ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก

ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้า – ออก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก
ข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้า – ขาออก

การเก็บรวบรวมข้อมูลจะต้องสอดคล้องกับขอบเขตการศึกษาที่ได้ทำการกำหนดไว้ โดยต้องแสดงรายละเอียดของสารขาเข้าและสารขาออก ซึ่งการเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลของปริมาณสารขาเข้าและสารขาตลอดวัฏจักรชีวิตของไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน ซึ่งเป็นข้อมูลย้อนหลังเป็นระยะเวลา 1 ปี เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของข้อมูล โดยรายละเอียดแสดงดังนี้

ก1 รายละเอียดการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

จากข้อมูลสถิติการเกษตรของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2555) ในช่วงปี พ.ศ. 2550–2555 พบว่า ปริมาณการให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทยเฉลี่ยมีพื้นที่ในการเพาะปลูก 3,336,478 ไร่ ผลผลิต 9,024,919 ตัน และมีผลผลิตเฉลี่ย 2.70 ตัน/ไร่ โดยพื้นที่ที่มีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่สูงที่สุดของประเทศคือ ภาคใต้ ประกอบไปด้วย 14 จังหวัด (จังหวัดชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา สตูล ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส) คิดเป็นร้อยละ 39.37 และภาคเหนือ ประกอบไปด้วย 6 จังหวัด (จังหวัดเชียงราย ลำพูน เชียงใหม่ กำแพงเพชร พิษณุโลก และอุทัยธานี) คิดเป็นร้อยละ 7.76 ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการจัดทำบัญชีรายการขั้นตอนการเพาะปลูกในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศไทยเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการศึกษา โดยกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันนั้นแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลักๆ คือ กระบวนการอนุบาลต้นกล้า และกระบวนการเพาะปลูก (การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว) แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **การอนุบาลกล้าปาล์มน้ำมัน**

การอนุบาลกล้าปาล์มน้ำมันจะแบ่งออกเป็นสองระยะคือ ในระยะอนุบาลแรก ซึ่งมีการให้ดูแลรักษาประมาณช่วงอายุ 3 เดือนแรก โดยในระยะนี้ไม่มีการให้ปุ๋ยทางใบเลยเพราะดินที่ใช้มีคุณสมบัติ จากนั้นจึงเข้าสู่ระยะอนุบาลหลัก เป็นการดูแลรักษาต้นกล้าตั้งแต่อายุ 3 เดือน จนถึงนำไปปลูกในแปลงจริง สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ ก4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในการศึกษาวิจัยนี้เกษตรกรใช้เวลาในการอนุบาลต้นกล้า 12-14 เดือน เริ่มต้นกระบวนการด้วยการบรรจุดินลงถุงดำขนาด 15 × 18 นิ้ว ที่เจาะรูระบายน้ำไว้ด้านล่าง และด้านข้างของถุง ทำการฝังเมล็ดพันธ์ลงปลูกในถุงที่เตรียมไว้ หลังจากนั้นนำถุงพลาสติกที่ฝังเมล็ดพันธ์เรียบร้อยแล้วไปวางไว้ในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้ โดยวางถุงกล้าพันธุ์ตามความกว้างของแปลงเพาะในพื้นที่ 1 ไร่ สามารถวางกล้าพันธุ์ได้ 3,284 ต้น ในส่วนของการให้น้ำ ระยะนี้จะมีความสำคัญมาก เนื่องจากต้นกล้าปาล์มยังเล็กจะต้องการความชื้นอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ปกติต้องให้น้ำอย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น ปริมาณน้ำ 3.0 – 3.5 ลิตร/ต้น/วัน โดยมีการให้น้ำผ่านระบบสปริงเกอร์

ตารางที่ ก-1 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของการอนุบาลต้นกล้า

(หน่วย: หน่วย/ไร่)

รายการ	การอนุบาลต้นกล้า	
	ปริมาณ	หน่วย
เมล็ดพันธุ์	2.80E+01	กิโลกรัม
ปุ๋ยยูเรีย	9.13E-01	กิโลกรัม
ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต	9.13E-01	กิโลกรัม
ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	1.38E+00	กิโลกรัม
ปุ๋ยคีเซอร์ไรต์ (MgO)	5.30E-01	กิโลกรัม
ไฟฟ้า	2.30E-02	กิโลวัตต์ชั่วโมง

ที่มา: กรมวิชาการเกษตร, 2552

- **การเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน**

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งประกอบไปด้วย 14 จังหวัด โดยจังหวัดที่ทำการสำรวจจริงคือ ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ ซึ่งพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมด 327,314 ไร่ ประกอบไปด้วย จำนวนสมาชิกทั้งหมด 20 สหกรณ์ คิดเป็น 15,929 ครัวเรือน โดยพื้นที่ทำการเก็บข้อมูลการเพาะปลูกน้ำมันคิดเป็นร้อยละ 43 ของพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันทั้งจังหวัด ซึ่งมีลักษณะพื้นที่เป็นป่าเปิดใหม่ มีความชันเล็กน้อย และมีความอุดมสมบูรณ์สูง สำหรับสายพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่นิยมปลูกคือ สายพันธุ์ CHEMARA D x P ซึ่งจะเลือกปลูกในช่วงต้นฝนคือ เดือนพฤษภาคม โดยพื้นที่ 1 ไร่ ปลูกปาล์มน้ำมัน 22 ต้น มีการวางผังการปลูกแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า และระยะปลูก 9 × 9 เมตร สามารถให้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลผลิตได้ 2.92 ตัน/ไร่/ปี ส่วนข้อมูลด้านการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันจังหวัดอื่นๆ ได้จากการรวบรวมงานเอกสารแนะนำการปลูกปาล์มน้ำมัน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ ก2

ตารางที่ ก-2 บัญชีรายการของการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้

(หน่วย: กิโลกรัม/ไร่)

รายการ	ปริมาณการเพาะปลูกปาล์ม	
	A	B
<u>การเตรียมดิน</u>		
น้ำมันดีเซล (ลิตร)	1.00E-03	1.36E-03
<u>การปลูก</u>		
ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต	6.70E-02	4.69E-01
<u>การดูแลรักษา</u>		
ปุ๋ยยูเรีย	2.43E+01	4.51E+01
ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต	1.16E+00	8.16E+00
ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	2.14E+01	4.32E+01
ปุ๋ยโบเรต	7.17E-01	5.02E+00
Glyphosate	8.00E-01	8.01E-01
Paraquat	2.91E-01	2.91E-01
<u>การเก็บเกี่ยว</u>		
ปาล์มน้ำมัน	2.92E+03	2.58E+03

หมายเหตุ: A คือ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดกระบี่

B คือ ข้อมูลอ้างอิงจาก ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน และเอกสารคำแนะนำปาล์มน้ำมันลำดับที่ 1, 2550 (ปริมาณที่เหมาะสำหรับปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินที่มีความอุดมสูง)

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งประกอบไปด้วย 6 จังหวัด โดยจังหวัดที่ทำการสำรวจจริงคือ สหกรณ์ปาล์มน้ำมันล้านนา จังหวัดเชียงราย ซึ่งพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมด 2,912.47 ไร่ โดยพื้นที่ทำการเก็บข้อมูลการเพาะปลูกน้ำมันคิดเป็นร้อยละ 64 ของพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันทั้งจังหวัด โดยมีลักษณะพื้นที่เป็นป่าเปิดใหม่และพื้นที่นาร้าง มีความชันเล็กน้อย และมีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง-ต่ำ สำหรับสายพันธุ์ปาล์มน้ำมันที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นิยมปลูกคือ สายพันธุ์ Golden Clonal Tenera ซึ่งจะเลือกปลูกในช่วงต้นฝนคือ เดือนพฤษภาคม โดยพื้นที่ 1 ไร่ ปลูกปาล์มน้ำมัน 22 ต้น มีการวางผังการปลูกแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า และระยะปลูก 9 × 9 เมตร เช่นเดียวกับการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ โดยสามารถให้ผลผลิตได้ 0.69 ตัน/ไร่/ปี ส่วนข้อมูลด้านการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันจังหวัดอื่นๆ ได้จากการรวบรวมงานเอกสารแนะนำการปลูกปาล์มน้ำมัน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ ก3

ตารางที่ ก-3 บัญชีรายการของการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ

(หน่วย: กิโลกรัม/ไร่)

รายการ	ปริมาณการเพาะปลูกปาล์ม	
	A	**B**
<u>การเตรียมดิน</u>		
น้ำมันดีเซล (ลิตร)	5.07E-03	3.85E-03
<u>การปลูก</u>		
ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต	1.68E+00	4.53E-01
<u>การดูแลรักษา</u>		
ปุ๋ยยูเรีย	4.49E+01	4.71E+01
ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต	2.93E+01	7.88E+00
ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	7.40E+01	4.49E+01
ปุ๋ยโบเรต	3.72E+00	6.60E+00
Glyphosate	1.28E+00	8.00E-01
Paraquat	4.98E-01	2.91E-01
<u>การเก็บเกี่ยว</u>		
ปาล์มน้ำมัน	6.90E+02	9.10E+02

หมายเหตุ: A คือ ข้อมูลจากการสัมภาษณ์เกษตรกรในพื้นที่จังหวัดเชียงราย

B คือ ข้อมูลอ้างอิงจาก ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน และเอกสารคำแนะนำปาล์มน้ำมันลำดับที่ 1, 2550 (ปริมาณที่เหมาะสำหรับปาล์มน้ำมันที่ปลูกในดินที่มีความอุดมต่ำ)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก2 รายละเอียดการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ จากชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลย้อนหลัง 1 ปี พบว่า ในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ มีปริมาณปาล์มน้ำมันเข้าสู่กระบวนการผลิต 347,646.95 ตัน/ปี และสามารถผลิตเป็นน้ำมันปาล์มดิบ 69,529.39 ตัน สามารถแสดงบัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกได้ดังตารางที่ ก4

ตารางที่ ก-4 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

(หน่วย: หน่วย/น้ำมันปาล์มดิบ 69,529.39 ตัน)

ขั้นตอนการผลิต	การผลิตไบโอดีเซล	
	ปริมาณ	หน่วย
<u>การตรวจรับวัตถุดิบ (ปาล์มน้ำมัน)</u>		
มวลสารขาเข้า		
ปาล์มน้ำมัน	3.48E+05	ตัน
มวลสารขาออก		
ปาล์มน้ำมัน	3.48E+05	ตัน
<u>การนึ่ง</u>		
มวลสารขาเข้า		
ปาล์มน้ำมัน	3.48E+05	ตัน
ไอน้ำ	1.78E+05	ตัน
มวลสารขาออก		
ปาล์มน้ำมัน	3.48E+05	ตัน
<u>การนวด</u>		
มวลสารขาเข้า		
ปาล์มน้ำมัน	3.48E+05	ตัน
มวลสารขาออก		
ปาล์มน้ำมัน	2.43E+05	ตัน
น้ำเสีย	6.95E+04	ตัน
ทะลายปาล์มเปล่า	3.47E+04	ตัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการผลิต	การผลิตไบโอดีเซล	
	ปริมาณ	หน่วย
<u>การหีบน้ำมัน</u>		
มวลสารขาเข้า		
ปาล์มน้ำมัน	2.43E+05	ตัน
มวลสารขาออก		
น้ำมันปาล์มดิบ	1.49E+05	ตัน
เมล็ดใน	4.52E+04	ตัน
เปลือก	4.87E+04	ตัน
<u>การแยกน้ำมัน</u>		
มวลสารขาเข้า		
น้ำมันปาล์มดิบ	1.49E+05	ตัน
มวลสารขาออก		
น้ำมันปาล์มดิบ	6.95E+04	ตัน
กาก/ตะกอน	1.04E+04	ตัน
น้ำเสีย	6.95E+04	ตัน
ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวม	4.84E+06	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ปริมาณน้ำมันดีเซลรวม	6.42E+03	ลิตร

ก3 รายละเอียดการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการผลิตไบโอดีเซล จากโรงงานต้นแบบการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพานิชย์ ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ ซึ่งมีขนาดกำลังการผลิต 10,000 ลิตรต่อวัน โดยเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล คือ การผลิตแบบทรานเอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งมีการใช้ด่างเป็นตัวทำปฏิกิริยาในกระบวนการ โดยสามารถแสดงบัญชีรายการสารขาเข้า-ขาออกได้ดังตารางที่ ก5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ก-5 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล 1 แบท (ขนาดกำลังการผลิต 5,000 ลิตร)

(หน่วย: หน่วย/ไบโอดีเซล 5,000 ลิตร)

ขั้นตอนการผลิต	การผลิตไบโอดีเซล	
	ปริมาณ	หน่วย
<u>การเตรียมวัตถุดิบ (น้ำมันปาล์ม)</u>		
มวลสารขาเข้า		
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	5.50E+03	ลิตร
มวลสารขาออก	5.50E+03	
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)		ลิตร
<u>การลดยางเหนียว</u>		
มวลสารขาเข้า		
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	5.50E+03	ลิตร
กรดฟอสฟอริก		
- H_3PO_4	4.84E+00	กิโลกรัม
- **H_2O**	4.36E+01	กิโลกรัม
มวลสารขาออก		
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	5.50E+03	ลิตร
<u>การระเหยน้ำหรือการกำจัดน้ำ</u>		
มวลสารขาเข้า		
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	5.50E+03	ลิตร
น้ำ	5.00E+02	ลิตร
มวลสารขาออก		
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	5.44E+03	ลิตร
น้ำ	5.44E+02	ลิตร
ยางเหนียว	4.84E+00	กิโลกรัม
กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)	4.84E+00	กิโลกรัม
น้ำมันปาล์มดิบเสีย	4.84E+01	กิโลกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการผลิต	การผลิตไบโอดีเซล	
	ปริมาณ	หน่วย
<u>การลดกรด (เอสเตอริฟิเคชัน)</u>		
มวลสารขาเข้า		
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	5.44E+03	ลิตร
กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)	5.27E+00	กิโลกรัม
เมทานอล (MeOH)	7.18E+02	กิโลกรัม
มวลสารขาออก		
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	5.17E+03	ลิตร
น้ำ	1.28E+01	ลิตร
กรดไขมันอิสระ (FFA)	4.79E+01	กิโลกรัม
กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)	5.27E+00	กิโลกรัม
เมทานอล (MeOH)	6.95E+02	กิโลกรัม
เมทิลเอสเตอร์ (ME)	2.01E+02	กิโลกรัม
<u>การทำปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชัน</u>		
มวลสารขาเข้า		
น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	5.17E+03	ลิตร
เมทานอล (MeOH)	4.55E+02	กิโลกรัม
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	6.37E+01	กิโลกรัม
มวลสารขาออก		
เมทิลเอสเตอร์ (ME)	5.55E+03	ลิตร
เมทานอล (MeOH)	3.23E+02	กิโลกรัม
กลีเซอรอลดิบ (Raw Glycerol)		
- กลีเซอรอล (Glycerol)	4.89E+02	กิโลกรัม
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	5.09E+01	กิโลกรัม
- เมทานอล (MeOH)	3.23E+02	กิโลกรัม
- กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)	5.27E+00	กิโลกรัม
- เมทิลเอสเตอร์ (ME)	4.06E+02	กิโลกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการผลิต	การผลิตไบโอดีเซล	
	ปริมาณ	หน่วย
<u>การแยกคืนแอลกฮอล์</u>		
มวลสารขาเข้า		
เมทิลเอสเตอร์ (ME)	5.55E+03	ลิตร
เมทานอล (MeOH)	3.23E+02	กิโลกรัม
มวลสารขาออก		
เมทิลเอสเตอร์ (ME)	5.08E+03	ลิตร
เมทานอล (MeOH)	3.23E+01	กิโลกรัม
เมทานอลเหลว	2.91E+02	กิโลกรัม
<u>การล้างไบโอดีเซลครั้งที่ 1</u>		
มวลสารขาเข้า		
เมทิลเอสเตอร์ (ME)	5.08E+03	ลิตร
เมทานอล (MeOH)	3.23E+01	กิโลกรัม
น้ำ	2.00E+03	ลิตร
มวลสารขาออก		
เมทิลเอสเตอร์ (ME)	5.08E+03	ลิตร
เมทานอล (MeOH)	3.23E+01	กิโลกรัม
น้ำ	2.00E+03	ลิตร
<u>การฟอกสี</u>		
มวลสารขาเข้า		
เมทิลเอสเตอร์ (ME)	5.08E+03	ลิตร
ดินฟอกสี	5.00E+01	กิโลกรัม
มวลสารขาออก		
เมทิลเอสเตอร์ (ME)	5.02E+03	ลิตร
ดินฟอกสี	5.00E+01	กิโลกรัม
เมทิลเอสเตอร์ที่เจือปน	5.00E+01	กิโลกรัม
<u>การล้างไบโอดีเซลครั้งที่ 2</u>		
มวลสารขาเข้า		
เมทิลเอสเตอร์ (ME)	5.02E+03	ลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนการผลิต	การผลิตไบโอดีเซล	
	ปริมาณ	หน่วย
น้ำ	1.00E+03	ลิตร
มวลสารขาออก		
เมทิลเอสเตอร์ (ME)	5.02E+03	ลิตร
น้ำ	1.00E+03	ลิตร
<u>การกรองอนุภาค</u>		
มวลสารขาเข้า	5.02E+03	ลิตร
เมทิลเอสเตอร์ (ME)		
มวลสารขาออก	4.98E+03	ลิตร
เมทิลเอสเตอร์ (ME)	4.35E+01	กิโลกรัม
เศษตะกอน		
ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารวม	5.21E+01	กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน

ข1 ค่าพลังงานการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล

ตารางที่ ข-1 ค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมดการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล

วัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล	พลังงานที่ใช้ (MJ/ลิตร)	
	ภาคใต้	ภาคเหนือ
A. กระบวนการเพาะปลูก		
เมล็ดพันธุ์	0.05	0.15
ปุ๋ยยูเรีย	3.92	16.30
ปุ๋ย P_2O_5	0.27	2.83
ปุ๋ย KCl	0.35	2.01
ปุ๋ยคีเซอร์ไรต์	0.00	0.01
ปุ๋ยโบเรต	0.15	0.86
ไกลโฟเสต (Glyphosate)	0.64	2.63
พาราควอท (Paraquat)	0.24	1.01
ไฟฟ้า	0.00	0.00
น้ำมันดีเซล	0.00	0.00
B. กระบวนการขนส่ง		
น้ำมันดีเซล	0.30	3.85
C. กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ		
ไฟฟ้า	0.64	0.64
ไอน้ำ	8.09	8.09
น้ำมันดีเซล	0.00	0.00
เปลือก	-7.76	-7.76

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ข-1 ค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล (ต่อ)

วัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล	พลังงานที่ใช้ (MJ/ลิตร)	
	ภาคใต้	ภาคเหนือ
D.กระบวนการผลิตไบโอดีเซล		
ไฟฟ้า	0.10	0.10
น้ำ	0.01	0.01
H_3PO_4	0.02	0.02
H_2SO_4	0.00	0.00
MeOH	8.97	8.97
NaOH	0.25	0.25
พลังงานที่ใช้ทั้งหมด (A+B+C+D)	**24.01**	**47.46**

ตารางที่ ข-2 ค่าพลังงานที่ได้ทั้งหมดในการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล

วัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล	พลังงานที่ใช้ (MJ/ลิตร)
ไบโอดีเซล (Plam methyl ester: PME)	34.57
เมล็ดใน	10.74
กะลา	17.36
ทะลายเปล่า	0.82
กาก/ตะกอน	1.02
กลีเซอรอล	8.91
พลังงานที่ได้ทั้งหมด (ไบโอดีเซลอย่างเดียว)	**34.57**
พลังงานที่ได้ทั้งหมด (ไบโอดีเซลกับผลิตภณฑ์ข้างเคียง)	**73.41**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข2 ค่าพลังงานของปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล

ตารางที่ ข-3 ค่าพลังงานปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล

รายการ	หน่วย	ค่าพลังงาน	แหล่งที่มา
เมล็ดพันธุ์	MJ/kg	0.99	Pleanjai and Gheewala (2009)
ปุ๋ยยูเรีย	MJ/kg	62.20	Ecoinvent (2006)
ปุ๋ย P_2O_5	MJ/kg	26.40	Sharma and Campbell (2003)
ปุ๋ย KCl	MJ/kg	5.93	Ecoinvent (2006)
ปุ๋ยคีเซอร์ไรต์	MJ/kg	2.85	Ecoinvent (2010)
ปุ๋ยโบเรต	MJ/kg	30.00	Ecoinvent (2006)
ไกลโฟเสต (Glyphosate)	MJ/kg	452.50	Ecoinvent (2006)
พาราควอท (Paraquat)	MJ/kg	458.40	Ecoinvent (2006)
น้ำมันดีเซล	MJ/kg	43.10	Thailand Environment Institute (2003)
ไฟฟ้า	MJ/kWh	9.50	Thailand Environment Institute (2003)
ไอน้ำ	MJ/kg	3.25	จากการคำนวณ
น้ำประปา	MJ/kg	0.02	จากการคำนวณ
ทะลายปาล์มเปล่า	MJ/kg	17.86	Pleanjai and Gheewala (2009)
เมล็ดใน	MJ/kg	17.00	Pleanjai and Gheewala (2009)
เปลือก	MJ/kg	11.40	Biomass Clearinghouse (2008)
กะลา	MJ/kg	18.46	Pleanjai and Gheewala (2009)
กาก/ตะกอน	MJ/kg	6.22	Prueksakorn and Gheewala (2010)
H_3PO_4	MJ/kg	21.00	USLCI (2001)
H_2SO_4	MJ/kg	2.12	Ecoinvent (2010)
MeOH	MJ/kg	38.08	Tobin (2005)
NaOH	MJ/kg	19.70	Tobin (2005)
กลีเซอรอล	MJ/kg	25.60	JDSEE laboratory (2007)
PME	MJ/kg	40.20	Biomass Clearinghouse (2008)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข3 วิธีการคำนวณหาค่าพลังงาน

การคำนวณค่าพลังงาน คำนวณจากการนำปริมาณพลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการผลิตคูณด้วยค่าพลังงานความร้อนของพลังงานปฐมภูมิ โดยค่าพลังงานความร้อนของพลังงานปฐมภูมิ แสดงดังตารางที่ ข4

ตารางที่ ข-4 ค่าพลังงานความร้อนของพลังงานปฐมภูมิ

ประเภท	หน่วย	ค่าพลังงานความร้อน	แหล่งที่มา
น้ำมันดีเซล	MJ/L	36.42	กระทรวงพลังงาน (2551)
น้ำมันเบนซิน	MJ/L	31.48	กระทรวงพลังงาน (2551)
ก๊าซธรรมชาติ	MJ/kg	33.07	กระทรวงพลังงาน (2551)
ถ่านหิน	MJ/kg	26.37	กระทรวงพลังงาน (2551)
พลังงานน้ำ	MJ/L	0.01	Ecoinvent (2006)
น้ำมันดิบ	MJ/L	39.7	กระทรวงพลังงาน (2551)
น้ำมันเตา (Heavy Fuel Oil)	MJ/L	43.07	กระทรวงพลังงาน (2551)
น้ำมันเตา (Light Fuel Oil)	MJ/L	34.53	กระทรวงพลังงาน (2551)

โดยค่าพลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการผลิตของปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล แสดงดังตารางที่ ข5

ตารางที่ ข-5 ปริมาณพลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการผลิตปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิต

รายการ	หน่วย	พลังงานปฐมภูมิ				
		ก๊าซธรรมชาติ	พลังงานน้ำ	น้ำมันเตา (LFO)	น้ำมันเตา (HFO)	ไฟฟ้า
น้ำประปา[a]	1 ลิตร	2.64E-05	1.04	2.97E-08	-	0.018
ไอน้ำ	1 ตัน	0.031	1220	2.54E-08	70	20.9

ที่มา: วรยุทธ สายบัวตรง (2551)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ค1 ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการคาดการณ์ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันตลอดวัฏจักรชีวิตตลอดช่วงอายุ 25 ปี เพื่อหาค่าเฉลี่ยต่อปีของปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันต่อพื้นที่เพาะปลูกในแต่ละช่วงปี สำหรับการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณผลผลิตที่ได้อยู่ในช่วงปีที่ 1-6 ดังนั้นจึงทำการคิดจากร้อยละการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากแนวโน้มของปริมาณผลผลิตมีความผกผันอย่างต่อเนื่อง แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งทำการคัดเลือกตัวแทนในการคิดอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตจากปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา (จากคู่ผสม ต้นดูรา + ต้นพิสิเฟอรา) เป็นพันธุ์ดีและใช้วิธีการผลิตที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ ค-1

ตารางที่ ค-1 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันต่อพื้นที่เพาะปลูก

อายุปาล์ม (ปี)	ผลผลิตทะลายสด (กก./ไร่)	ผลผลิตทะลายสด (ตัน/ไร่)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
0	0	0	
1	0	0	
2	0	0	
3	723.2	0.72	-
4	1204.8	1.2	66.59
5	2008	2.01	66.67
6	2651.2	2.65	32.03
7	3052.8	3.05	15.15
8	3172.8	3.17	3.93
9	3254.4	3.25	2.57
10	3254.4	3.25	0
11	3214.4	3.21	-1.23

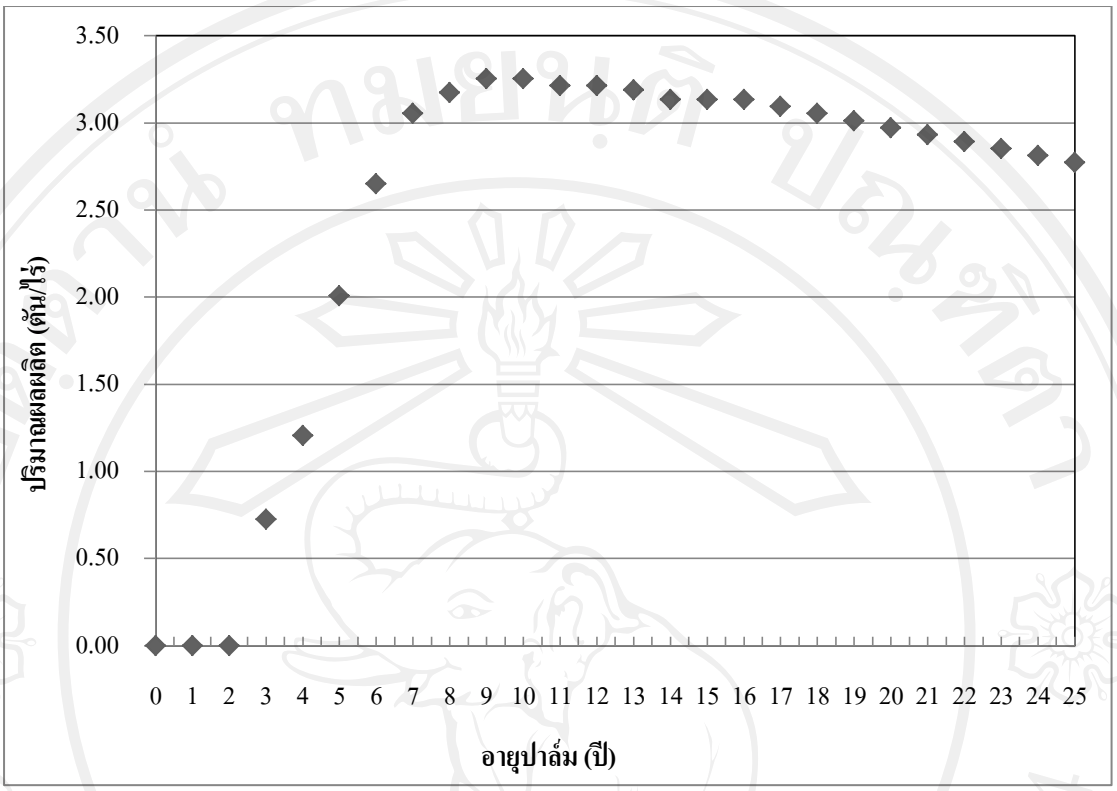
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ค-1 ร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันต่อพื้นที่เพาะปลูก (ต่อ)

อายุปาล์ม (ปี)	ผลผลิตทะลายสด (กก./ไร่)	ผลผลิตทะลายสด (ตัน/ไร่)	ร้อยละการเปลี่ยนแปลง
12	3214.4	3.21	0
13	3188.8	3.19	-0.8
14	3132.8	3.13	-1.76
15	3132.8	3.13	0
16	3132.8	3.13	0
17	3092.8	3.09	-1.28
18	3052.8	3.05	-1.29
19	3012.8	3.01	-1.31
20	2972.8	2.97	-1.33
21	2932.8	2.93	-1.35
22	2892.8	2.89	-1.36
23	2852.8	2.85	-1.38
24	2812.8	2.81	-1.4
25	2772.8	2.77	-1.42
ผลรวมตลอดอายุ	**64732.8**	**64.73**	
เฉลี่ย (ผลผลิต/ปี)	**2589.31**	**2.59**	

ที่มา: Ismail and Mamat, (2002) และศูนย์วิจัยพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา, (2548)

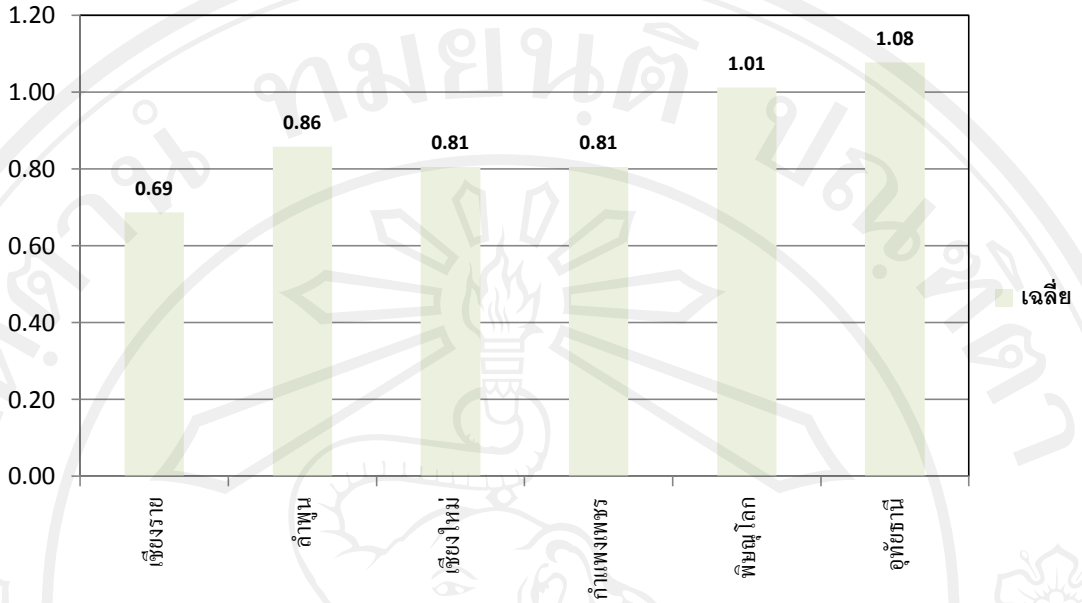
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ ค-1 กราฟแสดงแนวโน้มของปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันตลอดวัฏจักรชีวิต

รูปที่ ค-2 ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันตลอดวัฏจักรชีวิตเฉลี่ยในพื้นที่ภาคใต้ (ตันต่อปี)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ ค-3 ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันตลอดวัฏจักรชีวิตเฉลี่ยในพื้นที่ภาคเหนือ (ตันต่อปี)

ค2 การวิเคราะห์ค่าการคายระเหยน้ำ

การวิเคราะห์ค่าการคายระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration; ET_c) ตลอดช่วงการเพาะปลูกของแต่ละจังหวัดที่ปลูกปาล์มน้ำมัน ต้องอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ข้อมูลพืช และข้อมูลดิน สำหรับใช้ในการคำนวณ โดยข้อมูลที่ได้จากการคำนวณคือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโต (ET_C) แบ่งออกเป็นปริมาณการใช้น้ำฝน (ET_{green}) และปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน (ET_{blue}) โดยในการศึกษานี้ได้กำหนดค่าการคายระเหยน้ำของพืชภายใต้สภาวะที่มีข้อจำกัดทางด้านสิ่งแวดล้อมตลอดการเจริญเติบโตหรือเรียกว่า ภายใต้สภาวะที่ไม่ได้มาตรฐาน และกำหนดรูปแบบความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirement Option: CWR)

1.1 การหาค่าการคายระเหยอ้างอิงของพืช (ET_0)

การหาค่าการคายระเหยอ้างอิงของพืช (ET_0) ในขั้นตอนนี้ต้องอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศเฉลี่ย 30 ปี ของแต่ละจังหวัดในประเทศไทย โดยอ้างอิงมาจากกรมอุตุนิยมวิทยา (2554) ซึ่งค่าการคายระเหยอ้างอิงของพืชอ้างอิง (ET_0) ถูกแสดงในหน่วยมิลลิเมตรต่อวัน ตามสมการของ Penman – Montieth ซึ่งข้อมูลสภาพภูมิอากาศมีความสัมพันธ์ต่อหลายปัจจัยที่มีผลต่อค่าการคายระเหยอ้างอิง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ความดันบรรยากาศ (P)

ความดันบรรยากาศ เป็นความกดดันอยู่จุดใดหนึ่งของชั้นบรรยากาศของโลก โดยทั่วไป ความกดอากาศจะประมาณเท่ากับความกดดันที่เกิดขึ้น โดยน้ำหนักของอากาศอยู่บนจุดนั้น ๆ ซึ่งหมายความว่า จุดที่มีความกดอากาศต่ำจะมีอากาศที่มีมวลสารต่ำกว่าจะอยู่ข้างบนมัน ด้วยเหตุผลแบบเดียวกัน ความกดอากาศจะต่ำลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น ซึ่งมีผลต่อค่าคงที่ Psychrometric สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$P = 101.3\left(\frac{293-0.0065Z}{293}\right)^{5.26} \quad (1)$$

โดยที่ P คือ ความดันบรรยากาศ (kPa)

Z คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเล (m)

- ค่าคงที่ Psychrometric (γ)

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon\lambda} = 0.665 \times 10^{-3}\mathrm{P} \quad (2)$$

โดยที่ P คือ ความดันบรรยากาศ (kPa)

Cp คือ ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (1.013×10^{-3} MJ/kg per ^{o}c)

λ คือ ความร้อนแฝงของการระเหยที่อุณหภูมิ 20^{o}c (2.45 MJ/kg)

ε คือ อัตราส่วนระหว่างโมเลกุลของไอน้ำและอากาศ (0.622)

- ค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T_{mean})

ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยจะถูกนำไปคำนวณหาความชันที่ความดันไอน้ำอิ่มตัว สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$T_{mean} = \frac{T_{max}+T_{min}}{2} \quad (3)$$

โดยที่ T_{mean} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยต่อวัน (^{o}c)

T_{max} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดต่อวัน (^{o}c)

T_{min} คือ อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดต่อวัน (^{o}c)

- ค่าความดันไออิ่มตัวเฉลี่ย (e_s)

$$e_s = \frac{e^{0}(T_{max})+e^{0}(T_{min})}{2} \quad (4)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่ e_s คือ ความดันไออิ่มตัวเฉลี่ย (kPa)

$e^0(T_{max})$ คือ ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิสูงสุด (kPa)

$e^0(T_{min})$ คือ ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิต่ำสุด (kPa)

โดยที่ค่าความดันไออิ่มตัว (e^0) สามาถหาได้จากความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) ซึ่งค่าที่ได้มีความสัมพันธ์กับค่าความชันของความดันไอน้ำอิ่มตัว

$$e^0(T) = 0.6108exp\left[\frac{17.27T}{T+273.3}\right] \quad (5)$$

- ค่าความชันของความดันไอน้ำอิ่มตัว (Δ)

$$\Delta = \frac{4098\left(0.6108exp\left[\frac{17.27T}{T+273.3}\right]\right)}{(T+237.3)^2} \quad (6)$$

โดยที่ Δ คือ ค่าความชันของความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวัน (kPa)

- ความดันไอจริง (e_a)

$$e_a = \frac{RH_{mean}}{100} \times \left[\frac{e^0(T_{max})+e^0(T_{min})}{2}\right] = \frac{RH_{mean}}{100} \times e_s \quad (7)$$

โดยที่ e_a คือ ความดันไอจริง (kPa)

RH คือ ความชื้นสัมพันธ์เฉลี่ย ซึ่งสามารถหาได้ค่าความชื้นสัมพันธ์สูงสุดและความชื้นสัมพันธ์ต่ำสุด (%)

- ค่าการแผ่รังสีสุทธิ (R_n)

ค่าการแผ่รังสีสุทธิ เป็นการคำนวณจากค่าปริมาณรังสีสุทธิของพื้นผิวพืช โดยสามารถหาได้ความแตกต่างของรังสีคลื่นสั้น (R_{ns}) และรังสีคลื่นยาว (R_{nl}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8)

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (8)$$

ปริมาณการแผ่รังรังสีคลื่นสั้น (R_{ns}) หาได้จากผลของความสัมพันธ์ของสมดุลระหว่างรังสีตกกระทบและรังสีสะท้อน

$$R_{ns} = (1 - 0.23)R_s \quad (9)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$R_s = \left(0.25 + 0.5\frac{n}{N}\right) R_a \quad (10)$$

โดยที่ R_s คือ การแผ่รังสีคลื่นสั้น (MJ/m^2 per day)

N คือ ความเป็นไปได้สูงสุดของชั่วโมงแสงแดด (hour)

n คือ ปริมาณแสงแดดที่เกิดขึ้นจริง (hour)

Ra คือ Extraterrestrial radiation (MJ/m^2 per day)

ปริมาณการแผ่รังรังสีคลื่นยาว (R_{nl}) หาได้จากผลของสัดส่วนความแน่นอนของอุณหภูมิ (องศาเคลวิน) บนพื้นผิว สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (11)

$$R_{nl} = \left[\sigma \frac{(T_{max,K})^4 + \sigma(T_{min,K})^4}{2}\right] \times \left(0.34 - 0.14\sqrt{e_a}\right) \times \left[135\frac{R_s}{R_{so}} - 0.35\right] \quad (11)$$

โดยที่ R_{nl} คือ การแผ่รังสีคลื่นยาว (MJ/m^2 per day)

σ คือ ค่าคงที่ Stefan-Boltman (4.903×10^{-9} MJ/K^4 per m^2day)

$T_{max,K}$ คือ อุณหภูมิสูงสุดตลอด 24 ชั่วโมง (K), K = ^{o}c + 273.16

$T_{min,K}$ คือ อุณหภูมิต่ำสุดตลอด 24 ชั่วโมง (K)

e_a คือ ความดันไอจริง (kPa)

Rs/Rso คือ ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีคลื่นสั้น (≤ 1)

โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างรังสีคลื่นสั้นสามารถหาได้จากสัดส่วนของปริมาณรังสีคลื่นสั้น (R_s) และรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าเปิด (Clear sky solar raicdation, R_{so})

$$R_{so} = \left(0.75 + \frac{2Z}{100000}\right) R_a \quad (12)$$

โดยที่ R_s คือ รังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าเปิด (MJ/m^2 per day)

Z คือ ความสูงจากระดับน้ำทะเล (m)

จากสมการความสัมพันธ์ทั้งหมดที่มีผลต่อค่าการคายระเหยอ้างอิงสามารถนำไปคำนวณหาค่าการคายระเหยอ้างอิงของปาล์มได้ โดยตัวอย่างการคำนวณค่าการคายระเหยอ้างอิงของพืช (ET_0) จากข้อมูลสภาพภูมิประเทศหรือทำเลที่ตั้งและข้อมูลสภาพภูมิอากาศเฉลี่ย 30 ปี ของจังหวัดกระบี่ แสดงดังตารางที่ ค-2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ค-2 ค่าการคายระเหยอ้างอิงของพืช (ET_0) ของจังหวัดกระบี่

ข้อมูล : กระบี่	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
T (^{0}c)	28.30	28.90	29.35	29.45	28.30	28.60	28.25	26.85	27.80	27.65	27.55	27.40	**28.20**
Δ (kPa/^{0}c)	0.22	0.23	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.21	0.22	0.22	0.22	0.21	**0.22**
g	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	**0.07**
u_2 (m/sec)	2.00	1.75	1.49	1.39	2.27	2.88	3.03	3.76	2.93	1.96	1.39	1.70	**2.21**
e_s - e_a (kPa)	0.99	1.07	1.01	0.89	0.61	0.60	0.58	0.55	0.57	0.56	0.56	0.78	**0.73**
R_n (MJ/m2 per day)	10.97	12.00	12.36	11.52	10.17	9.88	9.91	10.07	10.14	9.72	8.99	10.22	**10.50**
ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_0)													
Δ /[Δ + γ (1 + 0.34 u_2)]	0.66	0.68	0.70	0.70	0.66	0.63	0.62	0.62	0.62	0.66	0.68	0.67	**0.66**
γ /[Δ + γ (1 + 0.34 u_2)]	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.21	0.21	0.21	**0.20**
[900/(T_{mean} + 273)] u_2	5.98	5.21	4.45	4.13	6.76	8.60	9.06	9.06	8.76	5.86	4.16	5.10	**6.43**
(e_s-e_a)	0.99	1.07	1.01	0.89	0.61	0.60	0.58	0.55	0.57	0.56	0.56	0.78	**0.73**
Δ /[Δ + γ (1 + 0.34 u_2)] × 0.408 (R_n - G)	2.97	3.34	3.52	3.31	2.73	2.54	2.51	2.36	2.56	2.61	2.51	2.78	**2.81**
γ /[Δ + γ (1 + 0.34 u_2)] × [900/(T_{mean} + 273)] u_2 × (e_s-e_a)	1.18	1.11	0.90	0.74	0.79	0.96	0.99	1.15	0.95	0.68	0.50	0.84	**0.90**
$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$	4.15	4.45	4.42	4.05	3.53	3.50	3.50	3.51	3.51	3.29	3.01	3.63	**3.71**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยค่าการคายระเหยอ้างอิงของพืช (ET_0) ตลอดช่วงการเพาะปลูกของจังหวัดอื่นๆที่ปลูกปาล์มน้ำมัน คำนวณได้ในทำนองเดียวกันนี้ โดยการทำการคำนวณตามชนิดและปริมาณของข้อมูลสภาพภูมิอากาศเฉลี่ย 30 ปี ของแต่ละจังหวัด ซึ่งผลของค่าการระเหยน้ำอ้างอิงของพืช (ET_0) ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาแสดงดังตารางที่ ค-3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ค-3 ค่าการระเหยน้ำอ้างอิงของพืช (ET_o) ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา

เดือน	กระบี่	ชุมพร	ตรัง	นครศรีธรรมราช	นราธิวาส	ปัตตานี	พังงา	พัทลุง	ภูเก็ต	ยะลา	ระนอง	สงขลา	สตูล	สุราษฎร์ธานี
ม.ค.	4.15	3.36	3.91	3.15	3.24	3.25	3.74	3.42	4.25	3.43	3.73	3.81	4.23	3.45
ก.พ.	4.45	4.06	4.57	3.77	3.77	3.86	4.13	3.98	4.61	4.03	4.14	4.24	4.44	4.16
มี.ค.	4.42	4.52	4.45	4.13	4.03	3.82	4.12	4.11	4.54	4.11	4.23	4.40	4.29	4.26
เม.ย.	4.05	4.44	4.18	4.14	4.15	3.87	4.10	4.23	4.31	4.18	4.19	4.44	4.13	4.21
พ.ค.	3.53	3.81	3.61	3.73	3.69	3.41	3.65	3.73	3.80	3.66	3.69	3.82	3.63	3.73
มิ.ย.	3.50	3.44	3.51	3.66	3.56	3.30	3.24	4.00	3.77	3.55	3.27	3.79	3.48	3.36
ก.ค.	3.50	3.41	3.15	3.70	3.54	3.33	3.22	3.69	3.75	3.54	3.22	3.79	3.48	3.31
ส.ค.	3.51	3.44	3.25	3.46	3.65	3.42	3.29	3.82	3.92	3.68	3.25	3.94	3.59	3.39
ก.ย.	3.51	3.32	3.20	3.28	3.33	3.39	3.17	3.80	3.39	3.66	3.17	3.82	3.24	3.28
ต.ค.	3.29	3.32	3.06	3.03	3.17	3.17	3.00	3.52	3.51	3.49	3.29	3.25	3.11	3.01
พ.ย.	3.01	3.30	3.17	2.78	2.87	2.88	3.38	3.12	3.62	2.86	3.34	3.00	3.26	3.03
ธ.ค.	3.63	3.31	3.44	2.90	2.83	2.77	3.39	3.03	3.78	3.01	3.38	3.26	3.67	3.17
เฉลี่ย	**3.71**	**3.65**	**3.63**	**3.48**	**3.49**	**3.37**	**3.54**	**3.70**	**3.94**	**3.60**	**3.57**	**3.80**	**3.71**	**3.53**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ค-3 ค่าการระเหยน้ำอ้างอิงของพืช (ET_o) ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา (ต่อ)

เดือน	กำแพงเพชร	เชียงราย	เชียงใหม่	พิษณุโลก	อุทัยธานี
ม.ค.	3.19	2.72	2.96	3.16	3.54
ก.พ.	3.86	3.40	3.74	3.91	4.51
มี.ค.	4.27	4.24	4.69	4.77	5.50
เม.ย.	4.84	4.83	5.39	5.03	5.51
พ.ค.	4.32	4.19	4.49	4.45	4.22
มิ.ย.	3.84	3.86	3.98	3.59	3.80
ก.ค.	3.42	3.41	3.54	3.50	3.67
ส.ค.	3.37	3.30	3.41	3.41	3.53
ก.ย.	3.51	3.36	3.48	3.19	3.22
ต.ค.	3.41	3.28	3.49	3.43	3.48
พ.ย.	3.21	2.95	3.02	3.21	3.32
ธ.ค.	2.98	2.44	2.72	2.99	3.16
เฉลี่ย	**3.68**	**3.50**	**3.74**	**3.72**	**3.96**

1.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมัน (K_c)

การหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมัน (K_c) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชแบบ Dual crop coefficient ซึ่งเกิดจากผลของการคายน้ำของพืช (K_{cb}) และการระเหยน้ำของดิน (K_e) เนื่องจากการคายระเหยน้ำสามารถเกิดได้จากปัจจัยการคายน้ำของพืชและการระเหยน้ำของดิน ดังนั้นการคำนวณแบบนี้จึงมีความละเอียดมากที่สุด

- **ค่าสัมประสิทธิ์การคายน้ำของพืช (K_{cb})**

โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมัน (K_c) ที่เกิดจากผลของการคายน้ำของพืช (K_{cb}) จะต้องทำการคำนวณหาค่าตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืชคือ ช่วงแรกปลูก (Initial stage) ช่วงเจริญเติบโต (Crop developing stage) ช่วงกลาง (Mid-season stage) และช่วงปลาย (Late season stage) สามารถคำนวณได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

I. ช่วงแรกปลูก (Initial stage) : การหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมัน (K_c) ที่เกิดจากผลของการคายน้ำของพืช (K_{cb}) สามารถหาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ฐานการใช้น้ำของปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นค่าคงที่ แสดงดังตารางที่ ค4

II. ช่วงกลางและช่วงปลาย (Mid and Late season stage) การหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมันที่เกิดจากผลของการคายน้ำของพืช (K_{cb}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (13)

$$K_{cb\ min,end} = K_{cb(Table)} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (13)$$

โดยที่ $K_{cb\ min,end}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมันในช่วงกลางและช่วงปลาย

$K_{cb\ table}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ฐานการใช้น้ำของปาล์มน้ำมัน

U_2 คือ ความเร็วลมเฉลี่ยต่อวันที่ความเร็วลมปานกลาง ($m\ s^{-1}$)

$1\ m\ s^{-1} > U_2 > 6\ m\ s^{-1}$

h คือ ความสูงเฉลี่ยของปาล์มน้ำมันในช่วงกลางหรือช่วงปลาย (m)

III. ช่วงเจริญเติบโต (Crop developing stage) การหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมันที่เกิดจากผลของการคายน้ำของพืช (K_{cb}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (14)

$$K_{c\ i} = K_{c\ prev} + \left[\frac{i - \sum(L_{prev})}{L_{stage}}\right]\left(K_{c\ next} - K_{c\ prev}\right) \quad (14)$$

โดยที่ $K_{c\ i}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมันในช่วงเจริญเติบโต

$K_{c\ prev}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมันในช่วงแรกปลูก

i คือ จำนวนระยะเวลาในช่วงเจริญเติบโต (วัน)

L_{prev} คือ ช่วงการเจริญเติบโตภายใต้ช่วงแรก (วัน)

L_{stage} คือ ช่วงการเจริญเติบโตภายใต้ช่วงที่พิจารณา (วัน)

$K_{c\ prev}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมันในช่วงแรกปลูก

$K_{c\ next}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมันในช่วงถัดไป

โดยช่วงการเจริญเติบโตของปาล์มตลอดอายุการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน แสดงดังตารางที่ ค-4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ค-4 ข้อมูลปาล์มน้ำมัน (ในเขตเส้นศูนย์สูตร)

ปาล์มน้ำมัน	$K_{cb\ ini}$	$K_{cb\ mid}$	$K_{cb\ dev}$	$K_{cb\ end}$
สัมประสิทธิ์การใช้น้ำ	0.85	0.90	-	0.90
ช่วงระยะการเจริญเติบโต	140	30	150	45

ที่มา: FAO No.56

- **ค่าสัมประสิทธิ์การระเหยน้ำของดิน (K_e)**

ค่าสัมประสิทธิ์การระเหยน้ำจากผิวดินเป็นการบ่งบอกถึงส่วนประกอบของการระเหยน้ำที่เกิดขึ้น ซึ่งเกิดจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ฐานการคายน้ำของพืช (K_{cb}) ค่าสูงสุดของสัมประสิทธิ์ฐานการระเหยน้ำของพืช ($K_{c\ max}$) และค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของการระเหยน้ำขึ้นอยู่กับความลึกสะสมจากน้ำที่สูญเสียจากชั้นดิน (K_r) โดยค่า $K_{c\ max}$ และ K_r สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (15) และ (16)

$$K_{cb\,max} = max\left(1.2 + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}\right) \qquad (15)$$

โดยที่ $K_{cb\ max}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำสูงสุด

U_2 คือ ความเร็วลมเฉลี่ยต่อวันที่ความเร็วลมปานกลาง ($m\ s^{-1}$)

RH_{min} คือ ความชื้อสัมพัทธ์ (%)

h คือ ความสูงเฉลี่ยของปาล์มน้ำมันในช่วงกลางหรือช่วงปลาย (m)

$$K_r = \frac{\mathrm{TEW} - \mathrm{D_{e,i-1}}}{\mathrm{TEW} - \mathrm{REW}} \qquad (16)$$

โดยที่ K_r คือ ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำสูงสุด

TEW คือ ความลึกสะสมสูงสุดของการระเหยจากชั้นดินหรือปริมาณน้ำทั้งหมดที่สามารถระเหยได้ (mm)

REW คือ ความลึกสะสมของการระเหยในช่วงสุดท้ายหรือปริมาณน้ำที่มีอยู่สำหรับการระเหย (mm)

$D_{e,i-1}$ คือ ความลึกสะสมของการระเหยจากผิวดินตามความจุของการรับน้ำในช่วงท้ายของวัน (mm)

สำหรับข้อมูลปัจจัยการระเหยระหว่าง TEW และ REW สามารถสรุปได้ว่า เป็นปริมาณน้ำหรือความชื้นจริงที่พืชสูญเสียโดยการระเหย ซึ่งในส่วนนี้หาได้จากฐานข้อมูลดินในแต่ละชนิด โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาข้อมูลชุดดินในแต่ละจังหวัดจากการวิเคราะห์ด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ทำให้ทราบว่าในแต่ละจังหวัดเป็นชุดดินใด แล้วจากนั้นทำการหาค่าปัจจัยการระเหยจาก FAO No.56 เพื่อดูปริมาณน้ำที่พืชสามารถสูญเสียโดยการระเหย

ส่วนความลึกสะสมของการระเหยจากผิวดินในช่วงท้ายของวัน สามารถหาได้จากค่าความสัมพันธ์ดังสมการที่ (17)

$$D_{e,i} = D_{e,i-1} - P_i - \frac{I_i}{f_w} + \frac{E_i}{f_{ew}} + T_{ew,i} + DP_{e,i} \qquad (17)$$

โดยที่ $D_{e,i-1}$ คือ ความลึกสะสมของการระเหยจากผิวดินตามความจุของการรับน้ำในช่วงท้ายของวัน (mm)

$D_{e,i}$ คือ ความลึกสะสมของการระเหยจากดินที่ได้รับน้ำเต็มความจุของการรับน้ำในช่วงท้ายของวัน (mm)

P_i คือ ปริมาณน้ำฝนต่อวัน (mm)

I_i คือ อัตราการแทรกซึมของของปริมาณน้ำชลประทาน (mm)

f_w คือ สัดส่วนของผิวดินที่ได้รับน้ำ (ปริมาณน้ำฝน =1)

f_{ew} คือ สัดส่วนของผิวดินชุ่มน้ำ (f_{ew} =1-f_c)

Ei คือ อัตราการคายระเหยต่อวัน (mm) ($E_i = f_{ew} K_{c\,max} ET_0$)

$T_{ew,i}$ คือ การคายน้ำจากชั้นผิวดิน มีค่าเท่ากับ 0

$DP_{e,i}$ คือ ปริมาณการซึมผ่านจากชั้นระเหย (mm) มีค่าเท่ากับ 0

จากสมการความสัมพันธ์ทั้งหมดมีผลต่อค่าการคายระเหยน้ำของพืชสามารถนำไปคำนวณหาค่าการคายระเหยน้ำของปาล์มน้ำมันได้ ซึ่งหาได้จากผลรวมของสัมประสิทธิ์การระเหยน้ำจากผิวดินและสัมประสิทธิ์การคายน้ำจากผิวพืชคูณกับค่าการคายระเหยอ้างอิงจากตารางที่ ค-2 โดยตัวอย่างการคำนวณการคายระเหยน้ำจริงของปาล์มน้ำมันในจังหวัดกระบี่แสดงดังตารางที่ ค-5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ค-5 ค่าการคายระเหยน้ำของปาล์มน้ำมันของจังหวัดกระบี่

ช่วงการเจริญเติบโต		K_{cb}	K_e	K_c	K_s	ET_c (mm)
Initial	มิถุนายน	0.85	5.47	6.32	1.00	22.09
	กรกฎาคม	0.85	13.64	14.49	1.00	50.68
	สิงหาคม	0.85	32.25	33.10	1.00	116.18
	กันยายน	0.85	26.96	27.81	1.00	97.63
	ตุลาคม	0.85	6.10	6.95	1.00	22.85
Development	ตุลาคม	0.60	23.82	24.42	1.00	80.29
	พฤศจิกายน	0.60	4.65	5.25	1.00	15.81
Mid	พฤศจิกายน	0.50	28.58	28.94	1.00	87.13
	ธันวาคม	0.64	30.16	30.71	1.00	111.35
	มกราคม	0.78	30.94	31.68	1.00	131.57
	กุมภาพันธ์	0.68	31.77	32.38	1.00	144.17
	มีนาคม	0.57	33.30	33.76	1.00	149.33
	เมษายน	0.52	35.56	35.95	1.00	145.50
End	เมษายน	0.39	37.81	38.20	1.00	154.62
	พฤษภาคม	0.83	41.39	42.22	1.00	148.88
ผลรวมทั้งหมด						**1,215.29**

โดยค่าการคายระเหยน้ำจริงของปาล์มน้ำมันตลอดช่วงการเพาะปลูกของจังหวัดอื่นๆที่ปลูกปาล์มน้ำมัน คำนวณได้ในทำนองเดียวกันนี้ โดยการทำการคำนวณตามชนิดและปริมาณของข้อมูลของแต่ละจังหวัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3 การหาค่าประสิทธิภาพฝนใช้การ

ตารางที่ ค6 ค่าประสิทธิภาพฝนใช้การในพื้นที่ที่ทำการศึกษา

เดือน	กระบี่	ชุมพร	ตรัง	นครศรีธรรมราช	นราธิวาส	ปัตตานี	พังงา	พัทลุง	ภูเก็ต	ยะลา	ระนอง	สงขลา	สตูล	สุราษฎร์ธานี
ม.ค.	6.1	51.12	17.54	114.8	83.28	22.88	10.04	25.04	15.26	3.76	1.16	41.52	3.76	91.36
ก.พ.	5.62	27.68	2.6	15.5	17.18	4.28	11.54	1.24	7.7	9.32	2.44	5.3	9.56	9.98
มี.ค.	11.78	23.9	55.04	16.76	33.02	8.3	30.74	39.76	26.18	38.88	10.28	12.02	39.68	20.6
เม.ย.	71.68	35.52	70.48	51.52	31.28	31.52	139.68	69.04	101.68	137.28	87.76	32.16	138.72	44.64
พ.ค.	253.12	127.04	175.52	111.68	92.4	89.36	397.92	81.84	252.32	184.16	386	72.32	183.36	102
มิ.ย.	139.36	114.8	152.48	52.08	69.36	62.8	300.4	39.12	204.72	124.32	562.88	56.8	122.72	50.24
ก.ค.	213.68	115.36	194.48	62.48	96.48	71.2	337.28	56.8	203.52	178.32	499.44	51.92	178.88	80.72
ส.ค.	188.88	140.8	188.96	53.84	93.2	70.48	358.64	39.04	193.6	161.2	622.8	55.84	161.44	60.4
ก.ย.	289.12	102.16	257.6	104.64	127.04	95.2	441.44	85.2	309.76	251.52	515.84	79.68	253.04	66.56
ต.ค.	251.84	196.4	199.2	246.64	191.92	137.92	356.48	167.6	256.56	222.56	290.08	202.8	221.68	188.72
พ.ย.	114.56	280.32	142	490.48	459.2	312.56	176.16	348.64	126.72	163.68	107.84	446.32	163.68	396.88
ธ.ค.	13.34	70.48	60.56	307.2	394.16	226.32	18.98	290.56	32.48	27.74	12.74	298.96	27.74	146.48
ทั้งหมด	**1,559.08**	**1,285.58**	**1,516.46**	**1,627.62**	**1,688.52**	**1,132.82**	**2,579.3**	**1,243.88**	**1,730.5**	**1,502.74**	**3,099.26**	**1,355.64**	**1,504.26**	**1,258.58**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ค-6 ค่าประสิทธิภาพฝนใช้การในพื้นที่ที่ทำการศึกษา (ต่อ)

เดือน	กำแพงเพชร	เชียงราย	เชียงใหม่	พิษณุโลก	อุทัยธานี
ม.ค.	5.2	2.68	5.86	6.04	6.88
ก.พ.	1.6	5.32	7.24	2.86	3.28
มี.ค.	0.86	1.46	2.2	7.46	3.5
เม.ย.	14.78	47.84	20.06	20.6	15.98
พ.ค.	136	139.12	102.72	126.8	84.64
มิ.ย.	112.08	144.96	81.28	122.64	52.8
ก.ค.	94.72	222.56	104.64	127.84	92.08
ส.ค.	100.56	284.32	164.8	181.68	113.36
ก.ย.	194.16	190.72	158.08	169.12	193.04
ต.ค.	145.52	89.92	73.52	101.6	102.8
พ.ย.	29.9	26.3	21.68	8.42	12.74
ธ.ค.	8.8	4.76	1.88	6.7	5.08
เฉลี่ย	**844.18**	**1,159.96**	**743.96**	**881.76**	**686.18**

ค3 การวิเคราะห์เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมัน

การวิเคราะห์ค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในงานวิจัยนี้คิดเฉพาะปุ๋ยไนโตรเจนเท่านั้น โดยหาได้ผลรวมของปุ๋ยไนโตรเจนตลอดวัฏจักรชีวิตของปาล์มน้ำมันที่อายุ 25 ปี แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ ค-7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ค-7 ปริมาณการใช้ปุ๋ยและปริมาณน้ำที่ใช้เจือจางการชะล้างปุ๋ยที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ

จังหวัด	ปุ๋ยไนโตรเจน (ton/y)	สัดส่วนการชะล้าง (ton/y)	C_{max} (mg/l)	WF_{grey} (m^3/ton)
ภาคใต้				
ชุมพร	50,463.59	5,046.36	0.25	449.84
ระนอง	4,820.18	482.02	0.02	443.01
สุราษฎร์ธานี	62,977.16	6,297.72	0.31	425.46
พังงา	7,081.33	708.13	0.04	514.05
ภูเก็ต	82.13	8.21	0.00	708.01
กระบี่	42,406.70	4,240.67	0.21	286.39
ตรัง	8,137.92	813.79	0.04	474.60
นครศรีธรรมราช	12,992.00	1,299.20	0.06	488.48
พัทลุง	1,852.46	185.25	0.01	816.96
สงขลา	1,890.92	189.09	0.01	572.14
สตูล	7323.15	732.32	0.04	505.69
ปัตตานี	1,229.98	123.00	0.01	1,192.99
ยะลา	779.57	77.96	0.00	1,005.90
นราธิวาส	2,789.12	278.91	0.01	572.36
ภาคเหนือ				
เชียงราย	295.33	29.53	0.00	1,558.45
ลำพูน	13.43	1.34	0.00	2,686.46
เชียงใหม่	13.43	1.34	0.00	2,238.72
กำแพงเพชร	325.06	32.51	0.00	2,686.46
พิษณุโลก	392.90	39.29	0.00	3,033.94
อุทัยธานี	180.66	18.07	0.00	2,346.29

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค.4 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไบโอดีเซล

การคำนวณค่ากรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล สามารถหาได้จากวิธีการสะสมแบบขั้นตอน โดยคิดต่อสัดส่วนของผลิตภัณฑ์และสัดส่วนของราคา แสดงดังตารางที่ ค-8

ตารางที่ ค-8 ค่ากรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการผลิต	WF_{proc}[p]	WF_{prod}[i]	f_p	f_v	WF Total
	(l)	(l)			(l/kg CPO)
การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ :ภาคใต้					
WF_{green}	0.00	755.27	0.20	0.93	3,512.03
WF_{blue}	2.49	3.61	0.20	0.93	19.09
การผลิตไบโอดีเซล :ภาคใต้					
WF_{green}	0.00	3,512.03	0.88	1.00	3,969.70
WF_{blue}	0.71	19.09	0.88	1.00	22.29
การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ :ภาคเหนือ					
WF_{green}	0.00	1,571.12	0.20	0.93	7,305.71
WF_{blue}	2.49	1,306.95	0.20	0.93	6,079.63
การผลิตไบโอดีเซล :ภาคเหนือ					
WF_{green}	0.00	7,305.71	0.88	1.00	8,257.76
WF_{blue}	0.71	6,079.63	0.88	1.00	6,872.62

หมายเหตุ: การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ = Output/Input = 0.97/4.86

สัดส่วนของราคา = 0.93 (Chapagain & Hoekstra (2004))

การผลิตไบโอดีเซล

สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ = Output/Input = 0.86/0.97

สัดส่วนของราคา = 1.00 (Chapagain & Hoekstra (2004))

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวิเคราะห์เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เป็นการคิดจากปริมาณน้ำเพื่อเจือจางน้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐาน โดยปริมาณมลสารที่มีอยู่ในน้ำ (L) มีค่าเท่ากับ บีโอดีและซีโอดีที่ได้จากการเก็บข้อมูล สำหรับค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (C_{max}) กำหนดให้มีค่าเท่ากับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม อ้างอิงจากกรมควบคุมมลพิษ โดยค่าบีโอดี เท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าซีโอดี เท่ากับ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าความเข้มข้นตามธรรมชาติ (C_{nat}) มีค่าเท่ากับศูนย์ โดยการคำนวณเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จะเลือกค่าที่มากที่สุดระหว่างบีโอดีและซีโอดี แสดงดังตารางที่ ค-9 และ ค-10

ตารางที่ ค-9 การวิเคราะห์การใช้น้ำในการบำบัดน้ำเสียของการผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการผลิต	L (mg)		C_{max} (mg/l)		WF_{grey} (L)		WF Total
	BOD	COD	BOD	COD	BOD	COD	(L/kg CPO)
การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ							
WF_{grey}	48.12	1,531.01	20.00	120.00	2.63	13.04	13.42
การผลิตไบโอดีเซล							
WF_{grey}	23.43	745.50	20.00	120.00	1.28	6.28	7.30

ตารางที่ ค-10 การวิเคราะห์เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไบโอดีเซล

กระบวนการผลิต	WF_{proc}[p]	WF_{prod}[i]	f_p	f_v	WF Total
	(l)	(l)			(l/kg CPO)
การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ					
$WF_{grey\ ใต้}$	13.42	603.99	0.20	0.93	2,821.04
$WF_{grey\ เหนือ}$	13.42	2,425.06	0.20	0.93	11,289.01
การผลิตไบโอดีเซล					
$WF_{grey\ ใต้}$	7.30	2,821.04	0.88	1.00	3,213.03
$WF_{grey\ เหนือ}$	7.30	11,289.01	0.88	1.00	12,835.72

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์จากระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์จากระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

ง1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อพิจารณาความหนาแน่นในการกระจายตัวของพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน และจากข้อมูลภูมิสารสนเทศการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตพื้นที่ที่ศึกษาปี พ.ศ. 2554 แสดงข้อมูลกลุ่มชุดดินของกรมพัฒนาที่ดิน โดยการวิเคราะห์เชิงทับซ้อน (Overlay) ทำให้ทราบถึงกลุ่มชุดดินในแต่ละพื้นที่ดังแสดงในตารางที่ ง1-ง2 ซึ่งข้อมูลพื้นที่และกลุ่มชุดดินได้ถูกนำมาใช้เพื่อพิจารณาเลือกพื้นที่ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

ตารางที่ ง-1 กลุ่มชุดดินและลักษณะของเนื้อดินตามพื้นที่ที่ศึกษา (ภาคใต้)

จังหวัด	กลุ่มชุดดิน	เนื้อดิน
กระบี่	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย
	ชุดดินที่ 45	ดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 50	ดินร่วนเหนียวปนทราย
สุราษฎร์ธานี	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย
	ชุดดินที่ 50	ดินร่วนเหนียวปนทราย
พังงา	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย
ชุมพร	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย
	ชุดดินที่ 50	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 53	ดินร่วนปนดินเหนียว
ระนอง	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย
	ชุดดินที่ 53	ดินร่วนปนดินเหนียว
ภูเก็ต	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 53	ดินร่วนปนดินเหนียว
นครศรีธรรมราช	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย
	ชุดดินที่ 45	ดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 50	ดินร่วนเหนียวปนทราย
ตรัง	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย
	ชุดดินที่ 50	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 53	ดินร่วนปนดินเหนียว
พัทลุง	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย
	ชุดดินที่ 45	ดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 50	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 53	ดินร่วนปนดินเหนียว
สงขลา	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย
	ชุดดินที่ 50	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 53	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 50	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 53	ดินร่วนปนดินเหนียว
สตูล	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 45	ดินร่วนปนทรายถึงดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 53	ดินร่วนปนดินเหนียว
ปัตตานี	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย
	ชุดดินที่ 50	ดินร่วนเหนียวปนทราย
ยะลา	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย
	ชุดดินที่ 39	ดินร่วนปนทราย
นราธิวาส	ชุดดินที่ 26	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 32	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
	ชุดดินที่ 34	ดินร่วนเหนียวปนทราย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ ง-2 กลุ่มชุดดินและลักษณะของเนื้อดินตามพื้นที่ที่ศึกษา (ภาคเหนือ)

จังหวัด	กลุ่มชุดดิน	เนื้อดิน
เชียงราย	ชุดดินที่ 5	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 7	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 15	ดินร่วนปนทรายแป้ง
	ชุดดินที่ 29	ดินเหนียวปนทรายแป้ง ดินเหนียว
เชียงใหม่	ชุดดินที่ 5	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 7	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 29	ดินเหนียวปนทรายแป้ง ดินเหนียว
ลำพูน	ชุดดินที่ 4	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
	ชุดดินที่ 5	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 7	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 15	ดินร่วนปนทรายแป้ง ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
พิษณุโลก	ชุดดินที่ 6	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
	ชุดดินที่ 15	ดินร่วนปนทรายแป้ง ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
	ชุดดินที่ 17	ดินร่วนปนทราย
กำแพงเพชร	ชุดดินที่ 5	ดินร่วนปนดินเหนียว
	ชุดดินที่ 6	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
	ชุดดินที่ 15	ดินร่วนปนทรายแป้ง ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
	ชุดดินที่ 17	ดินร่วนปนทราย
อุทัยธานี	ชุดดินที่ 6	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง
	ชุดดินที่ 17	ดินร่วนปนทราย
	ชุดดินที่ 35	ดินร่วนปนทราย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก จ

แบบสำรวจข้อมูลการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก จ

แบบสำรวจข้อมูลการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

การวิเคราะห์เอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

ผู้เก็บข้อมูล……วันที่กรอกข้อมูล……..…

ผู้ตรวจสอบแบบสอบถาม……

- -

<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลส่วนตัว

1.1 ชื่อ-นามสกุล……เบอร์โทรศัพท์……..…

บ้านเลขที่……หมู่ที่……..……บ้าน…….……..

ตำบล……..……..อำเภอ……จังหวัด……...……..…

รหัสไปรษณีย์…….……..

1.2 เลขที่ที่ตั้ง(พื้นที่เพาะปลูก)……...หมู่ที่……..……..…

บ้าน……..…….....ตำบล……อำเภอ……..……

จังหวัด…….....…

1.3 เพศ [ ] 1. ชาย [ ] 2. หญิง

1.4 อายุ……...ปี

1.5 การศึกษาสูงสุด

1. [ ] ไม่เรียน 2. [ ] จบประถมศึกษา 3. [ ] จบมัธยมศึกษา

4. [ ] อนุปริญญา 5. [ ] ปริญญาตรี 6. [ ] สูงกว่าปริญญาตรี

1.6 จำนวนพื้นที่.....ไร่.....งาน.....วา

1.7 ลักษณะพื้นที่

[ ] ที่ลุ่ม [ ] ที่ดอน [ ] เชิงเขา [ ] อื่น ๆ.....

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

<u>ส่วนที่ 2</u> ข้อมูลการอนุบาลต้นกล้า

2.1 ระยะเวลาในการอนุบาลต้นกล้า……..เดือน

2.2 พันธุ์ที่ใช้ในการปลูก

[ ] ดูรา [ ] เทเนอรา [ ] พิสิเฟอรา

[ ] ลูกผสมแบบเทเนอรา [ ] ลูกผสมอื่นๆ

2.3 ลักษณะดินที่ปลูก……

2.4 ระยะการอนุบาลต้นกล้า

1. ระยะการอนุบาลแรก (3 เดือนแรก)

มีการให้ปุ๋ยหรือไม่

[ ] ไม่ใส่ (ข้ามไปตอบข้อ 2) [ ] ใส่

ชนิดของปุ๋ยที่ใช้ในการปรับปรุงดิน

[ ] ปุ๋ยอินทรีย์ [ ] ปุ๋ยคอก [ ] ปุ๋ยหมัก

[ ] พืชสด [ ] ปุ๋ยเคมี [ ] ปุ๋ยน้ำ

ชนิดของปุ๋ยเคมี

[ ] ชนิดที่ 1: 15-15-6-4 [ ] ชนิดที่ 2: 12-12-17-2

[ ] ชนิดที่ 3: 0-0-60 [ ] อื่นๆ.....

อัตราการใส่ปุ๋ย……..

2. ระยะการอนุบาลหลัก (ตั้งแต่ 3 เดือนขึ้นไป)

ชนิดของปุ๋ยเคมี

[ ] ชนิดที่ 1: 15-15-6-4 [ ] ชนิดที่ 2: 12-12-17-2

[ ] ชนิดที่ 3: 0-0-60 [ ] ชนิดที่ 4: คลีเซอไรด์

[ ] อื่นๆ.....

อัตราการใส่ปุ๋ย (กรัม/ต้น)……

2.5 การให้น้ำกล้าปาล์ม

1. ในการเพาะกล้าปาล์มมีการให้น้ำจากแหล่งน้ำหรือไม่

[ ] ไม่มี [ ] มี (ให้ตอบคำถามข้อ 2 – 8 ต่อไป)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. แหล่งน้ำที่ใช้ในการให้น้ำ

[ ] น้ำชลประทาน [ ] น้ำจากคลองธรรมชาติ

[ ] น้ำบาดาล [ ] อื่น ๆ.....

3. มีการให้น้ำอย่างไร

[ ] ตามอายุกล้าปาล์ม [ ] ไม่ตามอายุ

4. รอบการให้น้ำ

[ ] ทุกวัน [ ] ทุก ๆ 2 วันครั้ง

[ ] ทุก ๆ 3 วันครั้ง [ ] อื่นๆ.....

5. การรับน้ำเข้าพื้นที่ปลูก

[ ] ใช้เครื่องสูบน้ำ [ ] ใช้ปั๊มน้ำ

[ ] โดยแรงโน้มถ่วง ปล่อยน้ำตามร่อง [ ] อื่น ๆ….....

6. เชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องสูบน้ำหรือปั๊มน้ำ

[ ] ใช้ไฟฟ้า [ ] น้ำมันเบนซิน

[ ] น้ำมันดีเซล [ ] อื่นๆ.....

ข้อมูลเครื่องสูบน้ำหรือปั๊มน้ำ (เลือกตอบเพียง 1 ข้อ)

[ ] อัตราการไหล…… (ลบ.ม./ชั่วโมง, ลบ.ม./นาที, ลิตร/นาที, ลิตร/ชั่วโมง)

[ ] ขนาดปั๊มหรือมอเตอร์.....แรงม้า

[ ] กำลังไฟฟ้า.....วัตต์ กระแส.....แอมป์

ขนาดของท่อ.....นิ้ว

ความสูงของท่อสูบน้ำ.....เมตร (ในกรณีที่ใช้น้ำบาดาลเท่านั้น)

7. วิธีการให้น้ำ

[ ] ระบบสปริงเกอร์

ขนาดของหัวสปริงเกอร์.....

อัตราการไหล..... (ลบ.ม./ชั่วโมง, ลบ.ม./นาที, ลิตร/นาที, ลิตร/ชั่วโมง)

แรงดันน้ำ.....บาร์ รัศมีการฉีด.....เมตร

ระยะห่างระหว่างสปริงเกอร์.....เมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

[ ] ระบบน้ำหยด

การวางสาย [ ] แนวกึ่งกลางร่อง [ ] ข้างร่อง [ ] อื่นๆ.....

ลักษณะการวาง [ ] ทุกร่อง [ ] เว้นร่อง [ ] อื่นๆ.....

ขนาดท่อหรือสาย.....นิ้ว

[ ] อื่น ๆ……

8. ระยะเวลาในการให้น้ำต่อครั้ง

[ ] 1 ชั่วโมง [ ] 2 ชั่วโมง

[ ] 3 ชั่วโมง [ ] อื่น ๆ.....

<u>ส่วนที่ 3</u> ข้อมูลกระบวนการเพาะปลูก

1.1 การเตรียมพื้นที่ปลูก

สภาพพื้นที่ปลูก

[ ] พื้นที่เชิงเขา [ ] พื้นที่ลุ่มมีน้ำขังยกร่อง [ ] พื้นที่นายกร่อง

[ ] พื้นที่นา ยกร่อง [ ] พื้นที่ปลูกเป็นดินทรายจัด

ลักษณะดินที่ปลูก

[ ] ดินร่วน-ดินเหนียว [ ] ดินร่วนปนทราย-ดินเหนียว

[ ] ดินร่วนปนทราย

การเตรียมดิน

1. การปรับปรุงดินมีการใส่ปุ๋ยหรือไม่

[ ] ไม่ใส่ (ข้ามไปตอบข้อ 3) [ ] ใส่ (ให้ตอบคำถามข้อ 2 ด้วย)

2. ชนิดของปุ๋ยที่ใช้ในการปรับปรุงดิน

[ ] ปุ๋ยอินทรีย์ [ ] ปุ๋ยคอก [ ] ปุ๋ยหมัก [ ] พืชสด

[ ] ปุ๋ยเคมี

ชนิดของปุ๋ยเคมี

[ ] 15-15-15 [ ] 46-0-0 [ ] 18-46-0 [ ] 0-60-60

[ ] คีเซอไรต์ [ ] โบเรต [ ] อื่นๆ.....

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อัตราการใส่ปุ๋ย (กระสอบต่อไร่)

[ ] 1 กระสอบ [ ] 2 กระสอบ [ ] 3 กระสอบ

[ ] 4 กระสอบ [ ] 5 กระสอบ [ ] อื่นๆ.....

ปุ๋ย 1 กระสอบมีกี่กิโลกรัม

[ ] 15 กิโลกรัม [ ] 20 กิโลกรัม [ ] 25 กิโลกรัม

[ ] 50 กิโลกรัม [ ] อื่นๆ…….....

3. การเตรียมดินมีการไถ พรวนดินหรือไม่

[ ] มี [ ] ไม่มี (ข้ามไปตอบข้อ 7)

4. ประเภทของรถไถที่ใช้ในการไถดิน

[ ] รถไถเดินตาม [ ] รถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก

[ ] รถแทรกเตอร์ขนาดใหญ่ [ ] อื่น ๆ…….....

5. ประเภทของเชื้อเพลิง (เลือกตอบ 1 ข้อ)

[ ] น้ำมันเบนซิน [ ] น้ำมันดีเซล

[ ] อื่น ๆ.....

6. ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเท่าไหร่ต่อไร่

[ ] 1 ลิตร [ ] 2 ลิตร [ ] 3 ลิตร [ ] 4 ลิตร [ ] 5 ลิตร

[ ] ซื้อน้ำมัน.....บาทต่อไร่ [ ] อื่น ๆ (โปรดระบุ).....

1.2 การปลูก

ความหนาแน่นของประชากร

ระยะการปลูก……เมตร

จำนวน (ต้น/ไร่)…….

1.3 ช่วงระยะเวลาการปลูก

[ ] ในช่วงฤดูฝน [ ] ในช่วงหลังฤดูฝน [ ] ในช่วงฤดูแล้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.4 ตามปรกติเกษตรกรเลือกวันปลูกอย่างไร

[ ] ปลูกวันที่ 1 ของเดือน [ ] ปลูกวันที่ 15 ของเดือน [ ] ปลูกหลังฝนตก

[ ] อื่น ๆ.....

1.5 เกษตรกรจะเก็บเกี่ยวผลผลิตเมื่อไหร่

[ ] หลังจากปลูก 15 เดือน [ ] หลังจากปลูก 30 เดือน

[ ] หลังจากปลูก 45 เดือน [ ] อื่น ๆ.....

1.6 การกำจัดวัชพืชก่อนการเพาะปลูก

1. [ ] ใช้วิธีการไถกลบ
2. [ ] ใช้สารเคมี (โปรดระบุ

ชื่อ).....

อัตราการใช้สารเคมี.....

3. [ ] ใช้วิธีการเผา
4. [ ] อื่น ๆ.....

1.7 การบำรุงรักษา

1. การดูแลรักษามีการใส่ปุ๋ยหรือไม่

[ ] ไม่ใส่ [ ] ใส่ (ให้ตอบคำถามข้อ 2 - 4 ด้วย)

2. ชนิดของปุ๋ยที่ใช้

[ ] ปุ๋ยอินทรีย์ [ ] ปุ๋ยคอก [ ] ปุ๋ยหมัก [ ] พืชสด

[ ] ปุ๋ยเคมี

ชนิดของปุ๋ยเคมี

[ ] 46-0-0 [ ] 18-46-0 [ ] 0-60-60

[ ] คีเซอไรต์ [ ] โบเรต [ ] อื่นๆ.....

อัตราการใส่ปุ๋ย (กระสอบต่อไร่)

[ ] 1 กระสอบ [ ] 2 กระสอบ [ ] 3 กระสอบ

[ ] 4 กระสอบ [ ] 5 กระสอบ [ ] อื่นๆ.....

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปุ๋ย 1 กระสอบมีกี่กิโลกรัม

[ ] 20 กิโลกรัม [ ] 25 กิโลกรัม [ ] 50 กิโลกรัม

[ ] อื่นๆ.....

3. ระยะเวลาการใส่ปุ๋ยเคมี (ตามช่วงอายุ)

<u>อายุ 1-3 ปี</u>

ชนิดของปุ๋ยเคมี

[ ] 46-0-0 [ ] 18-46-0 [ ] 0-60-60

[ ] คีเซอไรต์ [ ] โบเรต [ ] ปุ๋ยหมัก

[ ] ปุ๋ยอินทรีย์ [ ] ปุ๋ยคอก [ ] พืชสด

[ ] อื่นๆ.....

อัตราการใส่ปุ๋ย (กระสอบต่อไร่)

[ ] 1 กระสอบ [ ] 2 กระสอบ [ ] 3 กระสอบ

[ ] 4 กระสอบ [ ] 5 กระสอบ [ ] อื่นๆ .....

ปริมาณการแบ่งใส่ (ครั้ง/ปี)

[ ] 1 ครั้ง [ ] 2 ครั้ง

[ ] 3 ครั้ง [ ] อื่น ๆ.....

<u>อายุ 4-8 ปี</u>

ชนิดของปุ๋ยเคมี

[ ] 46-0-0 [ ] 18-46-0 [ ] 0-60-60

[ ] คีเซอไรต์ [ ] โบเรต [ ] ปุ๋ยหมัก

[ ] ปุ๋ยอินทรีย์ [ ] ปุ๋ยคอก [ ] พืชสด

[ ] อื่นๆ.....

อัตราการใส่ปุ๋ย (กระสอบต่อไร่)

[ ] 1 กระสอบ [ ] 2 กระสอบ [ ] 3 กระสอบ

[ ] 4 กระสอบ [ ] 5 กระสอบ [ ] อื่นๆ .....

ปริมาณการแบ่งใส่ (ครั้ง/ปี)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

[ ] 1 ครั้ง [ ] 2 ครั้ง

[ ] 3 ครั้ง [ ] อื่น ๆ……

<u>อายุมากกว่า 9 ปี</u>

ชนิดของปุ๋ยเคมี

[ ] 46-0-0 [ ] 18-46-0 [ ] 0-60-60

[ ] คีเซอไรต์ [ ] โบเรต [ ] ปุ๋ยหมัก

[ ] ปุ๋ยอินทรีย์ [ ] ปุ๋ยคอก [ ] พืชสด

[ ] อื่นๆ.....

อัตราการใส่ปุ๋ย (กระสอบต่อไร่)

[ ] 1 กระสอบ [ ] 2 กระสอบ [ ] 3 กระสอบ

[ ] 4 กระสอบ [ ] 5 กระสอบ [ ] อื่นๆ ……

ปริมาณการแบ่งใส่ (ครั้ง/ปี)

[ ] 1 ครั้ง [ ] 2 ครั้ง

[ ] 3 ครั้ง [ ] อื่น ๆ……

1.8 การกำจัดวัชพืช

1.9 การกำจัดวัชพืชก่อนการเพาะปลูก

1. [ ] ใช้วิธีการไถกลบ
2. [ ] ใช้สารเคมี.....

อัตราการใช้สารเคมี.....

3. [ ] ใช้วิธีการเผา
4. [ ] อื่น ๆ……

1. ในการปลูก 1 รอบมีการกำจัดวัชพืชกี่ครั้ง

[ ] 1 ครั้ง [ ] 2 ครั้ง

[ ] 3 ครั้ง [ ] อื่น ๆ……

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.10 มีการใช้สารเคมีกำจัดโรคและศัตรูพืชหรือไม่

[ ] ไม่มี [ ] มี [ ] อื่น ๆ.....

หากมีใช้สารเคมีชื่อ.....

อัตราการใส่.....

1.11 การให้น้ำ

1. ในการเพาะกล้าปาล์มมีการให้น้ำจากแหล่งน้ำหรือไม่

   [ ] ไม่มี [ ] มี (ให้ตอบคำถามข้อ 2 – 8 ต่อไป)

2. แหล่งน้ำที่ใช้ในการให้น้ำ

   [ ] น้ำชลประทาน [ ] น้ำจากคลองธรรมชาติ

   [ ] น้ำบาดาล [ ] อื่น ๆ.....

3. มีการให้น้ำอย่างไร

   [ ] ตามอายุกล้าปาล์ม [ ] ไม่ตามอายุ

4. รอบการให้น้ำ

   [ ] ทุกวัน [ ] ทุก ๆ 2 วันครั้ง

   [ ] ทุก ๆ 3 วันครั้ง [ ] อื่นๆ.....

5. การรับน้ำเข้าพื้นที่ปลูก

   [ ] ใช้เครื่องสูบน้ำ [ ] ใช้ปั๊มน้ำ

   [ ] โดยแรงโน้มถ่วง ปล่อยน้ำตามร่อง [ ] อื่น ๆ.....

6. เชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องสูบน้ำหรือปั๊มน้ำ

   [ ] ใช้ไฟฟ้า [ ] น้ำมันเบนซิน

   [ ] น้ำมันดีเซล [ ] อื่นๆ.....

   ข้อมูลเครื่องสูบน้ำหรือปั๊มน้ำ (เลือกตอบเพียง 1 ข้อ)

   [ ] อัตราการไหล..... (ลบ.ม./ชั่วโมง, ลบ.ม./นาที, ลิตร/นาที, ลิตร/ชั่วโมง)

   [ ] ขนาดปั๊มหรือมอเตอร์.....แรงม้า

   [ ] กำลังไฟฟ้า.....วัตต์ กระแส.....แอมป์

   ขนาดของท่อ.....นิ้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความสูงของท่อสูบน้ำ.....เมตร (ในกรณีที่ใช้น้ำบาดาลเท่านั้น)

7. วิธีการให้น้ำ

[ ] ระบบสปริงเกอร์

ขนาดของหัวสปริงเกอร์.....

อัตราการไหล..... (ลบ.ม./ชั่วโมง, ลบ.ม./นาที, ลิตร/นาที, ลิตร/ชั่วโมง)

แรงดันน้ำ.....บาร์ รัศมีการฉีด.....เมตร

ระยะห่างระหว่างสปริงเกอร์.....เมตร

[ ] ระบบน้ำหยด

การวางสาย [ ] แนวกึ่งกลางร่อง [ ] ข้างร่อง [ ] อื่นๆ.....

ลักษณะการวาง [ ] ทุกร่อง [ ] เว้นร่อง [ ] อื่นๆ.....

ขนาดท่อหรือสาย.....นิ้ว

[ ] อื่น ๆ…….....

8. ระยะเวลาในการให้น้ำต่อครั้ง

[ ] 1 ชั่วโมง [ ] 2 ชั่วโมง

[ ] 3 ชั่วโมง [ ] อื่น ๆ.....

1.12 วิธีการเก็บเกี่ยว

[ ] ใช้แรงงานคน

[ ] ใช้เครื่องจักร

ประเภทของเชื้อเพลิง (เลือกตอบ 1 ข้อ)

[ ] น้ำมันเบนซิน [ ] น้ำมันดีเซล [ ] อื่น ๆ).....

ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเท่าไหร่ต่อไร่

[ ] 1 ลิตร [ ] 2 ลิตร [ ] 3 ลิตร [ ] 4 ลิตร [ ] 5 ลิตร

[ ] ซื้อน้ำมัน.....บาทต่อไร่

[ ] อื่น ๆ.....

1.13 การลำเลียงขึ้นรถบรรทุก

[ ] ใช้แรงงานคน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

[ ] ใช้เครื่องจักร

ประเภทของเชื้อเพลิง (เลือกตอบ 1 ข้อ)

[ ] น้ำมันเบนซิน [ ] น้ำมันดีเซล [ ] อื่น ๆ).....

ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเท่าไหร่ต่อไร่

[ ] 1 ลิตร [ ] 2 ลิตร [ ] 3 ลิตร [ ] 4 ลิตร [ ] 5 ลิตร

[ ] ซื้อน้ำมัน.....บาทต่อไร่

[ ] อื่น ๆ.....

ผลผลิตเฉลี่ยต่อครั้ง.....กิโลกรัมต่อไร่

1.14 วิธีการกำจัดเศษที่เกิดในขั้นตอนกระบวนการเพาะปลูก

เศษซากพืช

[ ] เผา [ ] ทิ้งไว้ในแปลงเพื่อให้เป็นปุ๋ย [ ] อื่นๆ….....

กระสอบปุ๋ย

[ ] เผา [ ] ขาย [ ] เอากลับมาใช้ใหม่

[ ] ทิ้งขยะเทศบาล [ ] ทิ้งทั่วไป [ ] อื่นๆ…….....

ขวดพลาสติก / ขวดแก้ว / ถุงพลาสติก

[ ] เผา [ ] ขาย [ ] เอากลับมาใช้ใหม่

[ ] ทิ้งขยะเทศบาล [ ] ทิ้งทั่วไป [ ] อื่นๆ…….....

8.1 การขนส่งผลผลิต

1. การขายผลผลิต

[ ] ขายให้โรงงานโดยตรง [ ] พ่อค้าคนกลาง [ ] ผ่านสหกรณ์

[ ] อื่น ๆ…….....

2. การขนส่งผลผลิตไปยังผู้รับซื้อ

[ ] ใช้รถส่วนตัว [ ] รถของผู้รับซื้อ [ ] รถของสหกรณ์

[ ] อื่น ๆ…….....

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ใช้รถประเภทไหนในการขนส่ง

[ ] รถกระบะ 4 ล้อ [ ] รถกระบะ 6 ล้อ [ ] รถกระบะ 10 ล้อ

[ ] รถกระบะบรรทุกพ่วง 18 ล้อ [ ] อื่น ๆ……

4. รถหนึ่งคันบรรจุผลผลิตได้กี่ตัน (ขนส่งเที่ยวละกี่ตัน)

[ ] 7 ตัน [ ] 8.5 ตัน [ ] 11 ตัน

[ ] 16 ตัน [ ] 32 ตัน [ ] อื่น ๆ…

5. ระยะทางจากไร่ขนส่งไปยังผู้รับซื้อ.....กิโลเมตร

6. ขากลับตีรถเปล่ากลับใช่หรือไม่

[ ] ใช่ [ ] ไม่ใช่

7. บรรจุภัณฑ์สำหรับการขนส่ง

[ ] กระสอบ [ ] ตะกร้า

[ ] ไม่มีบรรจุภัณฑ์ [ ] อื่นๆ……

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ฉ
บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ

ชื่อบทความ	หน้า
การวิเคราะห์วอเตอร์พุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย ลักขณา เจริญสุข, รัตชยุดา กองบุญ, เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล	1
การวิเคราะห์การจัดการห่วงโซ่อุปทานเชิงสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในประเทศไทย ปิยาภรณ์ วิทูล, ศักดิ์เกษม ระมิงค์วงศ์, เอกพร นวภานันท์, เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล	12
การหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการล้างทำความสะอาดชิ้นงานด้วยคลื่นอัลตร้าโซนิคในผลิตภัณฑ์ฐานรองรับชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ วิภาสพล อ่อนสอาด, สิงห์แก้ว ป๊อกเพ็ง, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	22
การผลิตวัสดุปลูกพืชจากของเสียในอุตสาหกรรมน้ำตาล ภูษิต อัษฎาธร, วรจิตต์ เศรษฐพรรค์, ทัศนุพันธุ์ กุศลสถิตย์	32
การใช้เถ้าชานอ้อยจากอุตสาหกรรมน้ำตาลในการผลิตคอนกรีตมวลเบา อรรควินทร์ อภิวรานุวัฒน์, เปรื่อง กิจรัตน์ภร, กัญจน์นรี ช่วงฉ่ำ, ธารทิพย์ พันธ์เมธาฤทธิ์	38
การจัดการโลจิสติกส์ข้าวเพื่อสิ่งแวดล้อมช่วงหลังการเก็บเกี่ยวโดยการแบ่งเขตพื้นที่ กรณีศึกษาตำบลท่าตะโก จังหวัดนครสวรรค์ กรรณิการ์ มิ่งเมือง, ภริดา พิมพันธุ์, มาศสกุล ภักดีอาษา, กฎนคร สมประสงค์, วิภาวรรณ โพธิ์นินิจ, นริทร์ แดงแย้ม, ภีรภัทร คงเพชรศักดิ์	45
การนำซิงค์ออกไซด์ที่ใช้สารลดแรงตึงผิวช่วยในการสังเคราะห์ไปใช้ในการย่อยสลายสีย้อมผ้าที่ใช้ในโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์ คุณากรณ์ ภู่เพียงใจ, จารุมนต์ หอวิวัฒน์วงศ์, เบญจวรรณ ภูมมาฤทธิ์, ภราภรณ์ ทศพร, พงศ์ธร ธูปะเตมีย์	53
การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้านการจัดการวัสดุคงคลัง กรณีศึกษาโรงงานน้ำปลา วิเชียร หงษ์จันอัด, วิภานันท์ เอียประเสริฐ	62
การพัฒนาผลิตภัณฑ์ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ กรณีศึกษาเครื่องดื่มรังนกแท้ กลุ่มแม่บ้านเพ็งอาด อำเภอปากพะยูน จังหวัดพัทลุง ผจงจิต พิจิตบรรจง, กุลยุทธ บุญเชิง, ศุภชัย ชัยณรงค์	68
การพัฒนากระบวนการรีไซเคิลพลาสติกซีพีพีในอุตสาหกรรรมบรรจุภัณฑ์กลับมาใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุนการผลิตและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน จีรายุส จันทราภาสกุล, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	75

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ

ชื่อบทความ	หน้า
การลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตกระป๋องโดยการใช้การควบคุมกระบวนการด้วยหลักการทางสถิติ กีรติศักดิ์ กีรติอัศมเดช, ไพฑูรย์ ศิริโอฬาร, ชัชพล มงคลิก	84
การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการอบเทมเปอร์กรณีศึกษาโรงงานแปรรูปกระจก ธนเดชน์ พันธ์สิมา, สุวิชภรณ์ วิชกุล	93
การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตผลิตภัณฑ์ดูแลช่องปากจากกระชาย อดุล วรรณศร, สาวิตรี จันทรานุรักษ์, วัฒนพงษ์ รักษ์วิเชียร, วรจิตต์ เศรษฐพรรค์	102
การศึกษาอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเอทานอลในรถจักรยานยนต์ 135 ซีซี. ด้วยแนวทางการอนุรักษ์พลังงานเพื่อความยั่งยืน ชาญณรงค์ นามสนิท, สุรเชษฐ เตชฟุ้ง, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	111
การศึกษาเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบเทคโนโลยีเคลือบสีผิวโลหะตามหลักการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน พุฒิพงศ์ ชัยสมบูรณ์พันธ์, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	121
การพัฒนาระบบป้อนชิ้นงานแบบเปลี่ยนระยะห่างการวางชิ้นงาน สุกิจ เจริญวิโรจน์, ณัฐวุฒิ เทพยสุวรรณ, ชนะ รักษ์ศิริ	129
การศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการลดต้นทุนเพื่อสนับสนุนการจัดการน้ำประปาอย่างยั่งยืนของการประปานครหลวง กรณีศึกษาโรงกรองน้ำบางเขน สมบูรณ์ กลั่นสกุล, ปริญญ์ บุญกนิษฐ์, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	139
การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องกลั่นน้ำด้วยการใช้กระจกสูญญากาศ สุธี ขำเมือง, สุรเชษฐ เตชฟุ้ง, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	149
การปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกเพื่อมุ่งสู่ความยั่งยืน โดยวิธีการคำนวณคาร์บอนฟุตพริ้นท์สำหรับผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษาภาชนะบรรจุพลาสติกโพลีโพรลีลี สุวัสส์ แพ่งธีระสุขมัย, ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล, ปริญญ์ บุญกนิษฐ, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	156
บทบาทและศักยภาพของหังสเตน และหังสเตนคาร์ไบด์เพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ปฐมพงษ์ จำนงพันธ์, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ, ปริญญ์ บุญกนิษฐ	167
การศึกษาเพื่อระบุโอกาสเพิ่มมูลค่ากากอะซีโตน วรวุฒิ กาญจนภิตติชัย, วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง, สหรัตน์ วงษ์ศรีษะ	177

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
นวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 1 ประจำปี 2555

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทย
Water Footprint Analysis of Oil Palm for Biodiesel Production in Thailand

ลักขณา เจริญสุข[1*] รัตชยุดา กองบุญ[2] และ เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล[3]
สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
lukkana.j@gmail.com
[2]สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ goong290623@hotmail.com
[3]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ sate@eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

กระทรวงพลังงานได้พยากรณ์ความต้องการพลังงานในอนาคตของประเทศไทย โดยคาดการณ์ว่าในปี 2564 ปริมาณความต้องการพลังงานจะเพิ่มมากขึ้น โดยกำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 25 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ซึ่งภาครัฐได้มุ่งเน้นและให้การสนับสนุนพัฒนาทั้งด้านอุปทานและอุปสงค์อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานทดแทนในภาคขนส่งอย่างไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบภายในประเทศ คือ ปาล์มน้ำมัน ซึ่งมีการส่งเสริมการปลูกปาล์มให้มากขึ้นเพื่อให้ได้สัดส่วนกำลังการผลิต 18.5% โดยข้อดีเป็นการส่งเสริมพัฒนาพลังงานทดแทนให้เป็นหนึ่งในพลังงานหลักทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดการนำเข้าน้ำมันได้อย่างยั่งยืน แต่ในทางกลับกันก็ส่งผลต่อความต้องการการใช้น้ำและการเกิดมลภาวะอันเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยและสารเคมีในช่วงการเพาะปลูกเพิ่มขึ้น โดยส่งผลกระทบโดยตรงต่อทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซล โดยอาศัยแนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งในการวิเคราะห์และบริหารจัดการน้ำอย่างยั่งยืน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตของปาล์มน้ำมันในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ทั้งหมด 16 จังหวัด (ปีพ.ศ.2550–2554) ซึ่งมีความแตกต่างตามลักษณะของสภาพภูมิอากาศในแต่ละพื้นที่ จากผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลมีค่าเท่ากับ 2,139 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ส่วนใหญ่เกิดจากปริมาณการใช้น้ำจากการคายระเหยของน้ำฝน 50% และเมื่อพิจารณาปริมาณการใช้น้ำในแต่ละพื้นที่ พบว่า ในเขตพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้น้ำสูงถึง 3.9 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ภาคใต้ โดยจังหวัดที่ใช้น้ำมากที่สุดคือ พิษณุโลก มีค่าเท่ากับ 6,098 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน และจังหวัดที่มีการใช้น้ำน้อยที่สุดคือ สุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ 1,070 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ดังนั้นแนวทางการลดปริมาณการใช้น้ำที่เกิดขึ้นจึงควรมุ่งเน้นการศึกษาวิจัยและการพัฒนาระบบน้ำให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อการพัฒนาด้านพลังงานทดแทนอย่างยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: วอเตอร์ฟุตพริ้นท์; กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์; บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์; เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์; ปาล์มน้ำมัน

Abstract

Ministry of Energy has predicted that the need of energy in Thailand will be increased in 2022 and the ratio of renewable energy use is expected to be increased up to 25% of the total energy use. The government has promoted and supported the development in demand and supply continuously, especially the development in renewable energy for transportation such as biodiesel. As biodiesel is a fuel which can be produced from a raw material in Thailand i.e. oil palm, the cultivation of oil palm has been highly supported in order to increase the ratio of

[1] สาขาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200
[1] Energy Engineering Program, Faculty of Engineering, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand 5020

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

fuel production to 18.5%. Advantageously, it is the development of renewable energy to be used as a main energy in substitution of fossil fuel and reduce the imports of refined oil sustainably. In the other hand, it affects the need of water use and causes pollutions from using fertilizers and chemical substances increasingly in the cultivation period which directly impacts the limited water resource. As a result, this research study has been conducted to analyze the water use of palm cultivation for biodiesel using water footprint concept which is a tool for sustainable water analysis and management. The purpose of the study is to analyze amount of water use per product unit of oil palm in 16 provinces in Northern and Southern Thailand (2008-2012) which are different in climate. It was found that the average water footprint of oil palm was 2,139 m^3/ton. Most of the water footprint (50%) was from the evaporation of rainwater. When considering the use of water in each area, it was found that the areas in Northern Thailand used water 3.9 times more than those in Southern Thailand. Phitsanulok was the province that used the highest amount of water, which was 6,098 m^3/ton. And Surat Thani was the province that used the lower amount of water, which was 1,070 m^3/ton. Thus, to decrease the amount of water used, we should focus on researching and developing the efficiency water system to sustainably develop renewable energy in the future.

Keyword: Water Footprint; Green Water Footprint; Blue Water Footprint; Grey Water Footprint; Oil palm.

1. บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันปัญหาสถานการณ์ราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจึงทำให้ประเทศไทยจำเป็นต้องจัดหาพลังงานทดแทนเพื่อใช้ทดแทนน้ำมัน ซึ่งภาครัฐมีมาตรการและนโยบายที่สนับสนุนเชื้อเพลิงทดแทนการใช้น้ำมันให้มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นการวางแผนใช้เอทานอลหรือไบโอดีเซล โดยการวางแผนพัฒนาการใช้เอทานอลเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันเบนซินในประเทศสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ในทางกลับกันการวางแผนที่จะนำไบโอดีเซลมาทดแทนการใช้น้ำมันดีเซลยังมีข้อจำกัดอยู่มาก โดยเฉพาะวัตถุดิบหลักอย่างปาล์มน้ำมันที่สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลมีไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงเร่งให้การสนับสนุนพัฒนาทั้งด้านอุปทานและอุปสงค์อย่างต่อเนื่อง โดยมีเป้าหมายว่า ภายในปี 2564 ต้องมีพื้นที่ปลูกปาล์มที่ให้ผลผลิตไม่น้อยกว่า 5.5 ล้านไร่ และผลผลิตต้องเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยทั้งประเทศ 3.5 ตันต่อไร่ เพื่อให้ได้อัตราส่วนการใช้น้ำมันไม่น้อยกว่า 18.5% โดยอาศัยการขยายพื้นที่เพาะปลูกไปยังภูมิภาคต่างๆ (ภาคเหนือ กลาง ตะวันออกเฉียงเหนือ) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมดุลปริมาณน้ำมันปาล์มดิบของประเทศไทยตั้งแต่ปี 2550-2554

สมดุลน้ำมันปาล์มดิบ	2550	2551	2552	2553	2554
พื้นที่เพาะปลูก (ล้านไร่)	**3.23**	**3.68**	**3.89**	**4.07**	**4.14**
ภาคเหนือ	0.0002	0.0007	0.0008	0.0020	0.0022
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	0.003	0.004	0.005	0.008	0.008
ภาคกลาง	0.29	0.38	0.41	0.45	0.47
ภาคใต้	2.91	3.25	3.42	3.54	3.57
ผลผลิตรวม (ล้านตัน)	**1.21***	**1.56**	**1.83**	**2.18**	**2.85**
ผลิตเพื่อการส่งออก	0.09*	0.16	0.16	0.16	0.16
ผลิตเพื่อบริโภค	0.81*	0.92	0.98	1.05	1.13
ผลิตไบโอดีเซล	0.03*	0.30	0.34	0.35	0.76
เหลือน้ำมันปาล์มดิบ	0.09*	0.81	0.35	0.62	0.80

ที่มา: แผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี (2555)
*ที่มา: กรมการค้าภายใน (2550)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนจะเป็นการช่วยลดการนำเข้าน้ำมัน การสร้างความมั่นคงด้านพลังงานและเพิ่มรายได้ให้กับภาคเกษตร ส่วนในมุมมองทางด้านสิ่งแวดล้อมก็ยังช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก แต่ในทางตรงกันข้ามกลับส่งผลให้ความต้องการการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกและการเกิดมลภาวะอันเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยและสารเคมีในกระบวนการเพาะปลูกเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อทรัพยากรน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัด

โดยจากการศึกษาทางสถิติของ United Nations (UN, 2011) ชี้ให้เห็นว่า การเพาะปลูกจำเป็นต้องใช้น้ำมาก โดยปัจจุบันร้อยละ 70 ของน้ำในแม่น้ำและชั้นอุ้มน้ำในโลกถูกนำไปใช้ในภาคการเกษตร และคาดการณ์ว่าในปี 2658 ความต้องการใช้น้ำในโลกจะสูงขึ้นร้อยละ 35-60 เมื่อเทียบกับปี 2543 แต่ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการเจริญเติบโตของพืชลดลงถึงร้อยละ 50 อันเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งปัญหาดังกล่าวได้เกิดขึ้นแล้วในหลายพื้นที่ทั่วโลก เช่น ประเทศอินเดีย ประเทศลิเบีย และประเทศอียิปต์ ที่มีการสูบน้ำจากชั้นหินไปใช้ในการทำการเกษตร จนไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำนั้นได้อีก ซึ่งหากประเทศไทยจะมีการส่งเสริมให้เกิดการผลิตไบโอดีเซลมากขึ้น โดยการขยายพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมันจะเกิดผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำอย่างมาก ปริมาณความต้องการใช้น้ำในพื้นที่เพาะปลูกใหม่จึงจำเป็นต้องมีการจัดการทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ให้เหมาะสมมากที่สุด

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารจัดการน้ำและการกระตุ้นหรือการส่งเสริมให้ผู้ใช้น้ำทางตรงและทางอ้อมได้เปลี่ยนแนวคิดให้ตระหนักถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการ รวมถึงมีส่วนรับผิดชอบให้เกิดการใช้น้ำที่เหมาะสมมากขึ้น โดยมีการพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผลิตรูปแบบใหม่และเป็นรูปธรรมมากขึ้น คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ทำให้มองเห็นภาพการใช้น้ำที่เกิดขึ้นและการใช้น้ำนั้นมีความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทย ซึ่งในงานวิจัยนี้มีขอบเขตการพิจารณาครอบคลุมเฉพาะในขั้นตอนของการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันเท่านั้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำต่อหน่วยผลผลิตของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซล โดยกำหนดพื้นที่ศึกษาคือ พื้นที่ภาคเหนือทั้งหมด 3 จังหวัด และพื้นที่ภาคใต้ทั้งหมด 13 จังหวัด เริ่มพิจารณาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550–2554 โดยการทำวิจัยครั้งนี้มุ่งหวังที่จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาทั้งปริมาณ แหล่งที่มา รูปแบบการใช้น้ำของการเพาะปลูก เพื่อไปใช้ในการจัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำสำหรับปาล์มน้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

2. วิธีการศึกษา (Research Methodology)

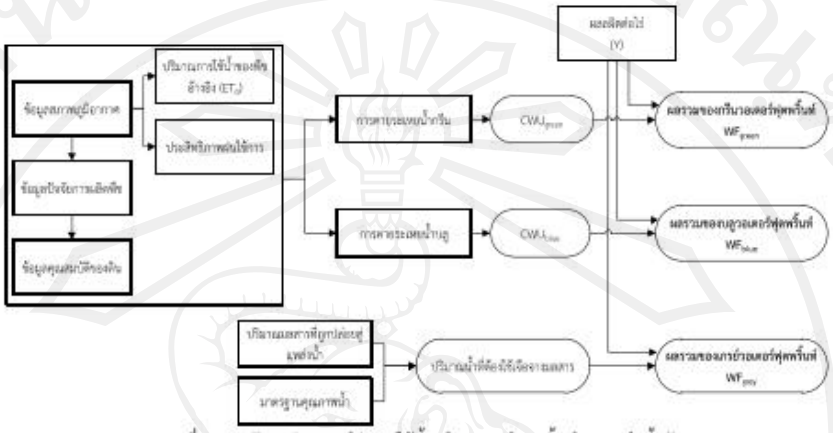
วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) เป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำจากการผลิตสินค้าและบริการตลอดห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งพิจารณาทั้งการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งแสดงแหล่งที่มาของน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้น (Hoektra et al., 2011) โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยทางภูมิศาสตร์และเวลาที่ทำการศึกษา การศึกษาในพื้นที่และเวลาที่ต่างกันจะทำให้ค่าการใช้น้ำมีค่าไม่เท่ากัน

โดยวิธีการคำนวณที่นิยมใช้แพร่หลายเป็นวิธีการของ Water Footprint Network (WFN) ซึ่งเป็นการคำนวณจากผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท ประกอบไปด้วย กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดิน บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey WF) เป็นปริมาณการใช้น้ำสำหรับเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่กำหนด โดยแต่ละประเภทจะพิจารณาการใช้น้ำจากแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน ซึ่งขอบเขตของงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซล โดยพิจารณาเฉพาะกระบวนการเพาะปลูกในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศไทย

ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมัน สามารถหาได้จากผลรวมของ กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตัน (m^3/ton) ตามสมการที่ (1) โดยวิธีการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากค่าความต้องการน้ำใช้ของปาล์มน้ำมัน และการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากปริมาณการชะล้างมลพิษที่ไหลลงสู่แหล่งน้ำ ดังภาพที่ 1

$$WF = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{grey} \quad (1)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 1 แผนผังการวิเคราะห์ค่าการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมัน

สำหรับในการคำนวณหาค่ากรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีหลักการคำนวณเหมือนกัน โดยคำนวณหาปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริง แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตัน (m^3/ton) หาได้จากค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (Crop Water Use; CWU) ต่อผลผลิตต่อพื้นที่ ตามสมการที่ (2) และ (3)

$$WF_{green} = \frac{CWU}{Y} \quad (2)$$

$$WF_{blue} = \frac{CWU}{Y} \quad (3)$$

จากสมการที่ (2) และ (3) ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตัน (m^3/ton) คำนวณได้จากค่าการสะสมการคายระเหยน้ำของพืช (Evapotraspiration; ET) ตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโต (Length of growing period; lgp) ตามสมการที่ (4)

$$CWU = 1.6 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{green\&blue} \quad (4)$$

โดยโนงานวิจัยนี้การหาค่าการคายระเหยน้ำของพืชเกิดจากการคำนวณโดยอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ด้วยการใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 ซึ่งเป็นเครื่องมือโนการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืช ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำประกอบด้วย ข้อมูลเชิงพื้นที่ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิสูงสุด ปริมาณแสงแดด ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝน) โดยใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงระยะเวลา 30 ปี (พ.ศ. 2524 – 2553) ที่อ้างอิงข้อมูลจริงจากกรมอุตุนิยมวิทยาตามพื้นที่ศึกษาจากสถานีที่ใกล้เคียงหรือสถานีที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุด ข้อมูลปัจจัยการผลิตพืช (ชนิดของพืช วันปลูกและเก็บเกี่ยว ช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช และความยาวของรากพืช) และข้อมูลคุณสมบัติดิน (ข้อมูลชุดดิน ความชื้นในดิน การแทรกซึมน้ำผ่านผิวดินสูงสุด ความลึกของรากพืช ความชื้นเริ่มต้น ระยะที่น้ำเริ่มขาด) อ้างอิงจากระบบสารสนเทศของกรมพัฒนาที่ดินและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ส่วนสุดท้ายเป็นการคำนวณเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ใช้หลักการที่ว่าปริมาณของมลสารทางน้ำหาได้จากปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อเจือจางมลสารที่มีอยู่ในน้ำให้มีค่าตามมาตรฐาน แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตัน (m^3/ton) โดยส่วนใหญ่ในกระบวนการเพาะปลูกจะมีการใช้ปุ๋ย เมื่อพืชนำไปใช้ไม่หมดจะมีการตกค้างและซึมลงสู่น้ำใต้ดินหรือถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำ โดยการเกิดมลพิษในกรณีนี้มีแหล่งกำเนิดแบบแพร่กระจายไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง สามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างปริมาณการใช้สารเคมีและสัดส่วนการชะล้างที่เกิดขึ้นต่อผลต่างความเข้มข้นของมลสารต่อผลผลิตต่อพื้นที่ ตามสมการที่ (5)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$WF_{grey} = \frac{(\alpha \times Appl)/(C_{max} - C_{nat})}{Y} \quad (5)$$

โดยกำหนดให้สัดส่วนการชะล้าง (α) ที่ไหลลงสู่แม่น้ำเท่ากับ 10% ของอัตราการใช้ปุ๋ยที่เกิดขึ้น (Allen et al., 1998) ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเท่านั้น ส่วนผลต่างความเข้มข้นของมลสารซึ่งค่าความเข้มข้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (C_{max}) อ้างอิงจากค่ามาตรฐานคุณภาพในแหล่งน้ำผิวดินของประเทศไทยจากกรมควบคุมมลพิษ มีค่าเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) และค่าความเข้มข้นตามธรรมชาติ (C_{nat}) มีค่าเท่ากับศูนย์ (Mekonnen and Hoektra, 2011)

3. ผลการศึกษา (Results)

จากข้อมูลสถิติการเกษตรของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2554) ในช่วงปี พ.ศ. 2550–2554 พบว่า ปริมาณการให้ผลผลิตปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทยเฉลี่ย 5 ปี มีพื้นที่ในการเพาะปลูก 641,397 ไร่ต่อปี ผลผลิต 1,712,927 ตันต่อปี และมีผลผลิตเฉลี่ย 2.67 ตันต่อไร่ โดยในพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันภาคเหนือที่สามารถเก็บเกี่ยวได้มีทั้งสิ้น 3 จังหวัด โดยมีผลผลิตเฉลี่ย 0.55 ตันต่อไร่ ซึ่งเป็นภาคที่มีการให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำที่สุดของประเทศ ในขณะที่ภาคใต้มีการปลูกปาล์มน้ำมันทั้งสิ้น 13 จังหวัด มีการให้ผลผลิตเฉลี่ย 2.31 ตันต่อไร่ ซึ่งเป็นภาคที่มีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่สูงที่สุดของประเทศ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เนื้อที่ ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของปาล์มน้ำมันเป็นรายจังหวัดในเขตภาคเหนือและภาคใต้ (ปี 2550 – 2554)

จังหวัด	เนื้อที่ให้ผลเฉลี่ย (ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย (ตัน)	ช่วงระยะเวลาปลูก*	ผลผลิตต่อไร่ (ตัน/ไร่)
เชียงราย	390	212	พฤษภาคม-มิถุนายน	0.54
พิษณุโลก	45	23	พฤษภาคม-มิถุนายน	0.51
อุทัยธานี	115	70	พฤษภาคม-มิถุนายน	0.61
ชุมพร	133,992	363,667	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.71
ระนอง	11,887	29,916	เมษายน-กันยายน	2.52
สุราษฎร์ธานี	165,995	457,234	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.75
พังงา	18,215	41,346	เมษายน-กันยายน	2.27
ภูเก็ต	227	375	เมษายน-กันยายน	1.65
กระบี่	170,203	491,220	เมษายน-กันยายน	2.89
ตรัง	19,632	50,372	เมษายน-กันยายน	2.57
นครศรีธรรมราช	22,587	59,350	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.63
พัทลุง	1,431	3,130	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.19
สงขลา	4,327	9,882	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.28
สตูล	19,177	42,962	เมษายน-กันยายน	2.24
ยะลา	982	1,271	พฤษภาคม-ตุลาคม	1.30
นราธิวาส	5,611	11,539	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.06
รวมทั้งประเทศ	641,397	1,712,927	พฤษภาคม-ตุลาคม	2.67

ที่มา: สถิติการเกษตรของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2554)
* ที่มา: FAO (2005), กรมวิชาการเกษตร (2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อคำนวณค่ากรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ด้วยโปรแกรม CROPWAT 8.0 เพื่อหาค่าการคายระเหยของน้ำ ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน โดยกำหนดการให้น้ำพืชด้วยวิธีการให้น้ำชลประทาน เมื่อความชื้นถึงจุดวิกฤต (Irrigation at critical depletion) และให้น้ำจนความชื้นในดินถึงความจุในสนาม (Refill soil to field capacity) พบว่า ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูงกว่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ดังตารางที่ 3 ในพื้นที่ภาคเหนือจังหวัดที่มีค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุด คือ เชียงราย และน้อยที่สุด คือ อุทัยธานี มีค่าเท่ากับ 2,543 และ 2,355 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ภาคใต้จังหวัดที่มีค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุด คือ ยะลา และน้อยที่สุด คือ กระบี่ มีค่าเท่ากับ 1,254 และ 495 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ และเมื่อคำนวณค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในพื้นที่ภาคเหนือจังหวัดที่มีค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ พิษณุโลก และน้อยที่สุด คือ อุทัยธานี มีค่าเท่ากับ 1,606 และ 885 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ภาคใต้จังหวัดที่มีค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุด คือ ยะลา และน้อยที่สุด คือ นครศรีธรรมราช มีค่าเท่ากับ 253 และ 19 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ

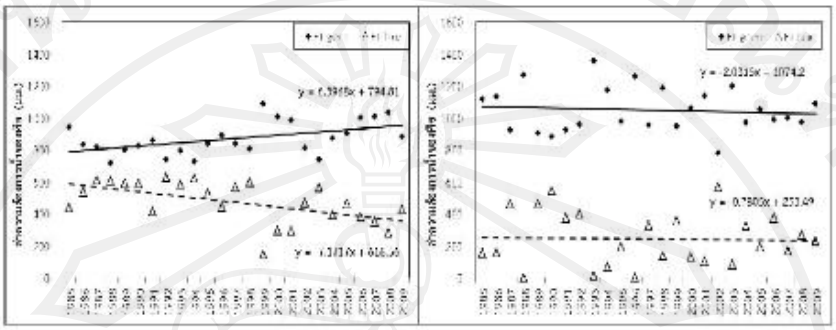
ตารางที่ 3 ปริมาณการคายระเหยน้ำ ความต้องการน้ำ และปริมาณการใช้น้ำจริงตลอดช่วงการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

จังหวัด	ค่าการคายระเหยน้ำ (มม.)		ค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (ลบ.ม./ไร่/ปี)		WF_{blue}	WF_{green}
	ET_{blue}	ET_{green}	CWU_{blue}	CWU_{green}	(ลบ.ม./ตัน)	
เชียงราย	389	864	622	1,382	1,145	2,543
พิษณุโลก	513	792	821	1,268	1,606	2,480
อุทัยธานี	336	893	537	1,429	885	2,355
ชุมพร	102	1,124	163	1,799	60	663
ระนอง	296	900	473	1,440	188	572
สุราษฎร์ธานี	101	1,098	162	1,757	59	638
พังงา	204	975	326	1,560	144	687
ภูเก็ต	202	1,084	324	1,735	196	1,049
กระบี่	390	894	624	1,430	216	495
ตรัง	108	1,173	172	1,877	67	732
นครศรีธรรมราช	31	1,117	49	1,786	19	680
พัทลุง	201	1,009	322	1,615	147	738
สงขลา	288	985	461	1,576	202	690
สตูล	189	1,062	302	1,700	135	759
ยะลา	205	935	328	1,624	253	1,254
นราธิวาส	205	1,015	211	1,638	102	797

เมื่อพิจารณาแนวโน้มหรือการคาดการณ์ความต้องการน้ำของปาล์มน้ำมันจากการคำนวณผลสภาพภูมิอากาศ (ประกอบด้วยค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสงแดด ความเร็วลม และปริมาณน้ำฝน) ของพื้นที่ที่ศึกษาในประเทศไทย ดังภาพที่ 2

โดยค่าความต้องการใช้น้ำเฉลี่ยของพืช (Crop water requirement) ในช่วง 24 ปี (ปีพ.ศ. 2528-2552) ของพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้แตกต่างกัน โดยในพื้นที่ภาคเหนือมีแนวโน้มความต้องการน้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดินของพืชเพิ่มสูงขึ้น และแนวโน้มความต้องการน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินของพืชลดลง ส่วนในพื้นที่ภาคใต้มีแนวโน้มความต้องการน้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดินของพืชลดลง และแนวโน้มความต้องการน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดินของพืชคงที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(ก) (ข)

ภาพที่ 2 แนวโน้มแสดงค่าความต้องการน้ำกรีนและบลูของพืช (Crop Water Requirement) (ปี พ.ศ. 2528-2552)
(ก) แนวโน้มค่าความต้องการน้ำของพืชในพื้นที่ภาคเหนือ (ข) แนวโน้มค่าความต้องการน้ำของพืชในพื้นที่ภาคใต้

สำหรับการใช้ปุ๋ยในแต่ละช่วงของการปลูกจะมีการใช้ปุ๋ยที่แตกต่างชนิดกันตามความต้องการของปาล์มน้ำมัน แต่ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยการใช้ปุ๋ยแบ่งออกเป็น 3 ช่วงตลอดระยะเวลาการปลูก คือ ช่วงเตรียมดิน ช่วงการอนุบาลต้นกล้า และช่วงการเพาะปลูก ซึ่งการคำนวณเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นจะใช้ปริมาณเฉลี่ยของประเทศเป็นค่าตัวแทนของแต่ละจังหวัด ดังตารางที่ 4

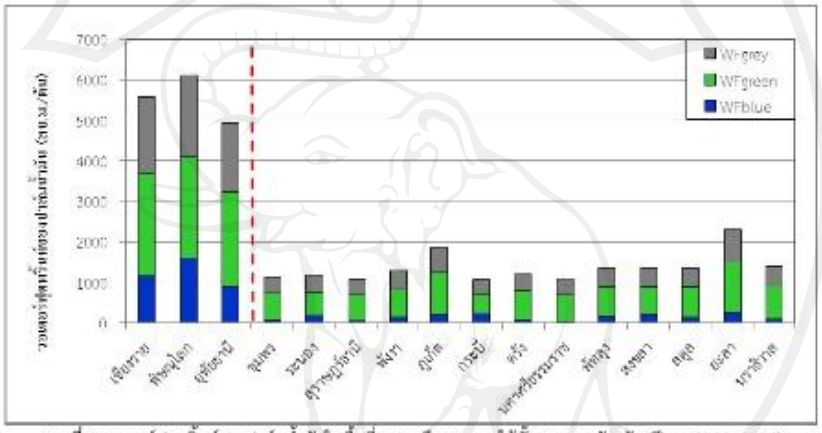
ตารางที่ 4 ปริมาณการใช้ปุ๋ยและปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อเจือจางการชะล้างปุ๋ยที่มีอยู่ในแหล่งน้ำ

จังหวัด	ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน	ลัดส่วนการชะล้าง	WF_{grey}
	(ตัน/ปี)	(ตัน/ปี)	(ลบ.ม./ตัน)
เชียงราย	20	2	1,893
พิษณุโลก	2	0.2	2,012
อุทัยธานี	6	1	1,695
ชุมพร	6,892	689	409
ระนอง	611	61	373
สุราษฎร์ธานี	8,538	854	453
พังงา	937	94	622
ภูเก็ต	12	1	356
กระบี่	8,754	875	401
ตรัง	1,010	101	391
นครศรีธรรมราช	1162	116	470
พัทลุง	74	7	450
สงขลา	223	22	459
สตูล	986	99	966
ยะลา	50	5	794
นราธิวาส	289	29	500

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากผลการศึกษาพบว่า ค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยเท่ากับ 729 ลบ.ม./ตัน โดยพื้นที่ภาคเหนือจังหวัดที่มีค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ พิษณุโลก และน้อยที่สุดคือ อุทัยธานี มีค่าเท่ากับ 2,021 และ 1,695 ลบ.ม./ตัน ส่วนในพื้นที่ภาคใต้จังหวัดที่มีค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ สตูล และน้อยที่สุดคือ ภูเก็ต มีค่าเท่ากับ 966 และ 356 ลบ.ม./ตัน

เมื่อพิจารณาเป็นรายจังหวัดจะเห็นว่า จังหวัดที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ จังหวัดพิษณุโลก มีค่าเท่ากับ 6,098 ลบ.ม./ตัน โดยแบ่งเป็น กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 2,480, 1,606 และ 2,012 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ และจังหวัดที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยที่สุดคือ สุราษฎร์ธานี มีค่าเท่ากับ 1,070 ลบ.ม./ตัน โดยแบ่งเป็นกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เท่ากับ 638, 59 และ 373 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ทั้งหมด 16 จังหวัด (ปีพ.ศ.2550–2554)

โดยค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ทั้งกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ มีค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดเท่ากับ 2,459 และ 750 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ รองลงมาคือ เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ มีค่าเท่ากับ 1,867 และ 511 ลบ.ม./ตัน และบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าเท่ากับ 1,212 และ 138 ลบ.ม./ตัน เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยของกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ในพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้มีสัดส่วนเท่ากับ 50%, 34% และ 16% ตามลำดับ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซล (ปีพ.ศ.2550–2554)

ภูมิภาค	ค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลบ.ม./ตัน)			
	WF_{green}	WF_{blue}	WF_{grey}	Total
ภาคเหนือ	2,459	1,212	1,867	5,538
ภาคใต้	750	138	511	1,399
เฉลี่ย	1,071	339	729	2,139

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. อภิปรายผล (Discussion)

จากการคำนวณค่าผลรวมวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลในพื้นที่ 16 จังหวัด โดยใช้ค่าผลผลิตเฉลี่ย 5 ปี พบว่า จังหวัดที่มีค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มากที่สุดคือ พิษณุโลก (6,098 ลบ.ม./ตัน) รองลงมาคือ เชียงราย อุทัยธานี ยะลา ภูเก็ต นราธิวาส พัทลุง สตูล สงขลา พังงา ตรัง ระนอง ชุมพร นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และกระบี่ ตามลำดับ และเมื่อทำการพิจารณาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของปาล์มน้ำมันในแต่ละภูมิภาคพบว่า ในพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้น้ำมากกว่าพื้นที่ภาคใต้ถึง 3.9 เท่า ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความต้องการการใช้น้ำที่แตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค โดยส่วนใหญ่เกิดมาจากปริมาณของผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ได้ต่อพื้นที่ต่ำ ลักษณะของสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ทำให้การจัดการการเพาะปลูกต้องมากขึ้น เช่น การเพิ่มความชื้นให้กับปาล์มน้ำมันในพื้นที่ โดยการอาศัยน้ำจากแหล่งน้ำชลประทานมากขึ้น การเพิ่มปริมาณของปุ๋ยหรือธาตุอาหารเพื่อให้ปาล์มน้ำมันได้ธาตุอาหารที่ครบถ้วนและให้ปริมาณผลผลิตสูง ซึ่งส่งผลให้คุณภาพน้ำต่ำลง เกิดการแพร่กระจายของภาวะการแย่งชิงแหล่งน้ำ รวมทั้งคุณภาพน้ำเสื่อมโทรม เนื่องจากการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนที่มากเกินความจำเป็น

ดังนั้นจากการพิจารณาในเชิงผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำที่ใช้ในการปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตเป็นไบโอดีเซลในพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้น้ำมากกว่าภาคใต้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นของปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ โดยการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ ซึ่งอาจเป็นการพัฒนาระบบน้ำในการเพาะปลูก เช่น การลงทุนสร้างระบบน้ำเพื่อช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่ การจัดการช่วงเวลาในการเพาะปลูก การปรับปรุงพันธุ์ให้เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ ซึ่งจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการลดปริมาณบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ รวมไปถึงการลดการใช้ปุ๋ยเคมีในช่วงการเพาะปลูกพืช ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าความต้องการน้ำเพิ่มมากขึ้น

เมื่อจำแนกตามประเภทของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์พบว่า ในพื้นที่ที่ทำการศึกษามีค่าเฉลี่ยของปริมาณกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สูงสุด รองลงมาคือ เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 1,071, 729 และ 339 ลบ.ม./ตัน ตามลำดับ คิดเป็น 50%: 34%: 16% จากการคำนวณนั้นสามารถอธิบายได้ว่า ในแต่ละจังหวัดมีปริมาณฝนใช้การ (Effective rain) สูงมากสำหรับการนำไปใช้ โดยฝนใช้การ คือ น้ำฝนส่วนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์อย่างแท้จริง ซึ่งไม่รวมปริมาณฝนทั้งหมดที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกบางส่วนที่ไม่ได้เก็บอยู่ในพื้นที่เพาะปลูก หากแต่ได้ไหลลันออกไปตามผิวดินและใต้ดินบ้าง และบางก็ส่วนติดค้างอยู่บนใบและกิ่งก้านของต้นพืชแล้วระเหยไป โดยค่าเฉลี่ยปริมาณฝนใช้การของประเทศไทยอยู่ที่ร้อยละ 80 (ปรเมศร์, 2549) ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่าฝนใช้การ เช่น ปริมาณฝนที่ตก ชนิดของพืชที่ปลูก คุณสมบัติของดิน ความชื้นของดิน ความสามารถของดินที่จะดูดซับน้ำฝน ความลาดชันของดิน ความลึกของรากพืช และลักษณะภูมิประเทศ ทำให้พืชสามารถนำน้ำจากน้ำฝนและความชื้นในดินไปใช้ได้มากตามความต้องการ แสดงให้เห็นว่า น้ำฝนถือเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน แต่ก็ยังมีการพึ่งพาแหล่งน้ำจากชลประทานเพื่อให้มีปริมาณน้ำเพียงพอที่จะเจริญเติบโตและมีผลผลิตสูง โดยหากทำการเปรียบเทียบระหว่างน้ำจากทั้งสองแหล่งจะเห็นว่า น้ำฝนถือเป็นปริมาณที่ไม่มีต้นทุน ในขณะที่น้ำชลประทานมีต้นทุนมากว่า เพราะต้องอาศัยการจัดการสูงกว่าในการกักเก็บและกระจายน้ำไปยังพื้นที่ปลูก ส่วนปริมาณที่ใช้ในการปรับสภาวะมลพิษในแหล่งน้ำให้อยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำของแหล่งน้ำตามธรรมชาติ แม้ว่าจะมีสัดส่วนที่ต่ำกว่า แต่ถือเป็นส่วนที่ควรให้ความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นการสะท้อนถึงความเป็นมลพิษต่อแหล่งน้ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องในระบบนิเวศ

โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันจากงานวิจัยนี้เทียบกับงานวิจัยของ Mekonnen and Hoekstra (2010) ที่ได้วิเคราะห์ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันเฉลี่ยทั่วโลก มีค่าเท่ากับ 1,098 ลบ.ม./ตัน ซึ่งเป็นค่าที่คิดเฉพาะกรีนและเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า มีค่าน้อยกว่าค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันจากงานวิจัยนี้ มีค่าเท่ากับ 1,800 ลบ.ม./ตัน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความแตกต่างของปัจจัยต่างๆ คือ ระบบการจัดการทางการเกษตร ลักษณะสภาพภูมิอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน และผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก

ดังนั้นจากการพิจารณาในเชิงผลกระทบต่อทรัพยากรน้ำที่ใช้ในการปลูกปาล์มน้ำมันโดยเฉลี่ยของปริมาณการใช้น้ำจากพื้นที่ๆ ศึกษาของไทยมีปริมาณสูงกว่าค่าเฉลี่ยโลก โดยส่วนใหญ่เกิดจากการใช้น้ำจากแหล่งน้ำฝน ซึ่งถือเป็นข้อดีเนื่องจากลักษณะของภูมิประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนและได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตลอด แต่ในอนาคตการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเริ่มทวี

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาอุทกภัย ภัยแล้ง และปัญหาการเสื่อมคุณภาพของน้ำจากมลพิษ ถ้าไม่สามารถลดปริมาณการใช้น้ำที่เกิดขึ้นอาจทำให้ประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำใช้ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแนวทางในการลดปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่เกิดขึ้นเช่นกัน ทั้งการพัฒนาระบบการให้น้ำ การจัดการช่วงเวลาการเพาะปลูก การปรับปรุงพันธุ์ การพัฒนาเทคโนโลยี การเพิ่มผลผลิต รวมถึงการศึกษาประเด็นการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนกับการเกิดเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เนื่องจากประเด็นของค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จากอัตราการชะล้างปุ๋ยไนดินของไทยมีค่าต่างจากต่างประเทศ

5. สรุปผล (Conclusion)

ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันสำหรับผลิตไบโอดีเซลของประเทศไทยในพื้นที่ 16 จังหวัด (ปี พ.ศ.2550 – 2554) โดยแบ่งเป็นพื้นที่ภาคเหนือ 3 จังหวัด และพื้นที่ภาคใต้ 13 จังหวัด พบว่า ในพื้นที่ภาคเหนือมีค่าปริมาณการใช้น้ำมากกว่าพื้นที่ภาคใต้ 3.9 เท่า ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้น้ำขึ้นอยู่กับ ผลผลิตที่ได้ต่อพื้นที่ ระบบการจัดการแปลงปลูก สภาพภูมิอากาศ และลักษณะของพื้นที่เพาะปลูก และปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยของปาล์มน้ำมัน มีค่าเท่ากับ 2,139 ลบ.ม./ตัน แบ่งเป็น กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 1,071 ลบ.ม./ตัน เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 729 ลบ.ม./ตัน และบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ 339 ลบ.ม./ตัน ซึ่งตรงกับค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของโลกที่เกิดจากการผลิตสินค้าทางการเกษตรและอาหารว่า โดยส่วนใหญ่ปริมาณการใช้น้ำมาจากกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ รองลงมาคือ เกรย์และบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ แสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาปริมาณและแหล่งที่มาของน้ำใช้ส่วนใหญ่มาจากน้ำฝน (ร้อยละ 50) ซึ่งข้อดีของการใช้น้ำฝน คือ มีการใช้พลังงานน้อยมาก (พลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำจากแหล่งกักเก็บน้ำ) และไม่มีต้นทุนในการจัดการเหมือนกับการใช้น้ำชลประทาน ส่วนปริมาณเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูงและมีปริมาณมากกว่าค่าเฉลี่ยโลก นั่นเพราะในช่วงการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันมีการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนในปริมาณมากเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงตามต้องการ ดังนั้นการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันในงานวิจัยนี้ จึงทำให้เห็นถึงปริมาณ แหล่งที่มา และรูปแบบการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่เพาะปลูกเดิมและพื้นที่เพาะปลูกใหม่ที่เกิดจากการขยายพื้นที่ และชี้ถึงความจำเป็นในการเพิ่มประสิทธิภาพหรือการบริหารจัดการการใช้น้ำ เพื่อให้เกิดการลดปริมาณของน้ำใช้ที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งจะนำไปสู่การจัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพและยั่งยืนมากที่สุด และในการศึกษาต่อไปควรมีการวิจัยและการพัฒนาการบริหารจัดการน้ำแบบบูรณาการมากขึ้น โดยการพัฒนาการศึกษาวิจัยปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิต เริ่มตั้งแต่การสกัดน้ำมันปาล์มไปจนถึงการผลิตไบโอดีเซล เพื่อให้เกิดการวิเคราะห์ครอบคลุมตลอดวัฏจักรของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการอื่นๆ เช่น วิธีการ International Organization for Standardization (ISO) วิธีการ Global Environmental Management Initiative (GEMI) และวิธีการ World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยวิจัยเพื่อการจัดการพลังงานและเศรษฐนิเวศ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำเป็นอย่างดีตลอดมาจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ชีระ เอกสมเทราเมษฐ์ และคณะ, 2548. เส้นทางสู่ความสำเร็จการผลิตปาล์มน้ำมัน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิตปาล์มน้ำมัน คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา.

[2] ประเมศร์ อมาตยกุล, 2549. การประมาณค่าฝนใช้การรายเดือนจากปริมาณน้ำฝนรายเดือนที่มีความเชื่อมั่นว่าเป็นไปได้ร้อยละ 80 ในประเทศไทย. กลุ่มวิชาการอุตุนิยมวิทยาเกษตร สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา.

[3] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2553. นโยบายการบริหารผลผลิต/ส่งเสริมการผลิตสินค้าเกษตรในประเทศ. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae.../article_20100929152142.ppt (28 มีนาคม 2555)

[4] Allen, R.F., Pereira L.S., Raca, D.,Smith, 1998. Crop evapotranspiration for commuting crop requirements. United Nations Food and Agriculture organization, Irrigation and Drainage Paper's Rome Italy. 333p.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

[5] Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G., Gautam, R., 2006. The water footprint of cotton consumption: an assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. Ecological Economics, 60, 186-203.

[5] FAO, 2005. Review of Global Agricultral Water Use Per Country, Crop Water Requirement. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

[6] F. Bulsink, A. Y. Hoekstra, and M. J. Booij, 2010. The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products. Hydrology and Earth system Sciences, 14, 119–128.

[7] Gerbens-Leenes P.W., Hoekstra A.Y and Th. van der Meer, 2009. The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. Ecological Economics 68: 1052 – 1060.

[8] Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., 2009. Water Footprint Manual: State of the Art 2009. Water Footprint Network, Enschede, The Netherlands.

[9] Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., 2011. The water footprint assessment manual: setting the global standard. Water footprint Network, The Netherlands.

[10] Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q., (2005). Globalization of water resource: international virtual water flows in relation to crop trade. Global Environment Change 15 (1), 45-56.

[11] Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y., 2011 The green, blue and grey water footprint of crop and derived crop product. Hydrology and Earth system Sciences, 15, 1577-1600.

[12] UN-Water Statistics: Graphs & Maps (2011) [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา www.unwater.org/statistics_res.html (14 สิงหาคม 2555)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวลักขณา เจริญสุข

วัน เดือน ปี เกิด 26 สิงหาคม 2529

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนสรรพวิทยาคม จังหวัดตาก ปีการศึกษา 2547
สำเร็จการศึกษาปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์
จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved