.73
	120	46.62	7.76	17.01
60	60	44.36	11.77	26.53
	80	53.32	15.21	28.53
	90	51.87	14.91	28.75
	100	50.35	14.16	28.13
	120	43.46	12.54	28.85
90	60	45.32	12.46	27.49
	80	47.45	13.38	28.20
	90	42.49	11.79	27.75
	100	45.12	12.25	27.15
	120	49.64	13.74	27.68



รูปที่ 4.37 ผลของการเพิ่มอุณหภูมิบ่มเมล็ดที่ระยะเวลาต่อปริมาณผลผลิตของน้ำมันที่สกัดได้



อุณหภูมิอบแห้ง 28°C (แวดล้อม) อุณหภูมิอบแห้ง 100°C อุณหภูมิอบแห้ง 120°C

รูปที่ 4.38 น้ำมันที่สกัดได้ที่ช่วงอุณหภูมิอบแห้งเมล็ดมะเยาหิน

ดังนั้นสรุปผลลการสกัดน้ำมันด้วยวิธีการทางกลด้วยเครื่องอัดแบบสกรูและแบบไฮดรอลิค พบว่าที่การสกัดด้วยเครื่องสกัดแบบไฮดรอลิคจะให้ปริมาณน้ำมันจากมะเยาหินสูงกว่าเครื่องสกัดแบบสกรูเล็กน้อย ขณะเดียวกันพบว่าการสกัดด้วยเครื่องแบบสกรูจะให้ปริมาณน้ำมันสูงสุด 22.16% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิแวดล้อมเมื่อเทียบกับเครื่องสกัดแบบไฮดรอลิคที่ได้น้ำมัน 17.79% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ทางกลสูงสุดเท่ากับ 33.70% โดยน้ำหนัก เมื่อใช้เครื่องสกัดไฮดรอลิค ที่อุณหภูมิการบ่มเมล็ดมะเยาหิน 80°C ระยะเวลาการบ่ม 30 นาที ส่วนเครื่องสกัดน้ำมันแบบสกรู จะให้ปริมาณน้ำมันสูงสุด 26.20% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิการบ่ม 100°C นาน 60 นาที

5.2 การศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากเมล็ดมะเยาหินด้วยวิธีการทางเคมี

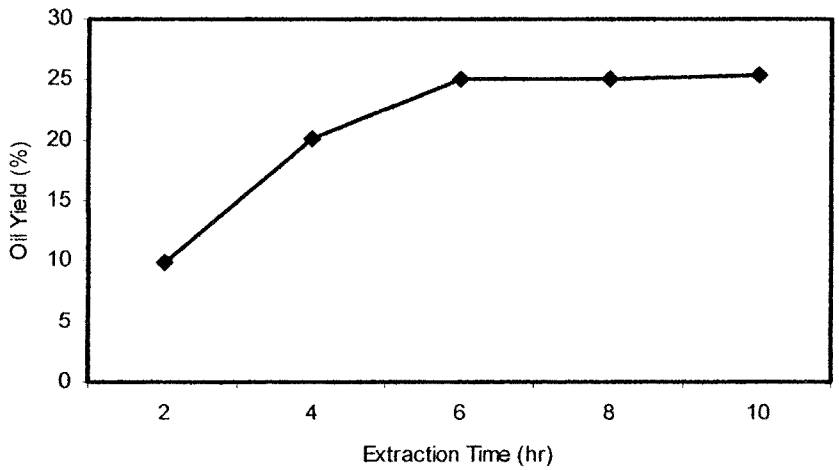
การศึกษาปริมาณน้ำมันมะเยาหินที่มีอยู่ในเมล็ดด้วยวิธีการสกัดทางเคมี โดยใช้ตัวทำละลายในการระเหยน้ำมันจากเมล็ดมะเยาหิน โดยตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดทางเคมี จะใช้ตัวทำละลายเฮกเซน (n-Hexane) ซึ่งการศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันจากมะเยาหินด้วยวิธีการทางเคมี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2.1 อิทธิพลเวลาที่ใช้ในการสกัดน้ำมันต่อปริมาณน้ำมันจากมะเยาหิน

จากการศึกษาการใช้เวลาในการสกัดน้ำมันในช่วง 2-10 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.39 จะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณของน้ำมันเมล็ดมะเยาหินที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนกระทั่งเกือบคงที่ที่เวลา 6 ชั่วโมง ซึ่งปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มีค่าเท่ากับ 24.98% และที่เวลา 8 และ 10 ชั่วโมง น้ำมันที่สกัดได้เท่ากับ 25.12% และ 25.36% ตามลำดับ จะเห็นว่าปริมาณน้ำมันที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นที่ 6 ชั่วโมงขึ้นไปเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดน้ำมัน

ตารางที่ 4.9 ผลผลิตของน้ำมันมะเยาหินที่สกัดในเวลาต่าง ๆ

Extraction time (hr)	Oil Yield (%)
2	9.86
4	20.11
6	24.98
8	25.12
10	25.36



รูปที่ 4.39 ระยะเวลาการสกัดน้ำมันกับปริมาณผลผลิตน้ำมันที่ได้

5.2.2 อิทธิพลของอัตราส่วนน้ำหนักมะเยาหินต่อปริมาณตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมัน

จากการทดสอบการสกัดน้ำมันที่สัดส่วนน้ำหนักเมล็ดมะเยาหินต่อปริมาตรตัวทำละลาย (เฮกเซน) ที่อัตราส่วน 1:6 – 1:12 โดยใช้เวลาในการสกัด 6 ชั่วโมง และอุณหภูมิในการอบ 90 °C พบว่าการใช้ปริมาณตัวทำละลายเฮกเซนที่มากเกินพอ ในอัตราส่วนน้ำหนักตัวอย่างต่อปริมาตรตัวทำละลาย เท่ากับ 1:12 (w/v) ได้ปริมาณน้ำมันสูงสุด เท่ากับ 34.54% มีค่าความเป็นกรด 2.06 mgKOH/mg และมีปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA) เท่ากับ 1.03% ดังรูปที่ 4.40 ทั้งนี้สามารถหาความสัมพันธ์อุณหภูมิในการอบแห้งและระยะเวลาการสกัดที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ ตามสมการที่ 4.1 และรูปที่ 4.3 และสมการที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิการอบแห้งและระยะเวลาการสกัดที่มีผลต่อค่าความเป็นกรดของน้ำมันมะเยาหิน แสดงได้ดังรูปที่ 4.41-4.42

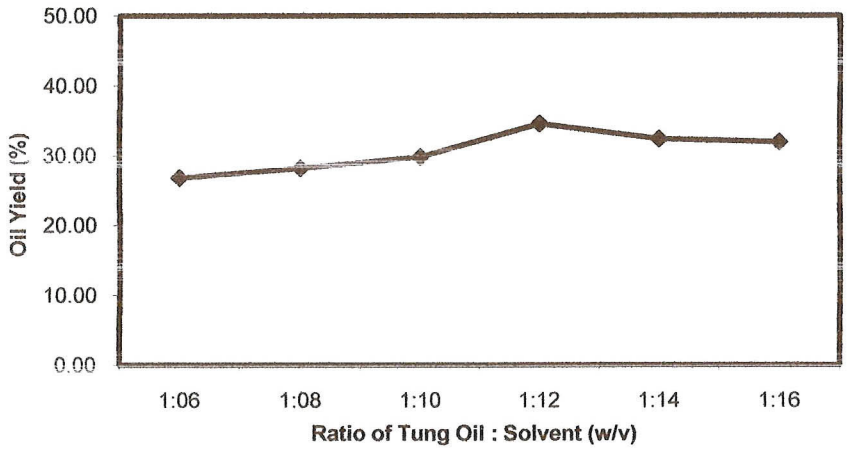
$$\%\ Oil\ Yield = -1.60T_d + 33.53T_E - 0.32T_d^2 + 0.02T_E^2 - 0.24T_dT_E \ ;\ R^2 = 0.9909 \qquad (4.1)$$

$$Acid\ Value = 0.570T_d - 7.14T_E + 0.08T_d^2 - 0.006T_E^2 - 0.06T_dT_E \ ;\ R^2 = 0.9144 \qquad (4.2)$$

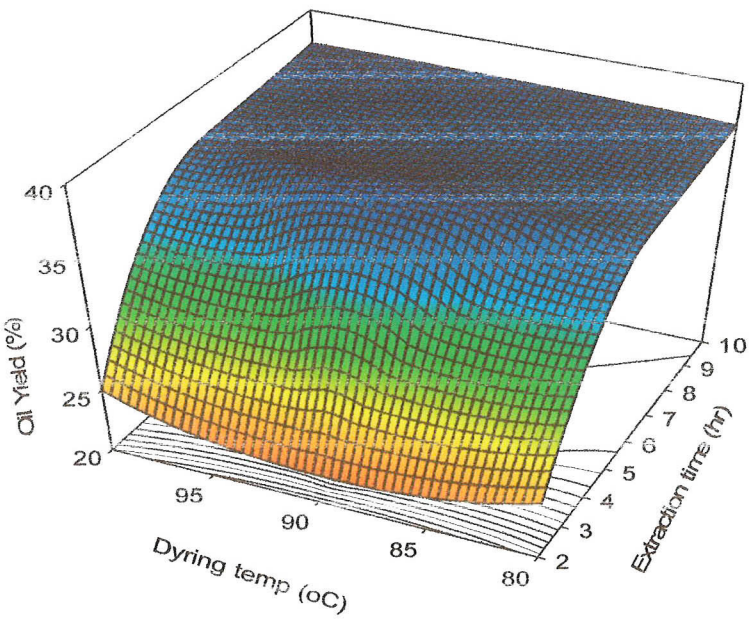
โดย T_E คือช่วงเวลาการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย,ชั่วโมง และ T_E คืออุณหภูมิการอบแห้งมะเยาหิน,เซลเซียส

ตารางที่ 4.10 ผลผลิตที่ได้ในอัตราส่วนต่างๆ ที่ อุณหภูมิในการอบ 105 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

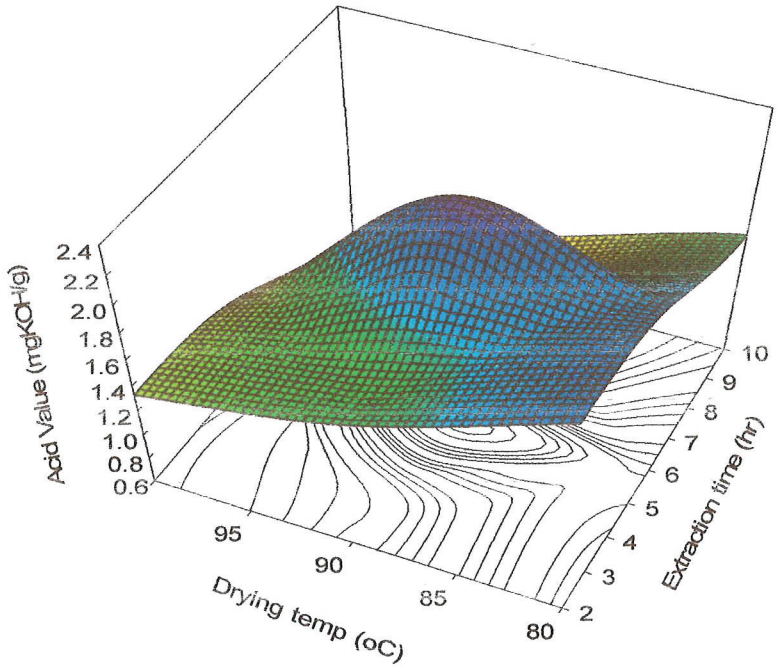
Ratio (w/v)	Solvent Hexane (ml)	Sample Seed (g)	Crude Tung oil (g)	Oil yield %	Acid Value (mgKOH/g)	FFA (%)
1:6	150	25.02	6.71	26.82	1.96	0.98
1:8	200	25.03	7.06	28.21	2.94	1.48
1:10	250	25.00	7.45	29.80	1.47	0.74
1:12	300	25.16	8.69	34.54	2.06	1.03
1:14	350	25.12	8.13	32.36	3.38	1.70
1:16	400	25.13	8.02	31.91	3.23	1.62



รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวอย่างต่อตัวทำละลาย (w/v) กับปริมาณผลผลิตน้ำมันที่ได้



รูปที่ 4.41 กราฟ RSM ของอุณหภูมิในการอบและเวลาในการสกัดที่มีต่อปริมาณน้ำมัน



รูปที่ 4.42 กราฟ RSM ของอุณหภูมิในการอบและเวลาในการสกัดที่มีต่อค่าความเป็นกรด

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน พบว่าจะให้ปริมาณน้ำมันสูงสุด 36.35% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการสกัดน้ำมันไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง และที่อัตราส่วนน้ำหนักมะเยาหินต่อปริมาตรตัวทำลาย 1:12 (w/v) โดยมีค่าความเป็นกรด (Acid Value; AV) เท่ากับ 2.06 mgKOH/g และปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA) เท่ากับ 1.03% ซึ่งคุณภาพน้ำมันมะเยาหินที่ทำการทดสอบในโครงการวิจัยนี้เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการส่งออกน้ำมันมะเยาหินของประเทศจีนที่กำหนดให้ค่าความเป็นกรด (AV.) ต่ำกว่า <5 mgKOH/g พบว่าน้ำมันที่สกัดได้ยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานการส่งออกของประเทศจีน

ส่วนที่ 6 การศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน

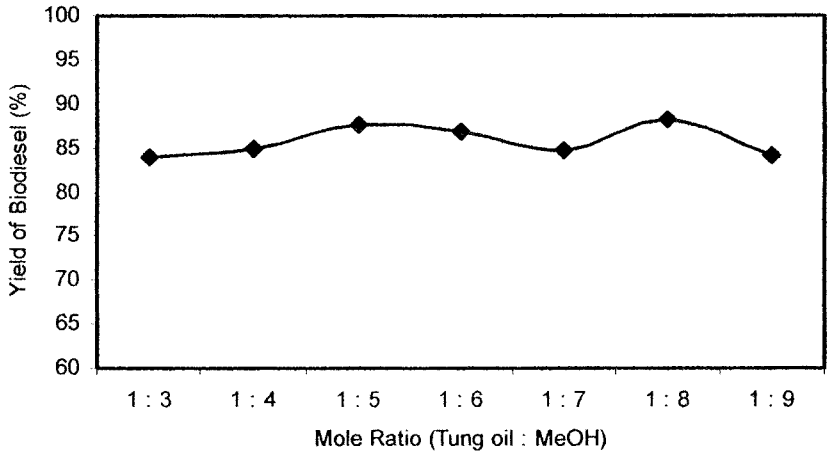
มะเยาหินจากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีเบื้องต้นพบว่ามีความหนืดสูงกว่าสบู่ดำประมาณเท่าตัว ดังนั้นการใช้ในรูปของน้ำมันดิบอาจส่งผลกระทบต่อเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้กระบวนการทางเคมีเพื่อลดความหนืด รวมถึงการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ ของน้ำมันที่ผลิตได้ ซึ่งในโครงการจะศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหินด้วยเทคนิคกระบวนการร่วมอัลตราโซนิคกับไมโครเวฟ และเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตแบบอื่น ๆ ซึ่ง การประยุกต์ใช้เทคนิคคลื่นความถี่โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคในการผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันจะช่วยในการกระจายตัว การแตกโครงการของเซลล์ การเร่งปฏิกิริยาเคมี และลดการเกาะกลุ่มของอนุภาค ขณะเดียวกันการใช้ไมโครเวฟจะช่วยในทำปฏิกิริยาโดยจะเกิดการสั่นภายในโมเลกุลจนทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งความร้อนจะทำหน้าที่ในการเร่งการเกิดปฏิกิริยาและทำให้พันธะเคมีแตกตัว ทำให้ปฏิกิริยาเสร็จสมบูรณ์ภายในระยะเวลาอันสั้น แทนที่จะทำแบบกระบวนการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม จากเหตุผลดังกล่าวจึงนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิคร่วมกับไมโครเวฟ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1 การศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยเทคนิคไมโครเวฟและอัลตราโซนิค

การผลิตไบโอดีเซลกระบวนการร่วมอัลตราโซนิคกับไมโครเวฟ จากน้ำมันมะเยาหิน ในขั้นต้นจะทำการศึกษาผลของอัตราส่วนโดยโมลของน้ำหนักน้ำมันมะเยาหินต่อเมทานอล (Oil:MeOH) ที่เหมาะสมก่อน หลังจากนั้นจะทำการศึกษาร้อยละน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมของกระบวนการอัลตราโซนิคและไมโครเวฟ ดังมีผลการศึกษาต่อไปนี้

6.1.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของน้ำหนักน้ำมันต่อเมทานอลที่เหมาะสม

จากการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของน้ำหนักน้ำมันมะเยาหินต่อเมทานอลที่สัดส่วน 1:3 1:4 1:5 1:6 1:7 1:8 และ 1:9 โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมคลอไรด์ 1.25%โดยน้ำหนัก และใช้คลื่นอัลตราโซนิคขนาดกำลังไฟฟ้า 50W เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นใช้คลื่นไมโครเวฟทำปฏิกิริยาผสมและให้ความร้อนแก่น้ำมันไบโอดีเซลที่กำลังไฟฟ้า 240 W เป็นเวลา 5 นาที พบว่าเมื่อใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเพิ่มขึ้น ปริมาผลผลิตของไบโอดีเซลจากมะเยาหินมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงอัตราส่วน 1:4 – 1:5 หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มลดลงที่ 1:6 – 1:7 ทั้งนี้อัตราส่วนน้ำมันโดยโมลที่ทำให้ปฏิกิริยารานเอสเทอริฟิเคชั่นได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นเมทิลเอสเทอร์สูงสุด 88.21%โดยน้ำหนัก ต้องใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1:8 โดยมีค่าความเป็นกรดสูงเล็กน้อย (ASTM D664, <0.5 mgKOH/g) เท่ากับ 0.55 mgKOH/g ดังรูปที่ 4.43 และตารางผลการทดสอบที่ 4.11



รูปที่ 4.43 อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันมะเยาหินต่อเมทานอล

ตารางที่ 4.11 อัตราส่วนโดยโมลของน้ำหนักน้ำมันต่อเมทานอลที่เหมาะสม

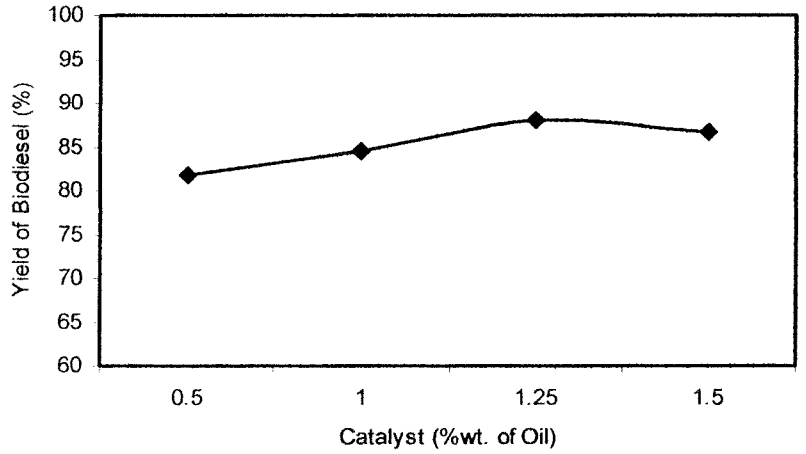
Mole Ratio (Oil : MeOH)	Catalytic of KOH (%)	Tung Oil (g)	Biodiesel (g)	Glycerin (g)	%Yield	Acid Value (mgKOH/g)	%FFA
1:3	1.25	92.70	78.12	12.66	83.89	0.37	0.20
1:4	1.25	88.11	75.14	19.27	84.89	0.40	0.21
1:5	1.25	89.05	77.92	20.81	87.63	0.37	0.20
1:6	1.25	90.78	79.15	19.00	86.90	0.38	0.21
1:7	1.25	89.11	75.91	18.72	84.79	0.37	0.20
1:8	1.25	88.13	78.10	19.65	88.21	0.55	0.30
1:9	1.25	88.57	74.89	15.88	84.18	0.37	0.20

6.1.2 ผลการศึกษาร้อยละน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม

น้ำมันจากมะเยาหินที่สกัดได้ทางกลและทางเคมี พบว่ามีค่าความเป็นกรดค่อนข้างสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.5 mgKOH/g สำหรับน้ำมันกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 3-4 mgKOH/g จึงไม่สามารถนำไปใช้งานโดยตรงกับเครื่องยนต์ได้ ดังนั้นจึงควรนำมาลดค่าความเป็นกรดดังกล่าวก่อน ด้วยการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่น โดยเลือกใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากรูปที่ 4.43 ได้ทำการศึกษาร้อยละของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในช่วง 0.50 – 1.50% โดยน้ำหนัก โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักน้ำมันต่อเมทานอลที่เหมาะสม 1:8 พบว่าร้อยละของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มที่ให้ผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น โดยที่ร้อยละน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียม 1.25% โดยน้ำหนัก จะให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด 88.06% โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ส่วน

คุณสมบัติด้านค่าความเป็นกรดของน้ำมันไบโอดีเซลพบว่ามีค่าลดลงจากน้ำมันมะเยาหินที่สกัดได้โดยมีค่าเท่ากับ 0.37 mgKOH/g

ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงเลือกร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 1.25% โดยน้ำหนักของน้ำมัน เพื่อศึกษาสภาวะของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการร่วมอัลตราโซนิคและไมโครเวฟ



รูปที่ 4.44 อัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมคลอไรด์ (%wt)

ตารางที่ 4.12 ร้อยละโดยน้ำหนักของตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่เหมาะสม

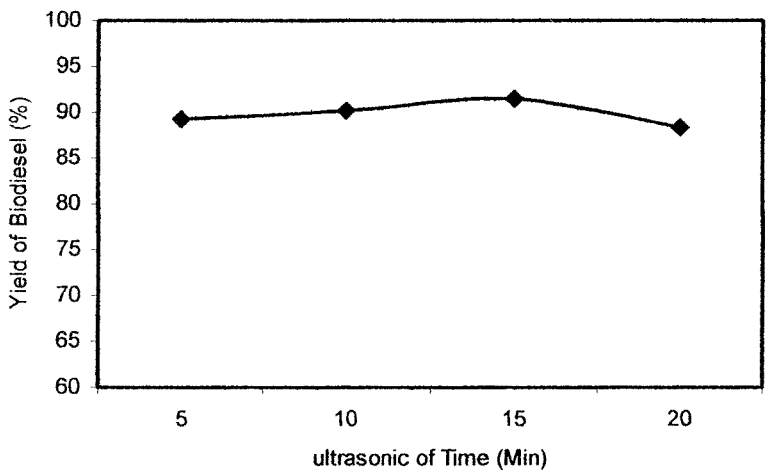
Mole Ratio (Oil : MeOH)	Catalytic of KOH (%)	Tung Oil (g)	Biodiesel (g)	Glycerin (g)	%Yield	Acid Value (mgKOH/g)	%FFA
1:8	0.50	88.78	72.84	18.70	81.67	0.37	0.2
1:8	1.00	89.56	76.11	19.43	84.59	0.37	0.2
1:8	1.25	88.40	78.20	24.60	88.06	0.37	0.2
1:8	1.50	88.37	76.96	25.79	86.69	0.37	0.2

6.1.3 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการอัลตราโซนิคร่วมกับไมโครเวฟ

การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหินด้วยกระบวนการร่วมอัลตราโซนิคกับไมโครเวฟจะทำการศึกษาโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคขนาดกำลังไฟฟ้า 50 W ที่คลื่นความถี่อัลตราโซนิค 28 kHz และใช้ไมโครเวฟขนาดกำลังไฟฟ้า 240W ที่อุณหภูมิการให้ความร้อนของน้ำมันไม่เกิน 60°C ซึ่งจะทำการศึกษาระยะเวลาของการให้คลื่นอัลตราโซนิคและไมโครเวฟที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากมะเยาหินที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลเท่ากับ 1:8 และตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1.25% โดยน้ำหนัก

6.1.3.1 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นของกระบวนการร่วม

การศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นของคลื่นอัตราโซนิคในช่วง 5 10 15 และ 20 นาที พบว่ากำลังของอัลตราโซนิค 50W ความถี่ของคลื่น 28 kHz และใช้กำลังไมโครเวฟกำลังไฟฟ้าคงที่เท่ากับ 240 W ทำปฏิกิริยานาน 1 นาที ในการทำปฏิกิริยาร่วม จากผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นของน้ำมันโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิคเพิ่มขึ้น จะให้ปริมาณผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 88.36 – 91.57% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ผลของการผสมสารเคมีในการทำปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ที่สุดของคลื่นอัลตราโซนิคขนาด 28 kHz จะต้องใช้ระยะเวลาในการผสมเท่ากับ 15 นาที ซึ่งจะให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดเท่ากับ 91.57% โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.45 และตารางที่ 4.13

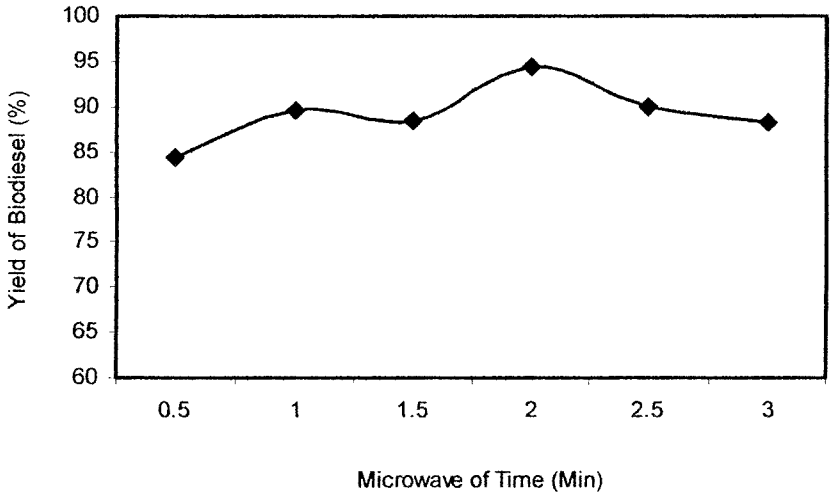


Ultrasonic 28 kHz / Microwave 240 W Temp. 60 °C Time 1 Min.

รูปที่ 4.45 ความสัมพันธ์ของเวลาทำปฏิกิริยาคลื่นอัลตราโซนิคต่อปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล

ภายหลังจากได้ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการใช้คลื่นอัลตราโซนิคทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นแล้ว ก็จะทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการใช้คลื่นไมโครเวฟในการให้ความร้อนและผสมสารเคมีที่ระยะเวลาในช่วง 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 นาที จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาของคลื่นไมโครเวฟเพิ่มมากขึ้นแนวโน้มปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจะเพิ่มขึ้น โดยอยู่ในช่วง 89.15 – 96.68% โดยน้ำหนัก โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงระยะเวลาการทำปฏิกิริยาในช่วง 1.5 – 2 นาที และมีแนวโน้มลดลงในช่วงหลังจาก 2.5 – 3 นาที อย่างไรก็ตามที่เวลาการทำปฏิกิริยาของคลื่น

ไมโครเวฟเท่ากับ 2 นาที จะให้ปริมาณผลผลิตของน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินสูงสุด 94.45% โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.46 และตารางสรุปผลการทดสอบที่ 4.13-4.14



Ultrasonic 28 kHz Time 15 Min, / Microwave 240 W Temp. 60 °C

รูปที่ 4.46 ความสัมพันธ์ของเวลาทำปฏิกิริยาคลื่นไมโครเวฟต่อปริมาณผลผลิตไบโอดีเซล

ตารางที่ 4.13 ระยะเวลาการใช้อัลตราโซนิค (Ultrasonic) ทำการปฏิกิริยาที่เหมาะสม

Mole Ratio	Catalytic of KOH	Ultrasonic		Microwave		Tung Oil	Biodiesel	Glycerin	%Yield
(Oil : MeOH)	(%)	Power (W)	Time (Min)	Power (W)	Time (Min)	(g)	(g)	(g)	
1:8	1.25	50	5	240	1	88.63	79.58	13.49	89.22
1:8	1.25	50	10	240	1	88.51	80.25	14.38	90.25
1:8	1.25	50	15	240	1	88.52	81.43	14.53	91.57
1:8	1.25	50	20	240	1	88.40	78.46	13. 43	88.36

ตารางที่ 4.14 ระยะเวลาการใช้ไมโครเวฟ (Microwave) ทำการปฏิกิริยาที่เหมาะสม

Mole Ratio	Catalytic of KOH	Ultrasonic		Microwave		Tung Oil	Biodiesel	Glycerin	%Yield
(Oil : MeOH)	(%)	Power (W)	Time (Min)	Power (W)	Time (Min)	(g)	(g)	(g)	
1:8	1.25	50	15	240	0.50	88.52	75.03	13.04	84.38
1:8	1.25	50	15	240	1.00	88.59	79.65	12.45	89.50
1:8	1.25	50	15	240	1.50	88.68	78.82	12.40	88.48
1:8	1.25	50	15	240	2.00	88.58	84.05	14.71	94.45
1:8	1.25	50	15	240	2.50	88.47	80.01	14.35	90.02
1:8	1.25	50	15	240	3.00	88.62	78.59	12.12	88.25

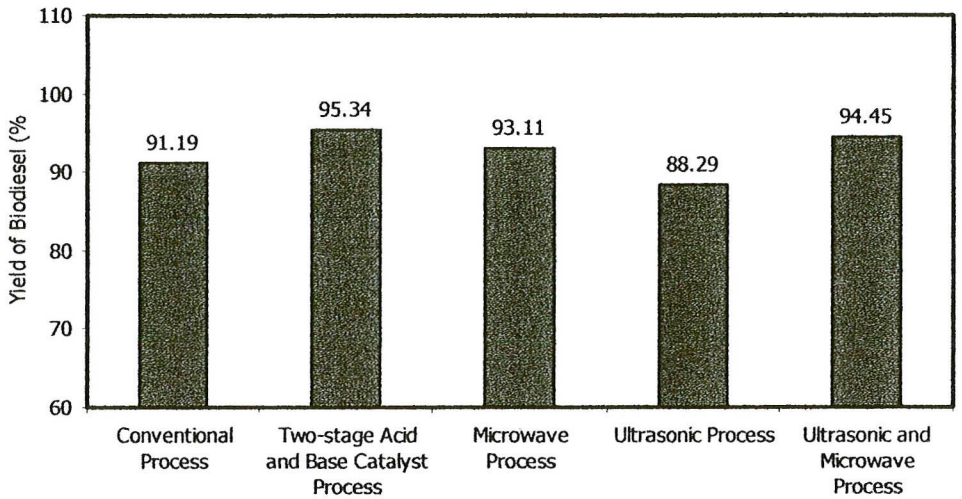
ตารางที่ 4.15 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากมะเยาหิน

Production of Biodiesel with Tung Oil	Ratio of Mole	Catalytic (%)		Ultrasonic		Microwave		Yield of Biodiesel
	Oil : MeOH	KOH	H2SO4	Power (W)	Time (Min)	Power (W)	Time (Min)	(%)
Conventional Process	1:08	1.25	-	-	-	-	-	91.19
Two-stage Acid and Base Catalyst Process	1:06	1.25	0.75	-	-	-	-	85.08
Two-stage Acid and Base Catalyst Process	1:08	1.25	0.75	-	-	-	-	95.34
Microwave Process	1:08	1.25	-	-	-	240	5	93.11
Ultrasonic Process	1:08	1.25	-	50	15	-	-	88.29
Ultrasonic and Microwave Process	1:08	1.25	-	50	15	240	2	92.48

หมายเหตุ ข้อมูลได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ, ศูนย์วิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

6.2 ผลการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการแบบดั้งเดิม แบบสองขั้นตอน แบบแยกส่วน (อัลตราโซนิคและไมโครเวฟ) และกระบวนการร่วมอัลตราโซนิค/ไมโครเวฟ

การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินของแต่ละกระบวนการ โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอล เท่ากับ 1:8 และอัตราส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.25% โดยน้ำหนัก พบว่ากระบวนการที่ให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดคือกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชั่นแบบสองขั้นตอน (Two-stage Acid and Base Catalytic Process) เท่ากับ 95.34% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เป็นเพราะว่ากระบวนการดังกล่าวจะเหมาะสำหรับน้ำมันที่เก็บไว้นาน และเป็นน้ำมันที่งานวิจัยนี้ใช้เป็นตัวอย่างในการทดสอบ ส่วนกระบวนการผลิตแบบใช้คลื่นอัลตราโซนิคอย่างเดียวจะให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลต่ำสุดเท่ากับ 88.29% โดยน้ำหนัก ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Do Van Manh and et al. (2011) ที่ทำการศึกษาการใช้อัลตราโซนิคกำลัง 25 kHz 270W โดยได้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลเท่ากับ 91.15% โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามถ้าเพิ่มกำลังอัลตราโซนิคในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นแนวโน้มปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลคาดว่าน่าจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากว่าจะทำให้เพิ่มระยะเวลาการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นมากขึ้น ส่วนกระบวนการผลิตโดยใช้ไมโครเวฟพบว่า ให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดเท่ากับ 93.11% โดยน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากว่าไมโครเวฟที่ทำการศึกษานั้นนอกจากจะให้ความร้อนแล้วยังมีการกวนผสมพร้อมกันด้วย จึงส่งผลทำให้การเกิดปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชั่นสมบูรณ์มากขึ้น ส่วนกระบวนการร่วมอัลตราโซนิคและไมโครเวฟ พบว่าให้ปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดเท่ากับ 94.45% โดยน้ำหนัก โดยมีค่าใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตแบบสองขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 การเปรียบเทียบปริมาณผลผลิตไบโอดีเซลจากมะเยาหินของแต่ละกระบวนการผลิต

ส่วนที่ 7 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ และการเกิดพิษจากมะเยาหิน

ในส่วนของการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ และการเกิดพิษจากมะเยาหิน ได้ทำการศึกษาโดยเก็บตัวอย่างน้ำมันที่สกัดได้จากมะเยาหิน และน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน ไปทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ นอกจากนั้นยังทำการศึกษาในส่วนของการเกิดพิษของมะเยาหิน ได้แก่สารเฟอร์บอลเอสเทอร์ในส่วนประกอบต่าง ๆ ของมะเยาหิน ในห้องปฏิบัติการทางเคมี ด้วยใช้เทคนิค HPLC ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกันที่ใช้ทดสอบสารฟอร์บอลเอสเทอร์ของสบู่ดำ ซึ่งผลการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้

7.1 คุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของน้ำมันมะเยาหิน

7.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันมะเยาหิน

การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันมะเยาหินที่ผลิตได้ พบว่าน้ำมันมะเยาหินมีค่าความร้อนสูง ประมาณ 40.73 MJ/kg ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล และมีความหนืด ที่อุณหภูมิ 40 $^{\circ}$C มีค่าเท่ากับ 87.06 เซนติสโตก (cSt) ซึ่งมีความหนืดที่สูงกว่าสบู่ดำ ดังนั้นจำเป็นต้องลดค่าความหนืดของน้ำมันก่อนไปใช้งาน โดยแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์น้ำมันไบโอดีเซลก่อนใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล และคุณสมบัติอื่น ๆ ของน้ำมันมะเยาหินแสดงได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันมะเยาหินและน้ำมันจากสบู่ดำ

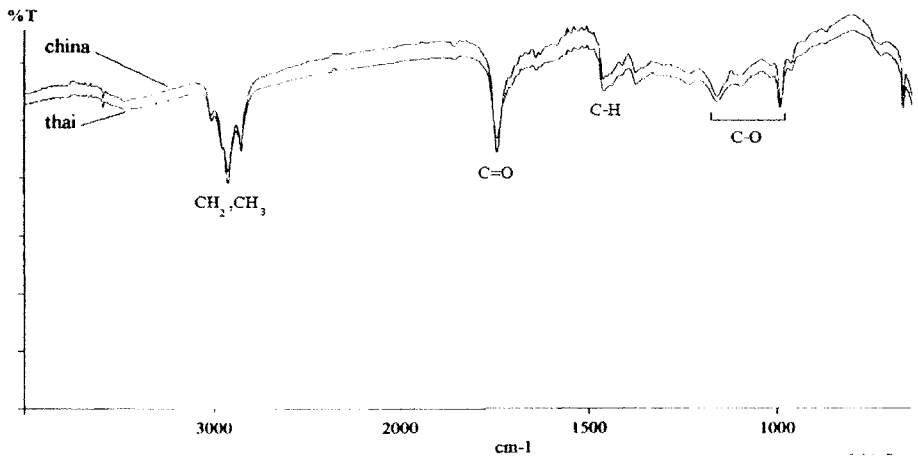
Properties	Tung oil	Jatropha oil	Method
Viscosity @ 40 $^{\circ}$C (cSt)	87.06	50.0	ASTM D445
Density @ 15 $^{\circ}$C (kg/m^3)	938.7	913.6	ASTM D4052
Pour point ($^{\circ}$C)	-29	-	ASTM D97
Flash point ($^{\circ}$C)	252	-	ASTM D93
Sulfur (ppm by wt.)	8.97	-	ASTM D2622
Heating Value (MJ/kg)	40.73	38.2	ASTM D240
Acid Value (mgKOH/g)	3.82	4.80	ASTM D664
Ash (% wt.)	0.03	-	ASTM D482
Refractive index @ 25°C	-	1.4670	-
Saponification	-	197.13	-
Iondine value (Wijs)	-	97.08	-
Water& Volatile matter @105°C (%)	-	0.107	-

7.1.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันมะเยาหิน

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ด้วยการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันมะเยาหินที่ผลิตได้เปรียบเทียบกับน้ำมันมะเยาหินที่นำเข้าจากประเทศจีน (Tung oil, Gemon) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี พบว่า น้ำมันมะเยาหินทั้งสองมีหมู่ฟังก์ชันสอดคล้องกัน ซึ่งตอบสนองความถี่ของคลื่นอินฟราเรดในช่วง 2850-2950 cm^{-1} (CH_2, CH_3 stretching), 1735 cm^{-1} (C=O stretching) และ 1160-1195 cm^{-1} (C-O stretching) ดังตาราง 4.17 และรูปที่ 4.48 แสดงว่าเป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกเอสเทอร์ของกรดไขมัน

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันมะเยาหิน

Wave number (cm^{-1})	Functional group
2850-2950	CH_2, CH_3 stretching
1735	C=O stretching
1490-1495	C-H bending
1160-1195	C-O stretching



รูปที่ 4.48 FT-IR spectra ของน้ำมันมะเยาหินที่สกัดได้เปรียบเทียบกับน้ำมันมะเยาหินที่นำเข้าจากประเทศจีน

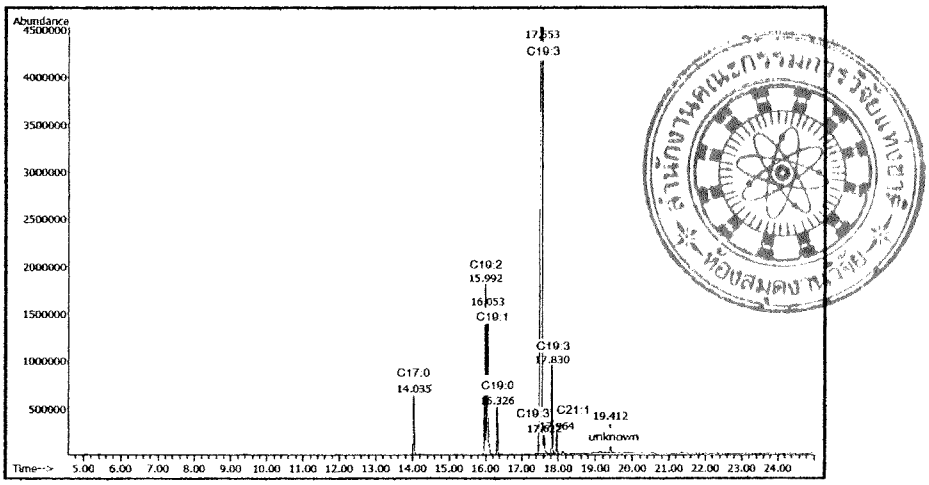
7.2 คุณสมบัติทางเคมี และทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน

7.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน ด้วยเทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟีแมสสเปกโทรเมทรี โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจากโครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน พบว่า พีคของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันจะเริ่มตั้งแต่เวลา (Retention time; t_R) 14.035-17.964 นาที และมีพีคที่มีพื้นที่ใต้กราฟสูงที่สุดที่เวลา t_R เท่ากับ 17.553 นาที โดยพบว่าพีคตัวอย่างทั้งหมดของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน มีค่าความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ 98.83% ซึ่งชนิดของเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันสามารถระบุชนิดของกรดไขมันที่มีอยู่ในน้ำมันตั้งต้นได้ น้ำมันมะเยาหินที่รวบรวมได้จากพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว จำพวก 9,11,13-Octadecatrienoic acid หรือ α-Eleostearic acid เท่ากับ 74.97% มีกรดไขมันชนิดอื่น เท่ากับ 22.95% และสารประกอบอินทรีย์ชนิดอื่น เท่ากับ 1.17% ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 องค์ประกอบของกรดไขมันที่มีอยู่ในไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน

t_R	Structure	Common name	Carbon	Percent (%)
14.03	Hexadecanoic acid, methyl ester	Palmatic acid	C17:0	2.79
15.99	10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester	Linoleic acid	C19:2	9.17
16.05	6-Octadecenoic acid, methyl ester	Petroselinic acid	C19:1	8.52
16.32	Octadecanoic acid, methyl ester	Stearic acid	C19:0	2.47
17.55	9,11,13-Octadecatrienoic acid, methyl ester	α-eleostearic acid	C19:3	70.39
17.62	9,11,13-Octadecatrienoic acid, methyl ester	α-eleostearic acid	C19:3	1.18
17.83	9,11,13-Octadecatrienoic acid, methyl ester	α-eleostearic acid	C19:3	3.40
17.90	11-Eicosenoic acid, methyl ester	Gadoleic acid	C21:1	0.91
19.41	1,2-Benzenedicarboxylic acid	-	unknown	1.17



รูปที่ 4.49 โครมาโทแกรมของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหินจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC-MS

จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม MS Data Analysis ที่เวลา t_R เท่ากับ 17.553 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.49 พบว่า สารตัวอย่างมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 292.4 m/z ซึ่งเป็นแมสสเปกตรัมของเมทิลเอสเทอร์ของกรดอีลีโอสเตียริค (Eleostearic acid methyl ester) เมื่อเปรียบเทียบกับแมสสเปกตรัมมาตรฐานจากฐานข้อมูล Wiley275 และ W8N05ST โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคล้าย 99% โดยที่สัดส่วนของ m/z จะเพิ่มขึ้นและแตกต่างจากกรดไขมันที่มีสายโซ่คาร์บอน C19:3 ชนิดอื่นๆ (เช่น Linolenic acid methyl ester) ที่ตำแหน่ง 91* m/z ทั้งนี้จากข้อมูลการตรวจสอบพบว่ามีค่าความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลจากมะเยาหินมีค่า FAME (Fatty acid Methy ester) เท่ากับ 98.83%

7.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน จากการผลิตแบบดั้งเดิมและแบบ 2 ขั้นตอน ตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร (ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 พบว่า ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน มีค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับไบโอดีเซลชุมชนและไบโอดีเซลจากสบู่ดำ แต่ทั้งนี้จะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย โดยมีค่าความเป็นกรดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ จุดวาบไฟ และค่าความหนืดมีค่าสูงกว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำและไบโอดีเซลชุมชน แต่มีคุณสมบัติที่ดีเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งสังเกตจากจุดเทไหลที่มีค่าต่ำ เท่ากับ -15°C และ -19°C นอกจากนั้น น้ำมันมะเยาหินสามารถผลิตเป็นไบโอดีเซลที่มีความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์อยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่า 98% อีกทั้งยังมีข้อดีในส่วนของปริมาณเถ้าของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหินมีค่าต่ำ ประมาณ 0.01 %wt. ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน

Properties	Value of Biodiesel / diesel					
	Tung Oil	Jatropha	Biodiesel	Diesel	Standard	Method
Viscosity @ 40 °C (cSt)	7.86	4.23	4.48	2.87	3.5<x>5.0	ASTM D445
Flash point (°C)	196	148	171	76	>120	ASTM D93
Pour point (°C)	-15	4.2	4.75	3.1	<10	ASTM D97
Copper Strip	1b	-	-	-	Number 1	ASTM D130
Acid Value (mg KOH/g)	0.43	0.29	0.20	-	<0.50	ASTM D664
Specific Gravity @ 25°C	0.895	0.881	0.857	0.845	<0.88	Hydrometer
Methyl ester (%wt)	98.83	-	99.07	-	-	GC-MS
Heating Value (MJ/kg)	42.33	42.67	38.85	46.80	-	ASTM D240
Ash (% wt.)	0.0097	-	-	-	Max 0.02	ASTM D482

7.3 องค์ประกอบทางเคมีด้านชีวมวลของต้นมะเยาหิน

การศึกษาชีวมวลของการปลูกมะเยาหินนั้น จะทำการศึกษาในด้านการนำเอาเปลือกของผลมะเยาหิน และกิ่งไม้ที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งของต้นมะเยาหิน โดยสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในเตาเผาชีวมวล หรือการนำกิ่งไม้ เศษไม้ มาทำเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง ทั้งนี้จึงได้นำตัวอย่างของเปลือกผลมะเยาหิน และกิ่งไม้ ตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีในด้านค่าความร้อนของเปลือกมะเยาหินและไม้จากการตัดแต่งของต้นมะเยาหิน โดยทำการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate Analysis) และแบบละเอียด (Ultimate Analysis)

ตารางที่ 4.20 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกและกิ่งไม้จากต้นมะเยาหิน

คุณสมบัติ	องค์ประกอบ (%)	
	เปลือกผลมะเยาหิน	กิ่งไม้จากการตัดแต่งมะเยาหิน
Proximate Analysis		
Moisture	12.43	6.43
Volatile	21.88	20.26
Fixed Carbon	49.68	68.29
Ash	16.01	5.02
Ultimate Analysis		
Carbon, C	37.42	43.54
Hydrogen, H	4.32	5.80
Nitrogen, N	2.71	0.86
Oxygen, O	25.73	36.86
Sulphur, S	1.38	1.49
High Heating Value, kJ/kg	14,545	15,922
Air-fuel ratio (kg_{da}/kg_f)	5.28	5.48

หมายเหตุ : ตัวอย่างทดสอบ ศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณ (Proximate Analysis) และองค์ประกอบโดยละเอียด (Ultimate Analysis) ของชีวมวลจากมะเยาหินได้แก่ เปลือกมะเยาหิน และกิ่งไม้ที่ได้จากการตัดแต่งมะเยาหิน พบว่าที่ความชื้นเชื้อเพลิง 12.43% และ 6.43% มีปริมาณไฮโดรเจน คาร์บอน ไนโตรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน อยู่ในช่วง 4.32%,5.80% 37.42%,43.54% 2.71%,0.86% 25.73%,36.86% และ 1.38%,1.49% โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยส่วนที่ให้พลังงานความร้อนเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนคือ ไฮโดรเจน คาร์บอน และซัลเฟอร์ โดยปริมาณความร้อนที่ได้จากการทำปฏิกิริยาต่อเชื้อเพลิง 1 kg ประมาณ 34,200 kcal/kg, 8,080 kcal/kg และ 2,500 kcal/kg ตามลำดับ แต่เนื่องจากในชีวมวลจะมีออกซิเจนประกอบอยู่ด้วย ซึ่งออกซิเจนในส่วนนี้จะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเกิดเป็นน้ำที่แฝงอยู่ในชีวมวลนอกเหนือจากความชื้นโดยทั่วไป ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนในการทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอประมาณ 28,800 kcal/kg ส่วนค่าความร้อน

(Heating Value) ของเปลือกมะเยาหิน และกิ่งไม้จากต้นมะเยาหิน พบว่ามีค่าความร้อนเท่ากับ 14,545 kJ/kg และ 15,922 kJ/kg ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนของไม้ลำไย ที่ความชื้น 15% โดยมีค่าความร้อน 15,670 kJ/kg และไม้มะม่วง เท่ากับ 15,880 kJ/kg อย่างไรก็ตามจากค่าองค์ประกอบโดยละเอียดที่ทำการวิเคราะห์ได้ สามารถนำมาคำนวณอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในการเผาไหม้สมบูรณ์ของเปลือกมะเยาหิน และกิ่งไม้จากการตัดแต่ง พบว่าต้องใช้ปริมาณอากาศในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในอัตราส่วนเท่ากับ 5.28 kg_{da}/kg_f และ 5.48 kg_{da}/kg_f ตามลำดับ

7.4 องค์ประกอบด้านสารพิษจากมะเยาหิน

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาปริมาณสารพิษของมะเยาหิน โดยจะทำการเก็บส่วนประกอบต่าง ๆ ของต้นมะเยาหิน ได้แก่ เปลือกเมล็ด เนื้อเมล็ด น้ำมัน กาก เนื้อไม้ เปลือกผล เปลือกลำต้น ไปทดสอบองค์ประกอบทางเคมีเพื่อศึกษาปริมาณสารพิษจำพวก สารฟอร์บอลเอสเทอร์ (Phorbol Esters) ในห้องปฏิบัติการทางเคมี ด้วยใช้เทคนิค HPLC ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการทดสอบสารพิษของสบู่ดำ (Waled Abdo Ahmed and Jumat Salimon, 2009)

7.4.1 การศึกษาปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์และพิษวิทยาของมะเยาหิน

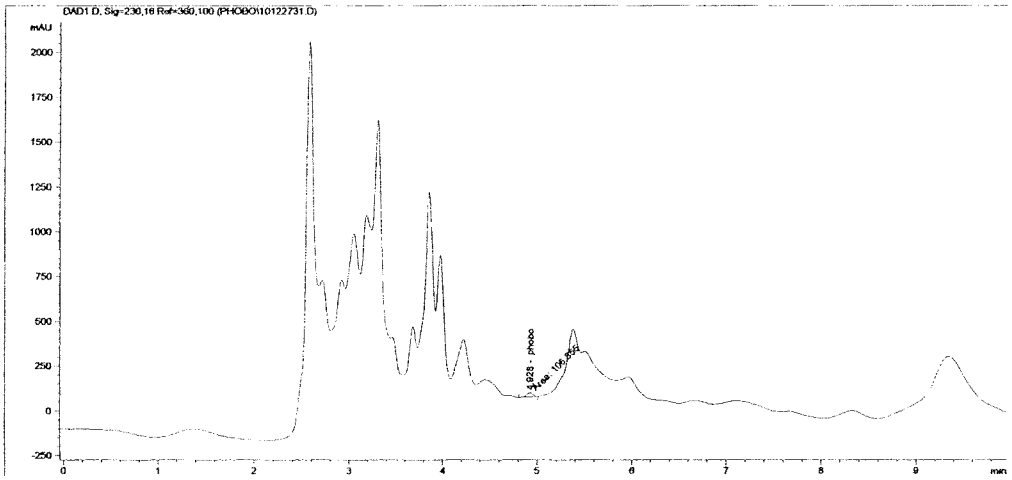
มะเยาหินเป็นพืชที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในทุกๆ ส่วน เช่นเดียวกับสบู่ดำและพืชพลังงานอื่นๆ ทั้งลำต้น กิ่ง ใบ เปลือกผล เปลือกไม้ และกากที่ได้จากการหีบสกัด ซึ่งสารฟอร์บอลเอสเทอร์เป็นสารพิษชนิดที่ทำให้เกิดอันตรายในระยะเวลาการสัมผัสอันสั้น อันตรายของสารฟอร์บอลเอสเทอร์คือทำให้เกิดการอักเสบ การบวมของผิวหนัง รวมทั้งเป็นสารเร่งให้เกิดโรคมะเร็งผิวหนัง (cocarcinogen) วิทยาและคณะ (2551) ซึ่งจากการเก็บตัวอย่างของมะเยาหินไปวิเคราะห์สารฟอร์บอลเอสเทอร์ โดยส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพ และสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ประกอบอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของมะเยาหิน

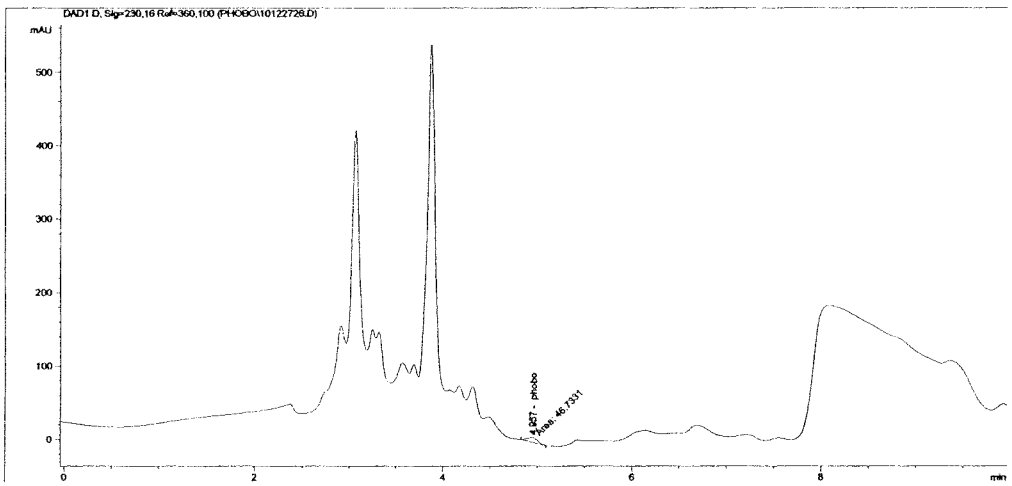
ส่วนต่าง ๆ	ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ (mg g^{-1})	
	มะเยาหิน[1]	สบู่ดำ[2]
เปลือกเมล็ด	1.2370	0.3573
เนื้อเมล็ด	0.0028	3.6524
น้ำมันดิบ (สกัด)	0.0240	4.5084
น้ำมันดิบ (ซื้อจากประเทศจีน)	0.0048	-
กาก	0.0000	1.0326
เนื้อไม้	0.1864	0.9730
เปลือกผล	0.0000	0.7688
เปลือกลำต้น/ไม้	0.0000	2.4449
ใบ	0.0000	0.8785

หมายเหตุ : [1] ห้องปฏิบัติการทางเคมี ศูนย์เทคโนโลยีชีวภาพ และสถาบันบริการตรวจสอบคุณภาพ และมาตรฐานผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
[2] วิทยา และคณะ (2550).

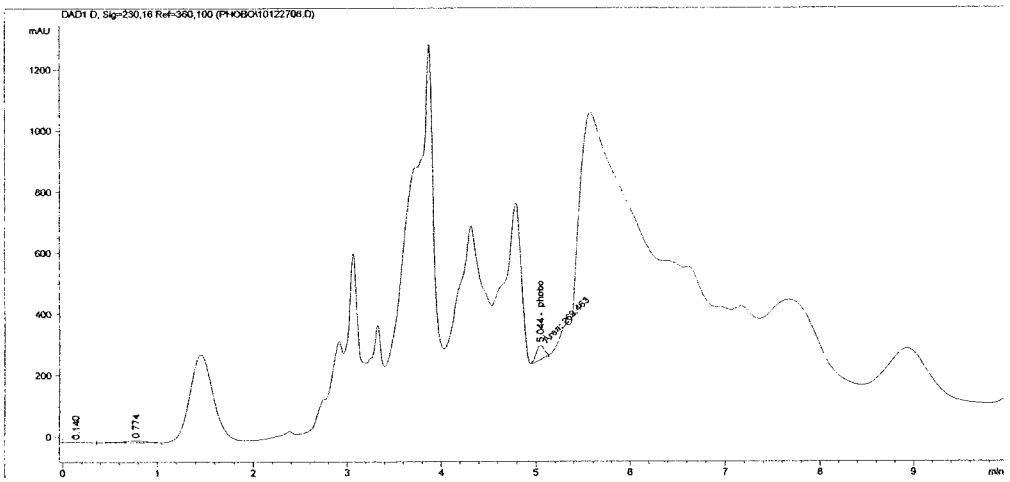
จากตารางที่ 4.21 แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่อยู่ในส่วนประกอบต่าง ๆ ของมะเยาหิน พบว่าสารฟอร์บอลเอสเทอร์ที่ประกอบอยู่ในเปลือกเมล็ดมีปริมาณสูงสุดคือ เท่ากับ 1.2370 mg/g และมีความเข้มข้นสูงกว่าสบู่ดำที่มีปริมาณความเข้มข้น 0.3573 mg/g ในส่วนประกอบของเนื้อเมล็ดจะมีความเข้มข้นต่ำที่ 0.0028 mg/g และในน้ำมันดิบที่สกัดจากเมล็ดโดยตรงจะมีปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ 0.0240 mg/g สูงกว่าน้ำมันดิบที่ซื้อ (จากประเทศจีน) ซึ่งตรวจพบว่ามีปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ 0.0048 mg/g ทั้งนี้จะมีค่าต่ำกว่าน้ำมันสบู่ดำ สำหรับกากเปลือกผล มะเยาหิน ลำต้น และใบมะเยาหิน พบว่าไม่พบปริมาณสารฟอร์บอลเอสเทอร์ ซึ่งส่วนประกอบเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการทำปุ๋ยหมัก หรือทำเป็นอาหารสัตว์ได้



ก) โครมาโตแกรมของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์
จากเมล็ดมะเยาหิน



ข) โครมาโตแกรมของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์จาก
น้ำมันดิบมะเยาหินจากการสกัดโดยตรง



ค) โครมาโตแกรมของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์จาก
น้ำมันดิบมะเยาหิน (ซื้อจากประเทศจีน)

รูปที่ 4.50 โครมาโตแกรมของสารพิษฟอร์บอลเอสเทอร์

ส่วนที่ 8 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน

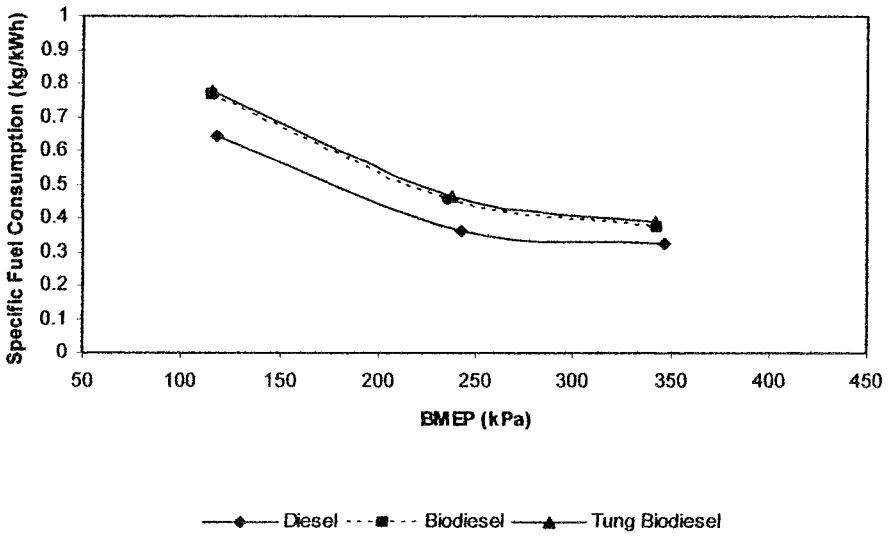
การศึกษาสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กในโครงการนี้ ได้ใช้ชุดทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 5 kWe โดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลเล็กขนาด 11 แรงม้า เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลัง ซึ่งเป็นของบริษัท Sriyont รุ่น G110 ปริมาตรกระบอกสูบ 598 ซีซี เครื่องยนต์มีรอบการทำงานสูงสุดที่ 2400 รอบ/นาที และแบ่งโหลดทดสอบเป็น 20%, 40% และ 60% หรือ 1000 W, 2000W, และ3000W ตามลำดับ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ น้ำมันดีเซล น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันไบโอดีเซลมะเยาหิน การประเมินผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การประเมินอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ และการประเมินมลพิษไอเสียเครื่องยนต์ ผลการประเมินมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

8.1 สมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน

8.1.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

ผลการประเมินอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะของชุดทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลผลิตกระแสไฟฟ้าขนาด 5 kWe พบว่า การเพิ่มภาระโหลดทำงานส่งผลให้ ความดันเฉลี่ยเบรกและอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทั้ง 3 ประเภท เพิ่มขึ้น โดยที่ภาระโหลดทำงาน 60%ความดันเฉลี่ยเบรกและ

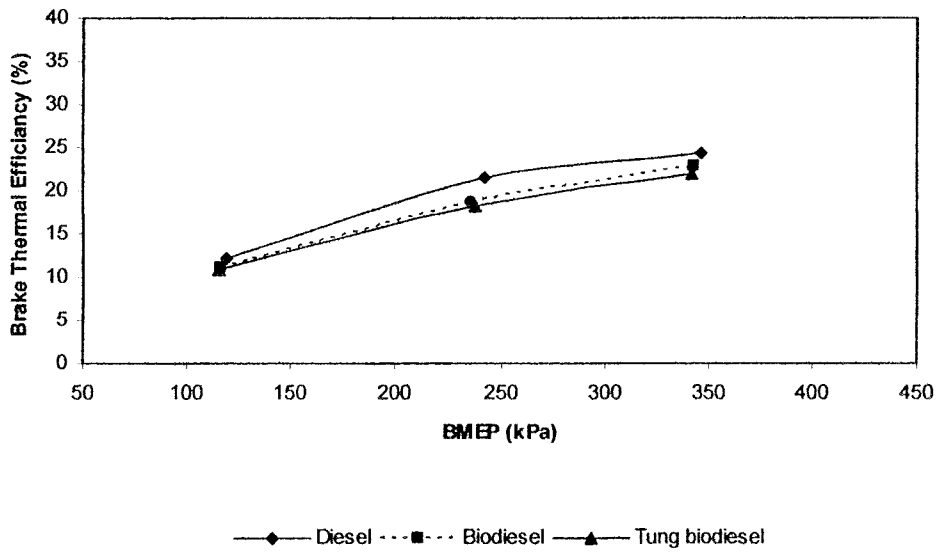
อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 342.25–346.97 kPa และ 0.561- 0.665 kg/hr การเพิ่มภาระโหลดทำงานมีผลให้อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงดังรูป 4.51 การใช้น้ำมันดีเซลมีผลให้อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงต่ำสุดและน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงสุดในทุกๆ ค่าของภาระโหลดการทำงาน การใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากชุมชน ซึ่งมีค่าความแตกต่างเฉลี่ยทุกโหลดการทำงานไม่เกิน 3% โดยการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากชุมชนและเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลพบว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินมีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงกว่า การใช้น้ำมันดีเซลสูงสุดเฉลี่ยทุกภาระโหลดทำงาน 18.48% การใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน ไบโอดีเซลชุมชน และน้ำมันดีเซล มีอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะสูงสุดที่โหลดการทำงาน 20% คิดเป็น 0.779 kg/kW, 0.770 kg/kW และ 0.644 kg/kW ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลค่าความร้อนของน้ำมันพบว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินมีค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลชุมชน แต่เมื่อพิจารณาค่าความหนืดของเชื้อเพลิงทั้ง 2 ชนิด พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินมีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลประมาณ 43% ซึ่งจะทำให้ความเป็นฝอยละอองของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดลดลง ส่งผลต่อประสิทธิภาพการลุกไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงห้องเผาไหม้ ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และทำให้เกิดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



รูปที่ 4.51 อัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ

8.1.2 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซล

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สามารถหาได้จากอัตราส่วนของกำลังงานทางไฟฟ้าที่ผลิตได้ เทียบกับค่าพลังงานของเชื้อเพลิงที่ให้กับเครื่องยนต์ พบว่า การเพิ่มภาระโหลดการทำงานหรือความดันเฉลี่ยเบรกจะมีผลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่อง ยนต์ที่ใช้น้ำมัน ทั้ง 3 ชนิดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการใช้น้ำมันดีเซลจะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงสุดทุกค่าโหลดภาระการทำงาน การใช้น้ำมันดีเซลที่ภาระโหลดทำงาน 60% ให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 24.26% ถัดมาเป็น ไบโอดีเซลชุมชน 22.75% และน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน 21.94% การใช้ภาระโหลดการทำงาน 20% จะให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกโหลดการทำงาน โดยน้ำมันดีเซลให้ประสิทธิภาพเชิงความร้อน 12.16% ถัดมาเป็นไบโอดีเซลชุมชน 11.05% และน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหิน 10.91% และเมื่อเปรียบเทียบการใช้น้ำมันไบโอดีเซลมะเยาหินกับไบโอดีเซลพบว่ามีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ไม่เกินร้อยละ 3 และเมื่อเปรียบเทียบน้ำมันไบโอดีเซลมะเยาหินกับน้ำมันดีเซลพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยทุกภาระโหลดทำงานไม่เกิน 12% โดยปกติแล้วค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซลมะเยาหินมีค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนและเมื่อพิจารณาค่าความหนืดน้ำมันพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลมะเยาหินมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนถึง 43% ซึ่งจะทำให้ความเป็นฝอยละอองของการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของหัวฉีดลดลง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ลดต่ำลง ดังรูปที่ 4.52 และตารางที่ 4.22



รูปที่ 4.52 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์

ตารางที่ 4.22 การประเมินสมรรถนะเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก

Engine Load (%)	Mode of Operation	Engine Output (W)	BMEP (kPa)	DCR (kg/hr)	SFC kg/kW	Eff. %
20	Diesel	594.97	118.69	0.383	0.644	12.16
	Biodiesel	580.64	115.83	0.447	0.770	11.05
	Tung Biodiesel	580.07	115.72	0.452	0.779	10.91
Engine Load (%)	**Mode of Operation**	**Engine Output (W)**	**BMEP (kPa)**	**DCR (kg/hr)**	**SFC kg/kW**	**Eff. %**
40	Diesel	1216.70	242.73	0.433	0.364	21.49
	Biodiesel	1195.77	238.55	0.541	0.452	18.80
	Tung Biodiesel	1191.79	237.64	0.552	0.463	18.36
Engine Load (%)	**Mode of Operation**	**Engine Output (W)**	**BMEP (kPa)**	**DCR (kg/hr)**	**SFC kg/kW**	**Eff. %**
60	Diesel	1739.21	346.97	0.561	0.323	24.26
	Biodiesel	1717.00	342.54	0.642	0.374	22.75
	Tung Biodiesel	1715.54	342.25	0.665	0.388	21.94

8.2 ปริมาณแก๊สไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล

8.2.1 ค่ามลพิษไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล

การประเมินมลพิษของเครื่องยนต์จากการใช้น้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลชุมชน และไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเยาหิน ประกอบด้วย การตรวจวัดควันดำ (Smoke) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และการวัดไฮโดรคาร์บอน (HC) โดยแบ่งโหลดทดสอบเป็นโหลด 20%, 40% และ 60% ซึ่งพบว่า การปรับเพิ่มภาระโหลดของน้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลชุมชน และไบโอดีเซลมะเยาหิน ไม่มีผลต่อปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยน้ำมันน้ำมันดีเซลและไบโอดีเซลชุมชนมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ย 0.01% และไบโอดีเซลมะเยาหินมีค่าเฉลี่ย 0.02% สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรคาร์บอน พบว่าการเพิ่มภาระโหลดทำงานส่งผลให้ปริมาณไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลมะเยาหินมีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่โหลด 20%, 40% และ 60% มีปริมาณไฮโดรคาร์บอน 1.0 ppm, 2.0 ppm และ 3.0 ppm ตามลำดับและเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานไอเสียของเครื่องยนต์ พบว่า ค่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์และปริมาณไฮโดรคาร์บอนมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเป็นอย่างมาก โดยคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่ามาตรฐานกำหนดไม่เกิน 4.5% และไฮโดรคาร์บอนมีค่ามาตรฐานกำหนดไม่เกิน 1000 ppm ในส่วนของการวิเคราะห์ควันดำพบว่าการทดสอบภาระโหลดทั้ง 3 โหลด มีปริมาณควันดำต่ำมาก โดยการใช้น้ำมันไบโอดีเซลชุมชนและไบโอดีเซลมะเยาหินแทบจะไม่มีปริมาณควันดำเท่าที่วัดได้จะมีพบในกรณีการใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่โหลด 20% ประมาณ 0.4% ดังรูปที่ 4.53 การใช้

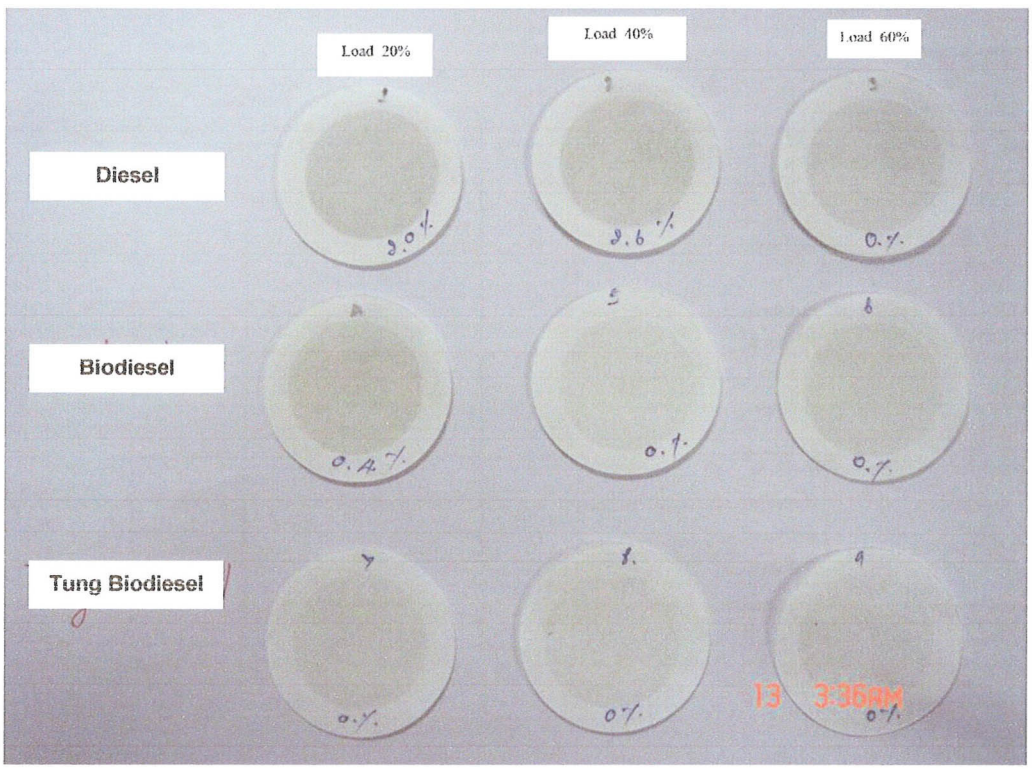
น้ำมันดีเซลมีปริมาณควันดำเฉลี่ยไม่เกิน 2.4% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลที่กำหนดไว้ไม่เกิน 40%

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการนำเอาน้ำมันไบโอดีเซลมะเยาหินมาใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 7 hp ค่ามลพิษไอเสีย ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน และควันดำ มีค่าไม่เกินมาตรฐาน ซึ่งสามารถนำเอาไบโอดีเซลมะเยาหินทดแทนน้ำมันดีเซลได้ โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยทุกภาระโหลดทำงานต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลไม่เกิน 12% ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 การทดสอบมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลจากเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

Fuel	Load (%)	CO (%)	HC (ppm)	Smoke (%)
Diesel	20	0.01	1.0	2.0
	40	0.01	2.0	2.6
	60	0.01	3.0	NA
Biodiesel	20	0.01	1.0	0.4
	40	0.01	1.0	NA
	60	0.01	1.0	NA
Tung Biodiesel	20	0.02	1.0	NA
	40	0.02	2.0	NA
	60	0.02	3.0	NA

หมายเหตุ : NA แสดงผลการตรวจวัดไม่พบค่า



รูปที่ 4.53 ปริมาณควันดำจากการตรวจวัดเครื่องยนต์ดีเซลทดสอบ

8.3 การทดสอบความทนทานเครื่องยนต์ดีเซล

การวิเคราะห์ความทนทานของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กนั้น จะใช้วิธีการหาปริมาณโลหะในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กที่ทำการทดสอบกับไบโอดีเซลจากมะเยาหิน เปรียบเทียบการใช้น้ำมันดีเซลกับไบโอดีเซล ที่ชั่วโมงการทดสอบระยะยาว 120 ชั่วโมง ทั้งนี้ในการทดสอบได้ควบคุมรอบการทำงานเครื่องยนต์คงที่ประมาณ 1,500 รอบ/นาที ที่ภาระโหลดการทำงาน 40% (2000W) โดยเมื่อครบจำนวนชั่วโมงก็ทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น ไปทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะ ด้วยวิธีทดสอบ ICP-OES ซึ่งปริมาณโลหะที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ดีบุก(Sn), เหล็ก (Fe), ทองแดง(Cu), อลูมิเนียม(Al), โครเมียม(Cr), ตะกั่ว(Pb) และนิเกิล(Ni) ที่ห้องปฏิบัติการบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (สวท–มช.)

จากผลการตรวจวิเคราะห์ น้ำมันในกรณีที่ใช้น้ำมันดีเซลทดสอบ พบว่าปริมาณโลหะที่ตกค้างในน้ำมันหล่อลื่นประกอบไปด้วย เหล็ก (Fe) และ อลูมิเนียม (Al) ในปริมาณ 60.6 mg/kg และ 8.00 mg/kg ทั้งนี้เมื่อใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินทดสอบ พบมีปริมาณโลหะที่ตกค้างในน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น 25.74% และ 23.50% ซึ่งมีค่าจากการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะตกค้าของเหล็ก (Fe) และอลูมิเนียม (Al) ในปริมาณ 76.2 mg/kg และ 9.88 mg/kg ตามลำดับ ส่วนโลหะชนิดอื่นจากการตรวจวิเคราะห์ไม่พบในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์ใหม่ และทดสอบในระยะยาวประมาณ 120 ชั่วโมงเท่านั้น ดังนั้นปริมาณโลหะที่พบในน้ำมันหล่อลื่นจึงมีปริมาณต่ำ และโลหะบางชนิดก็ตรวจไม่พบในตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่น อลูมิเนียมที่ตรวจพบนั้นจะเกิดจากการสึกหรอของลูกสูบ เหล็กจะเกิดจากการสึกหรอของลิ้น ไอดีไอเสีย ชุดเฟืองทด กระบอกสูบ แหวนลูกสูบ และเพลาข้อเหวี่ยง อย่างไรก็ตามสรุปได้ว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเยาหินกับเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็กทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลมีปริมาณสารโลหะในน้ำมันหล่อลื่นเพียงเล็กน้อย และสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี โดยผลการตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะในน้ำมันหล่อลื่นแสดงได้ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ปริมาณโลหะในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ดีเซลและดีเซลโปรดิวเซอร์แก๊ส

ชนิดสารโลหะ	ปริมาณโลหะตกค้างในน้ำมันหล่อลื่น (mg/kg)	
	เชื้อเพลิงดีเซล	เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากมะเยาหิน
ดีบุก (Sn)	ND	ND
เหล็ก (Fe)	60.60	76.20
ทองแดง (Cu)	ND	ND
อลูมิเนียม (Al)	8.00	9.88
โครเมียม (Cr)	ND	ND
ตะกั่ว (Pb)	ND	ND
นิเกิล (Ni)	ND	ND

หมายเหตุ : ND หมายถึง ตรวจไม่พบสารตัวอย่างในน้ำมันหล่อลื่น

ส่วนที่ 9 การศึกษาศักยภาพด้านชีวมวล การลดความร้อนสภาวะอากาศและคาร์บอนเครดิต

มะเยาหินนอกจากจะให้ผลผลิตเป็นน้ำมันแล้ว ยังสามารถสร้างผลพลอยได้อื่นๆ ที่มีมูลค่า ได้แก่เชื้อเพลิงชีวมวลที่เกิดจากการตัดแต่งกิ่ง เนื่องจากมะเยาหินจะออกลูกที่ยอดดังนั้นจำเป็นต้องมีการตัดแต่งกิ่ง นอกจากนั้นแล้วมะเยาหินยังเป็นพืชที่มีใบ ดอกที่สวยงามไม่ผลัดใบในฤดูแล้ง ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะปลูกเป็นไม้ประดับได้อีกทางหนึ่ง ซึ่งสามารถที่จะประเมินศักยภาพในการลดความร้อนอากาศแวดล้อมได้จากการใช้น้ำของพืช และถ้ามีการส่งเสริมในปริมาณที่มากจะสามารถช่วยลดภาวะโลกร้อนและขายคาร์บอนเครดิตได้

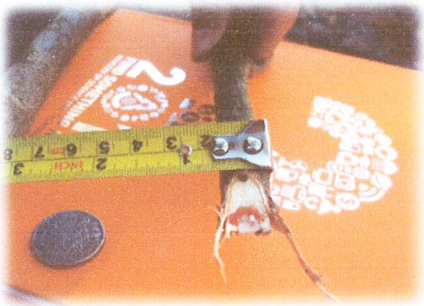
9.1 ศักยภาพด้านชีวมวลจากการตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน

9.1.1ปริมาณชีวมวลจากการตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน

การตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหินจะช่วยให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากมะเยาหินจะออกลูกที่ยอด ดังนั้นจากการตัดแต่งจะเป็นการเพิ่มยอดของต้นมะเยาหิน ซึ่งผลพลอยได้จากการตัดแต่งกิ่งจะได้เศษกิ่งไม้มะเยาหิน ใบ โดยสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลได้ ซึ่งจากการนำไปทดสอบหาค่าความชื้นของกิ่งไม้จากการตัดแต่งกิ่ง พบว่ากิ่งไม้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร จะมีค่าความชื้นเท่ากับ 57.37 % w.b. ขนาดกิ่งไม้ 1.5-2 เซนติเมตร จะมีค่าความชื้นเท่ากับ 57.11 % w.b. ใบมะเยาหิน มีค่าความชื้น 52.19% w.b.และเปลือกมะเยาหิน จะมีค่าความชื้น 19.39 %w.b.ดังแสดงในรูปที่ 4.54 และตารางที่ 4.24 ขณะเดียวกันได้ทดสอบตัดแต่งกิ่งมะเยาหิน พบว่าต้นมะเยาหินอายุประมาณ 3 ปี เมื่อทำการตัดแต่งกิ่งจะได้ปริมาณไม้หรือชีวมวลประมาณ 4-5 กิโลกรัม/ต้น ที่ความชื้นของชีวมวลเท่ากับ 57.37 % w.b.และที่ค่าความชื้นของไม้ 25% และ 50% w.b. จะได้ชีวมวลเท่ากับ 2.84 และ 4.26 กิโลกรัม/ต้น ตามลำดับ

ชีวมวลที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน

กิ่งลำต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 – 2 เซนติเมตร
ค่าความชื้น MC = 57.11% wb.



กิ่งลำต้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร
ค่าความชื้น MC = 57.37% wb.

ใบมะเยาหิน
ค่าความชื้น MC = 52.19% wb.

เปลือกผลมะเยาหิน
ค่าความชื้น MC = 19.39% wb.

รูปที่ 4.54 ชีวมวลที่ได้จากต้นมะเยาหิน และค่าความชื้นหลังจากตัดแต่งกิ่ง

รูปที่ 4.55 การใช้ชีวมวลจากต้นมะเยาหินเป็นเชื้อเพลิงในเตาชีวมวล

ตารางที่ 4.24 ค่าความชื้นของชีวมวลจากการตัดแต่งกิ่งต้นมะเยาหิน

ต้นที่	ขนาดทรงพุ่ม / สูง (เมตร)	อายุต้นมะเยาหิน(ปี)	ขนาดกิ่งไม้ตัดแต่ง (เซนติเมตร)	ปริมาณชีวมวล (กก./ต้น)		
				MC=57.37% w.b.	MC = 25% wb.	MC = 50% wb.
1	ทรงพุ่ม 2 ม. สูง 4.60 ม.	3 ปี 6 เดือน	1.5 – 2	5	2.84	4.26
2	ทรงพุ่ม 1.9 ม. สูง 4.0 ม.	3 ปี 6 เดือน	1.5 – 2	4	2.27	3.41
3	ทรงพุ่ม 2.4ม. สูง 4.7 ม.	3 ปี 6 เดือน	2 - 3	11	6.25	9.38

ตารางที่ 4.25 การประเมินศักยภาพชีวมวลจากการตัดแต่งกิ่ง และเปลือกผลมะเยาหิน

พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	ปริมาณชีวมวลที่ได้จากการตัดแต่งกิ่งไม้ และเปลือกผลมะเยาหิน (กิโลกรัม / ไร่)					
	กิ่งไม้ขนาด 1.5 – 2 เซนติเมตร			เปลือกผลมะเยาหิน[1]		
	MC = 57.11% wb.	MC=25% wb.	MC = 50% wb.	MC=57.11% wb.	MC = 25% wb.	MC = 50% wb.
4 x 4 m. (100 ต้น)	500	284	426	1,263	1,397	2,096
5 x 5 m. (64 ต้น)	320	182	273	808	894	1341
7x 7 m. (32 ต้น)	160	91	136	404	447	671
8x 8 m. (25 ต้น)	125	71	107	316	349	524

หมายเหตุ : [1]เปลือกมะเยาหิน คิดที่สัดส่วน 41% โดยน้ำหนักของผลมะเยาหิน
โดยประเมินที่ 1 ต้น (ประเทศลาว) มีจำนวน 400 ลูก (1 ลูกมีน้ำหนักเปลือก 0.03157 กรัม)

จากตารางที่ 4.25 แสดงการประเมินศักยภาพชีวมวลจากการตัดแต่งกิ่งไม้ และเปลือกผลของมะเยาหิน ต่อไร่ สำหรับเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ที่ระยะการเพาะปลูก 4x4 , 5x5, 7x7 และ 8x8 เมตร ที่ค่าความชื้นของชีวมวลเท่ากับ 25% w.b. และ 50% w.b. พบว่าที่ระยะการเพาะปลูกต้นมะเยาหิน 4x4 เมตร (100 ต้น) เมื่อทำการตัดแต่งกิ่ง 1 ครั้ง/ปี จะได้ชีวมวลที่ความชื้น 57.11%w.b. 25% w.b. และ 50 %w.b. เท่ากับ 500, 284 และ 426 กิโลกรัม/ไร่ และถ้าหากปลูกมะเยาหินจำนวน 5 ไร่ ก็จะได้ชีวมวล เท่ากับ 2.50, 1.42 และ 2.13 ตัน/ปี ตามลำดับ ส่วนเปลือกของมะเยาหินภายหลังจากกะเทาะเอาเมล็ดใน จะมีสัดส่วน 41% โดยน้ำหนักของผลมะเยาหิน ทั้งนี้ประเมินจากผลผลิตมะเยาหินที่ 400 ลูก/ต้น พบว่าจะได้ชีวมวลจากเปลือกมะเยาหินเท่ากับ 1,263, 1,397 และ 2,096 กิโลกรัม/ไร่

9.2 การประเมินศักยภาพการลดความร้อนสภาวะอากาศของต้นมะเยาหิน

9.2.1 การลดภาระความร้อนจากร่มเงาต้นมะเยาหิน

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาถึงร่มเงาของต้นไม้ ต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิ และความเข้มรังสีอาทิตย์ ซึ่งทำการศึกษาร่มเงาของต้นมะเยาหิน อายุ 3-4 ปี ทั้งนี้ต้นมะเยาหินจะอยู่ในกลุ่มของไม้ยืนต้นใบปานกลาง โดยทำการเก็บข้อมูลร่มเงาของทรงพุ่ม อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ในร่มและกลางแจ้ง ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ภายใน และภายนอกร่มเงาของต้นไม้ ดังแสดงในรูปที่ 4.56

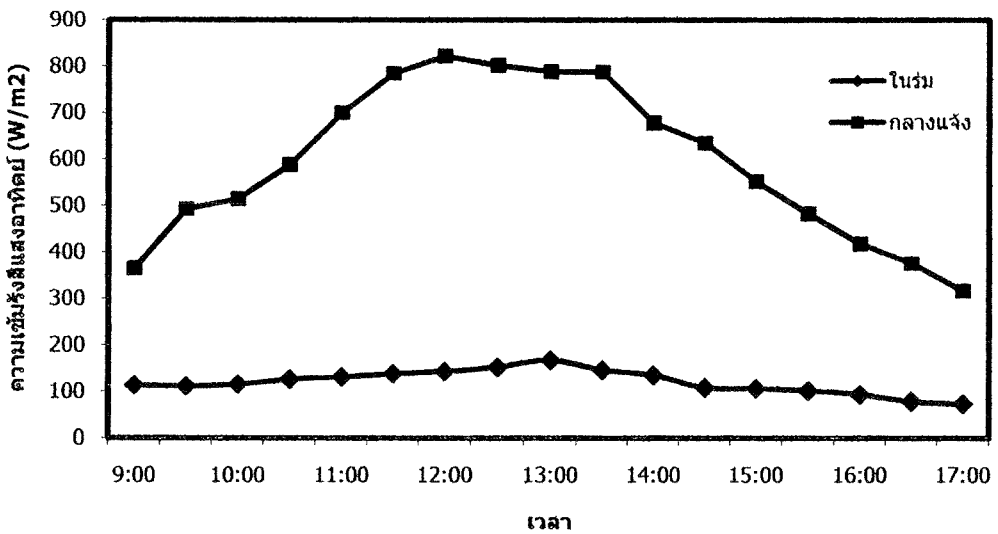
รูปที่ 4.56 การเก็บข้อมูลร่มเงาและกลางแจ้งของต้นมะเยาหิน

จากข้อมูลการตรวจวัดข้อมูลอุณหภูมิ และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ในช่วงระยะเวลา 1 วัน ตั้งแต่เวลา 09.00 – 17.00 น. ดังแสดงในตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.57-4.58 พบว่าอุณหภูมิกลางแจ้งสูงสุด 35°C ช่วงเวลา 12.30 – 14.30 น. ส่วนอุณหภูมิในร่มเงาต้นมะเยาหินสูงสุดเท่ากับ 32°C ช่วงเวลา 13.00 – 14.00 น. และอุณหภูมิโดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันทั้งกลางแจ้งและในร่มเงาของต้นมะเยาหิน จะเท่ากับ 32°C และ 29°C ตามลำดับ ส่วนค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในกลางแจ้งมีค่าเพิ่มขึ้นและสูงสุดในช่วงเวลา 12.00 – 14.00 น. โดยมีค่าสูงสุด 822 W/m^2 ในขณะที่ร่มเงาจะมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ไม่แตกต่างกันตลอดทั้งวัน โดยมีค่าเฉลี่ย 121 W/m^2 ความเข้มรังสีอาทิตย์สัมพัทธ์ กับอุณหภูมิอากาศสัมพัทธ์พบว่า ความเข้มรังสีอาทิตย์สัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 79.07% ในขณะที่ อุณหภูมิอากาศสัมพัทธ์เฉลี่ยเท่ากับ 8.19 % ลักษณะของความเข้มรังสีอาทิตย์สัมพัทธ์ กับอุณหภูมิอากาศสัมพัทธ์ ในระยะเวลา 1 วันแสดงดังรูปที่ 4.59-4.60

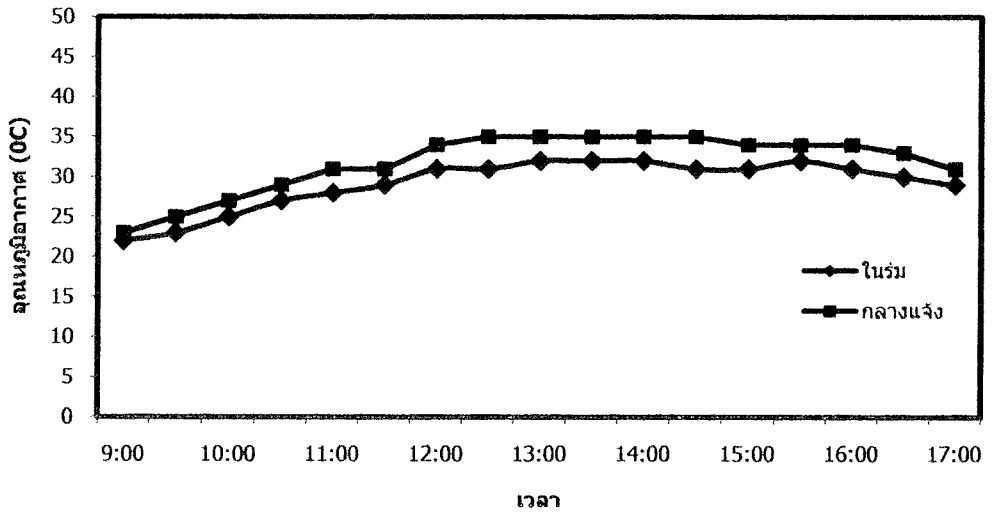
อัตราการลดภาระทางความร้อนเนื่องจากร่มเงาของต้นไม้ในกลุ่มไม้ใบโปร่ง พบว่า มีค่าเฉลี่ยในการลดภาระทางความร้อนตลอดทั้งวันเท่ากับ 741.87 W/m^2-ทรงพุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.61 การลดค่าภาระทางความร้อนที่ต้นไม้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 891.24 W/m^2-ทรงพุ่ม ที่เวลา 14.00 น.

ตารางที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์อัตราการลดภาระทางความร้อนเนื่องจากร่มเงาต้นมะเยาหิน

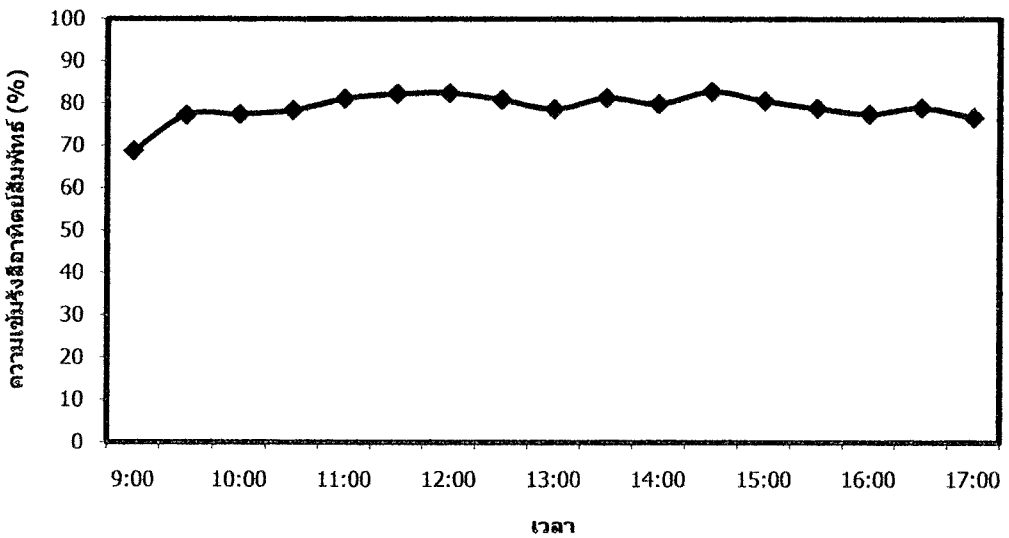
เวลา	พื้นที่ร่มเงา m^2	อุณหภูมิอากาศ (^{0}C)				ความเข้มรังสีอาทิตย์		อุณหภูมิอากาศสัมพัทธ์ (%)	ความเข้มรังสีอาทิตย์สัมพัทธ์ (%)	อัตราการลดภาระทางความร้อนเนื่องจากร่มเงา (W/m^2)
		กลางแจ้ง		ในร่ม		ในร่ม	กลางแจ้ง			
		db	wb	db	wb	W/m2	W/m2			
9:00	10.58	23	17	22	17	114	365	4.35	68.77	431.49
9:30		25	18	23	17	112	493	8.00	77.28	654.98
10:00	9.99	27	18	25	18	116	515	7.41	77.48	647.67
10:30		29	19	27	19	127	588	6.90	78.40	748.31
11:00	7.58	31	20	28	19	132	700	9.68	81.14	699.57
11:30		31	20	29	19	139	785	6.45	82.29	795.64
12:00	6.56	34	21	31	20	144	822	8.82	82.48	722.68
12:30		35	21	31	20	153	802	11.43	80.92	691.77
13:00	7.80	35	20	32	21	168	789	8.57	78.71	787.05
13:30		35	21	32	19	147	788	8.57	81.35	812.39
14:00	10.12	35	21	32	19	136	678	8.57	79.94	891.24
14:30		35	21	31	20	109	635	11.43	82.83	864.93
15:00	12.09	34	22	31	20	107	552	8.82	80.62	874.18
15:30		34	22	32	19	102	483	5.88	78.88	748.45
16:00	16.02	34	21	31	19	94	418	8.82	77.51	843.38
16:30		33	21	30	19	79	376	9.09	78.99	773.10
17:00	15.83	31	20	29	19	74	317	6.45	76.66	625.03
ค่าเฉลี่ย	**10.73**	**32**	**20**	**29**	**19**	**121**	**594**	**8.19**	**79.07**	**741.87**
Max.	16.02	35	22	32	21	168	822	11.43	82.83	891.24
Min.	6.56	23	17	22	17	74	317	4.35	68.77	431.49



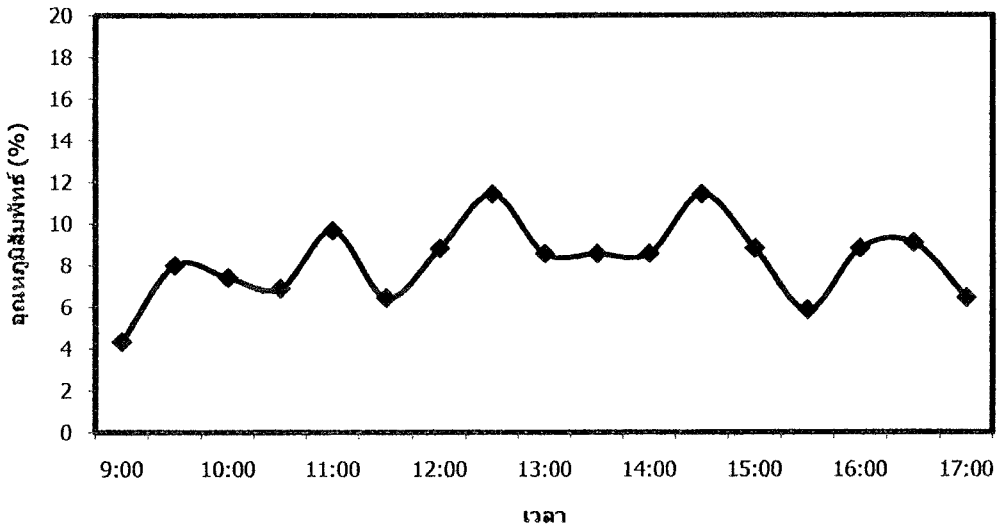
รูปที่ 4.57 ความเข้มรังสีอาทิตย์ของต้นมะเยาหิน



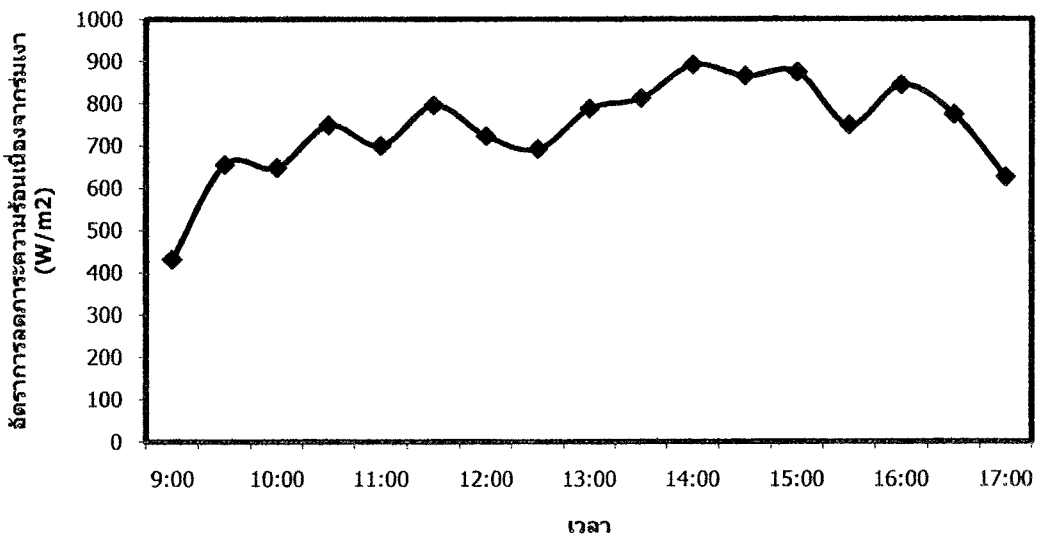
รูปที่ 4.58 อุณหภูมิอากาศในร่มเงาและกลางแจ้ง



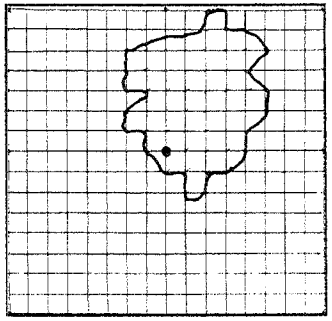
รูปที่ 4.59 ความเข้มรังสีอาทิตย์สัมพัทธ์ของต้นมะเยาหิน



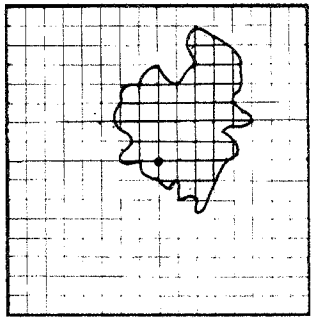
รูปที่ 4.60 อุณหภูมิสัมพัทธ์ของต้นมะเยาหิน



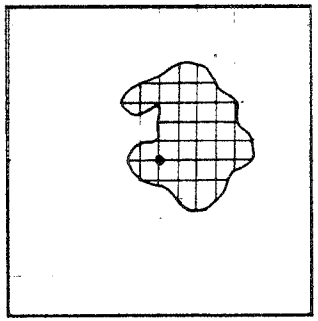
รูปที่ 4.61 อัตราการลดภาระทางความร้อนเนื่องจากร่มเงาต้นมะเยาหิน



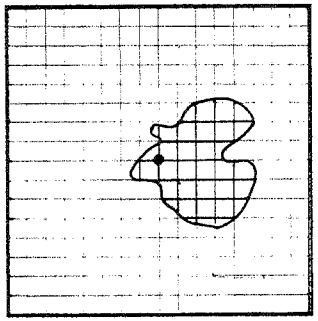
เวลา 9.00 น.
(พื้นที่ร่มเงา 10.58 m^2)



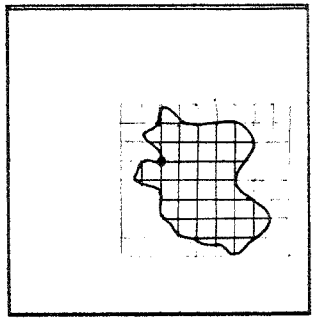
เวลา 10.00 น.
(พื้นที่ร่มเงา 9.99 m^2)



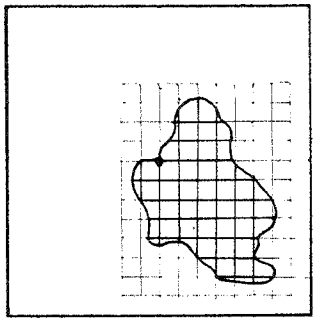
เวลา 11.00 น.
(พื้นที่ร่มเงา 7.58 m^2)



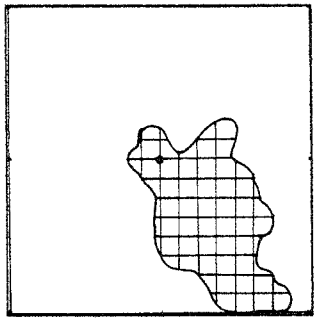
เวลา 12.00 น.
(พื้นที่ร่มเงา 6.56 m^2)



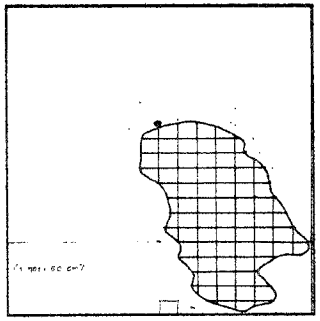
เวลา 13.00 น.
(พื้นที่ร่มเงา 7.80 m^2)



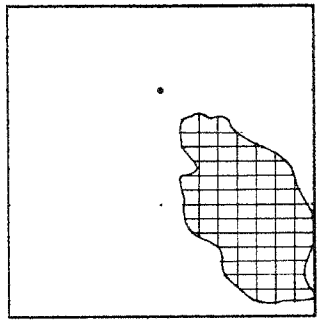
เวลา 14.00 น.
(พื้นที่ร่มเงา 10.12 m^2)



เวลา 15.00 น.
(พื้นที่ร่มเงา 12.09 m^2)



เวลา 16.00 น.
(พื้นที่ร่มเงา 16.02 m^2)



เวลา 17.00 น.
(พื้นที่ร่มเงา 15.83 m^2)

รูปที่ 4.62 ร่มเงาต้นมะเยาหินที่เวลาต่าง ๆ (พื้นที่กริด 8 x 8 m.)

9.2.2 ศักยภาพการทำความเย็นจากต้นไม้จากการใช้น้ำของพืช

การประเมินค่าศักยภาพการทำความเย็นจากต้นไม้ จะใช้วิธีการวัดปริมาณการใช้น้ำของพืช ซึ่งจะให้ค่าที่ถูกต้องกว่าการประเมินจากการหายใจ เนื่องจากการหายใจของพืชจะใช้น้ำเพียงประมาณ 10% ของปริมาณน้ำที่พืชต้องการเท่านั้น แต่การทำความเย็นจากต้นไม้เป็นการทำความเย็นแบบ Evaporative cooling

9.2.2.1 อัตราการใช้น้ำของพืช

การศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืชสามารถตรวจวัดได้หลายวิธี อาทิ การตรวจวัดโดยตรงโดยใช้ถังวัดการใช้น้ำ การวัดค่าความชื้นของดิน และการประเมินค่าสัมประสิทธ์การใช้น้ำของพืชและการใช้น้ำพืชอ้างอิง ทั้งนี้ในโครงการวิจัยนี้ได้เลือกวิธีสะดวกที่สุดคือการวัดการใช้น้ำจากค่าความชื้นของดิน เนื่องจากไม่สามารถทำการศึกษาได้ในภูมิทัศน์จำลองต้นไม้ที่ทำการปลูกต้องใช้เวลาในการเจริญเติบโตนาน ทั้งนี้ต้นไม้ยืนต้นที่ทำการปลูกในภูมิทัศน์จำลองจึงยังเจริญเติบโตเต็มที่ จึงต้องทำการตรวจวัดการใช้น้ำในพื้นที่ปลูกพืชจริง โดยการตรวจวัดความชื้นของดินบริเวณรอบ ๆ ต้นไม้ตัวอย่างในแปลงปลูกสวนแม่นาป๊าก อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ปริมาณการใช้น้ำของต้นมะเยาหิน อายุ 1 ปี พบว่ามีอัตราการใช้น้ำเฉลี่ย 1.61 มิลลิเมตร/วัน และต้นมะเยาหินอายุ 3-4 ปี มีอัตราการใช้น้ำโดยเฉลี่ย 2.58 มิลลิเมตร/วัน ทั้งนี้การเก็บตัวอย่างดินที่นำมาวิเคราะห์จะทำการเก็บที่ระดับความลึก 0 – 35 เซนติเมตร ระดับ 35 – 70 เซนติเมตร และระดับ 70 – 105 เซนติเมตร แล้วนำมาอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงผลในตารางที่ 4.27-4.28

ตารางที่ 4.27 อัตราการใช้น้ำของต้นมะเยาหินอายุ 1 ปี จากแปลงสวนแม่นาป๊าก อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

อายุต้นมะเยาหิน (ปี)	ความลึก (cm)	ช่วงความลึก (cm.)	วันที่	น้ำหนักดิน (กรัม)			Pw (%)	As	Pv (%)	d มม.	รวม มม	อัตราการใช้น้ำ (มม./วัน)
				ก่อนอบ	หลังอบ	ผลต่าง						
1 ปี	20	0 - 35	4 พย 53	52.48	48.45	4.03	8.32	0.68	5.63	19.69	77.97	1.92
	50	35 - 70		47.31	43.25	4.06	9.40	0.60	5.67	19.85		
	90	70 - 105		52.89	45.02	7.87	17.47	0.63	10.98	38.43		
	20	0 - 35	9 พย 53	50.73	46.99	3.74	7.96	0.66	5.22	18.27	68.37	
	50	35 - 70		50.44	46.98	3.46	7.36	0.66	4.83	16.90		
	90	70 - 105		44.74	37.94	6.79	17.90	0.53	9.48	33.19		
1 ปี	20	0 - 35	2 ธค 53	49.24	45.78	3.46	7.56	0.64	4.83	16.90	67.41	2.11
	50	35 - 70		48.93	44.88	4.05	9.03	0.63	5.66	19.80		
	90	70 - 105		53.98	47.70	6.28	13.17	0.67	8.77	30.70		
	20	0 - 35	7 ธค 53	58.70	56.45	2.26	4.00	0.79	3.15	11.03	56.87	
	50	35 - 70		54.44	50.83	3.61	7.10	0.71	5.03	17.62		
	90	70 - 105		54.30	48.52	5.78	11.90	0.68	8.06	28.22		
1 ปี	20	0 - 35	5 กพ 54	43.20	41.72	1.49	3.56	0.58	2.08	7.26	19.97	0.81
	50	35 - 70		40.06	38.72	1.33	3.44	0.54	1.86	6.51		
	90	70 - 105		40.21	38.94	1.27	3.25	0.54	1.77	6.19		
	20	0 - 35	13 กพ 54	44.00	42.92	1.08	2.52	0.60	1.51	5.28	13.48	
	50	35 - 70		45.66	44.78	0.88	1.97	0.63	1.23	4.30		
	90	70 - 105		40.08	39.28	0.80	2.04	0.55	1.12	3.91		
ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้น้ำของต้นมะเยาหิน อายุ 1 ปี												**1.61**

ตารางที่ 4.28 อัตราการใช้น้ำของต้นมะเยาหินอายุ 3-4 ปี จากแปลงสวนแม่นาป๊าก อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

อายุต้นมะเยาหิน (ปี)	ความลึก (cm)	ช่วงความลึก (cm.)	วันที่	น้ำหนักดิน (กรัม)			Pw (%)	As	Pv (%)	d มม.	รวม มม	อัตราการใช้น้ำ (มม./วัน)
				ก่อนอบ	หลังอบ	ผลต่าง						
3 - 4 ปี	20	0 - 35	4 พย 53	58.51	54.11	4.40	8.13	0.76	6.14	21.50	82.01	2.26
	50	35 - 70		61.73	56.63	5.11	9.02	0.79	7.13	24.95		
	90	70 - 105		63.80	56.52	7.28	12.88	0.79	10.16	35.57		
	20	0 - 35	9 พย 53	53.96	49.95	4.01	8.03	0.70	5.60	19.59	70.73	
	50	35 - 70		55.43	51.41	4.02	7.82	0.72	5.61	19.64		
	90	70 - 105		54.72	48.28	6.45	13.35	0.67	9.00	31.50		
3 - 4 ปี	20	0 - 35	2 ธค 53	56.18	52.53	3.65	6.94	0.73	5.09	17.82	75.04	2.75
	50	35 - 70		42.72	37.57	5.15	13.72	0.52	7.19	25.18		
	90	70 - 105		47.32	40.76	6.56	16.09	0.57	9.16	32.05		
	20	0 - 35	7 ธค 53	56.18	52.53	3.65	6.94	0.73	5.09	17.82	61.31	
	50	35 - 70		73.29	69.14	4.14	5.99	0.97	5.78	20.24		
	90	70 - 105		53.29	48.53	4.76	9.81	0.68	6.64	23.26		
3 - 4 ปี	20	0 - 35	5 กพ 54	42.19	40.19	2.01	4.99	0.56	2.80	9.80	74.31	2.73
	50	35 - 70		52.12	45.81	6.30	13.76	0.64	8.80	30.80		
	90	70 - 105		53.07	46.17	6.90	14.94	0.64	9.63	33.71		
	20	0 - 35	13 กพ 54	38.00	34.58	3.42	9.89	0.48	4.77	16.71	52.50	
	50	35 - 70		32.80	29.50	3.30	11.19	0.41	4.61	16.12		
	90	70 - 105		33.18	29.15	4.03	13.81	0.41	5.62	19.67		
ค่าเฉลี่ยอัตราการใช้น้ำของต้นมะเยาหิน อายุ 3-4 ปี												**2.58**

9.2.2.2 ศักยภาพการลดความร้อนอากาศแวดล้อมจากการใช้น้ำของพืช

ศักยภาพการทำความเย็นจากต้นไม้ สามารถประเมินได้จากค่าความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ ซึ่งเมื่อทราบค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช และค่าศักดิ์การใช้น้ำอ้างอิงจากสถานที่ต่าง ๆ ก็สามารถหาปริมาณน้ำที่พืชใช้และประเมินค่าการทำความเย็นของต้นไม้ชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

$$\dot{Q} = \dot{m_w} \times h_{fg}$$

ปริมาณความร้อนแฝงในการระเหยน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ สามารถประเมินได้จากสมการของ Harrison (1963)

$$h_{fg} = 2502 - 2.386T_a$$

ศักยภาพการลดความร้อนอากาศแวดล้อมจากการใช้น้ำของพืช สามารถประเมินได้จากปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ โดยในขณะที่น้ำระเหยกลายเป็นไอ จะดึงความร้อนจากอากาศในบริเวณรอบ ๆ จึงทำให้อากาศรอบ ๆ ต้นไม้มีอุณหภูมิลดลง สามารถพิจารณาได้เป็นสมการ โดยเป็นค่าพลังงานที่เปรียบเทียบกับขนาดของพื้นที่ราก ซึ่งจะพิจารณาให้เท่ากับขนาดของทรงพุ่ม ตามสมการ การพิจารณาอัตราการใช้พลังงานของต้นไม้เนื่องมาจากการใช้น้ำของต้นไม้นั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะต่าง ๆ ของต้นไม้ คือความลึกของน้ำที่ต้นไม้ใช้ หรืออัตราการใช้น้ำ อุณหภูมิของอากาศภายในร่มเงาของต้นไม้ ซึ่งในการพิจารณานี้ใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศภายในร่มเงาของต้นไม้เฉลี่ย ตั้งแต่เวลา 09.00-17.00 น. และความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1000 kg/m^3

ตารางที่ 4.29 ศักยภาพการลดความร้อนอากาศแวดล้อมของต้นมะเยาหิน อายุ 3-4 ปี

เส้นผ่านศูนย์กลางทรงพุ่ม (m.)	พื้นที่ทรงพุ่ม (m^2)	อัตราการใช้น้ำ		อุณหภูมิอากาศ (°C)	h_{fg} (kJ/ kg)	การลดความร้อนเนื่องจากการใช้น้ำ		
		(มม./วัน)	(kg/วัน)			(kJ/วัน)	W	W/m^2- ทรงพุ่ม
2.80	6.1544	2.58	15.88	29	2,432.81	38,628.95	447.09	72.65

จากตารางที่ 4.29 แสดงความสามารถในการลดความร้อนของอากาศเนื่องจากการใช้น้ำของต้นมะเยาหิน พบว่ามีความสามารถในการดึงความร้อนเฉลี่ย 72.65 W/m^2-ทรงพุ่ม เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาของสบู่ดำ ซึ่งเป็นพืชพลังงานเช่นเดียวกัน พบว่ามีความสามารถในการลดในการดึงความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 69.99 W/m^2-ทรงพุ่ม (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2551)

9.3 การประเมินคาร์บอนเครดิตของการปลูกมะเยาหิน

การปลูกต้นมะเยาหิน อยู่ในส่วนของโครงการปลูกป่า CDM (Carbon Development Mechanism) ประเภทโครงการปลูกป่า (Afforestation) ฟื้นฟูป่า (Reforestation) ตามผลการประชุมสมัชชาประเทศภาคีอนุสัญญาฯ สมัยที่ 6 ครั้งที่ 2 ซึ่งการปลูกป่าไม้จะเป็นการกักเก็บคาร์บอนในรูป

ของป่าไม้ หรือที่เรียกว่า Carbon Sink ในส่วนของการดูดซับ CO_2 สามารถจะเกิดขึ้นได้จากการปลูกป่าทดแทน (Reforestation) ซึ่งการประเมินการลดการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 สู่บรรยากาศของการปลูกป่ามะเยาหินนั้น จะประเมินเป็นการปลูกป่าขนาดเล็ก คือ มีการดูดซับก๊าซ CO_2 ได้ไม่เกิน 16,000 ตัน CO_2 ต่อปี โดยใช้วิธีการประเมินจากการศึกษาของ ประดิษฐ์ และคณะ ที่มา :http://www.dnp.go.th/watershed/knowledge_files/CO_Phupan.pdf, เจษฎา เหลืองแจ่ม (2551). โครงการปลูกป่า CDM โดยใช้ค่าประเมินตามสมการแอลโลเมตรีของมวลชีวมวลชีวภาพจากส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้สัก แทนต้นมะเยาหิน ดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 สมการแอลโลเมตรีของมวลชีวมวลชีวภาพจากส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้สัก

ส่วนประกอบของต้นไม้	มวลชีวภาพ (กก./ต้น)		การเก็บกักคาร์บอน (กก./ต้น)	
	สมการ	R^2	สมการ	R^2
ลำต้น	$W_S = 0.0439 (DBH^2H)^{0.8666}$	0.99	$C_S = 0.01991 (DBH^2H)^{0.8666}$	0.99
กิ่ง	$W_B = 0.0307 (DBH^2H)^{0.5434}$	0.93	$C_B = 0.01401 (DBH^2H)^{0.5434}$	0.93
ใบ	$W_L = 0.0056 (DBH^2H)^{0.9568}$	0.82	$C_L = 0.00027 (DBH^2H)^{0.9568}$	0.82
ราก	$W_R = 0.1286 (DBH^2H)^{0.6069}$	0.97	$C_R = 0.05970 (DBH^2H)^{0.6069}$	0.97
รากฝอย	$W_r = 0.2924 (DBH^2H)^{0.4255}$	0.79	$C_r = 0.13816 (DBH^2H)^{0.4255}$	0.79
เหนือพื้นดิน	$W_T = 0.0798 (DBH^2H)^{0.8706}$	0.99	$C_T = 0.03719 (DBH^2H)^{0.8706}$	0.99

หมายเหตุ : DBH คือเส้นผ่านศูนย์กลางเพียงอก (เซนติเมตร), H คือ ความสูง (เมตร)
ที่มาข้อมูล http://www.dnp.go.th/watershed/knowledge_files/CO_Phupan.pdf

จากตาราที่ 4.31 ได้นำสมการดังกล่าวมาประเมินการปลูกป่าเพื่อคิดเครดิต โดยประเมินต้นมะเยาหินอายุ 3-4 ปี มีขนาด DBH เท่ากับ 8 เซนติเมตร และความสูง H เท่ากับ 5 เมตร พบว่ามวลชีวภาพโดยรวม จะมีค่าเท่ากับ 3.166 ตัน/ไร่ สามารถดูดซับคาร์บอนได้ 1.406 ตันคาร์บอน/ไร่ หรือ 8.706 ตันคาร์บอน/ha คิดเป็นปริมาณ CO_2 จะเท่ากับ 5.156 ตัน CO_2/ไร่/ปี นั่นคือป่ามะเยาหินอายุ 3-4 ปี จำนวน 1 ไร่ (100 ต้น ระยะปลูก 4x4 m. DBH = 8 cm. H = 5 m.) สามารถดูดซับ CO_2 จากบรรยากาศมาสร้างเนื้อไม้ (มวลชีวภาพ) ได้ 3.166 ตัน ซึ่งเป็นจำนวนไม่น้อยที่พืชสีเขียวช่วยลดก๊าซเรือนกระจกจากบรรยากาศ (CO_2) เมื่อประเมินราคาซื้อขายคาร์บอนเครดิต ที่ราคาอ้างอิง 15.49 EUR/tCO_2 (http://www.pointcarbon.com/, 2 มี.ค. 54) พบว่าจะสามารถขายได้ 79.88 EUR/ไร่ หรือเท่ากับ 3,384 บาท/ไร่ (อัตราแลกเปลี่ยน 1 EUR = 42.5598 บาท, ธนาคารแห่งประเทศไทย 2 มี.ค. 54) ทั้งนี้เมื่อคิดหักค่าบริหารจัดการโครงการ อีก 20% ก็จะได้ผลตอบแทนจากการขายคาร์บอนเครดิตเท่ากับ 2,708 บาท/ไร่/ปี ดังแสดงข้อมูลในตารางที่ 4.31 และถ้ามีการปลูกจำนวน 100 ไร่ ก็จะทำให้ได้ผลตอบแทน 270,800 บาท/ไร่/ปี ซึ่งมีมูลค่ามากพอสมควรในกรณีที่มีการส่งเสริมในรูปแบบกลุ่มสหกรณ์ในชุมชน อย่างไรก็ตามในการประเมินในโครงการนี้ จะเป็นการประเมินแบบทั่วไป ทั้งนี้รายละเอียดของการปลูกป่าและเงื่อนไข ต้องศึกษาถึงรายละเอียด และเงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่ UNFCCC หรือ IPCC

ตารางที่ 4.31 ผลการประเมินคาร์บอนเครดิตจากการปลูกมะเยาหิน อายุ 3-4 ปี

ชนิด	ส่วนของต้นไม้	มวลชีวภาพจากต้นไม้		การกักเก็บคาร์บอน			คิดเป็นปริมาณ CO_2	การซื้อ-ขายคาร์บอนเครดิต		รายได้สุทธิ หลังจากหักค่าบริหารจัดการ 20%
		(ตัน/ไร่)	(ตัน/ha)	(กก./ต้น)	ตัน/ไร่	ตัน/ha	(ตัน CO_2/ ไร่)	(EUR/ไร่)	(บาท/ไร่)	(บาท/ไร่)
ต้นมะเยาหิน อายุ 3-4 ปี	ลำต้น	6.508	4.028	2.951	0.295	1.827	1.08219	16.76	710	568
	กิ่ง	3.981	2.464	1.817	0.182	1.125	0.66612	10.32	437	350
	ใบ	1.397	0.865	0.067	0.007	0.042	0.02469	0.38	16	13
	ราก	4.262	2.638	1.979	0.198	1.225	0.72547	11.24	476	381
	รากฝอย	3.406	2.107	1.608	0.161	0.995	0.58965	9.13	387	310
	เหนือพื้นดิน	1.211	7.493	5.642	0.564	3.492	2.06862	32.04	1,358	1,086
	รวม	**3.166**	**19.595**	**14.064**	**1.406**	**8.706**	**5.15675**	**79.88**	**3,384**	**2,708**

หมายเหตุ : EUR หมายถึงสกุลเงิน ยูโร, โดย 1 ยูโร เท่ากับ 42.5598 บาท ณ วันที่ 2 มีนาคม 2554, ธนาคารแห่งประเทศไทย