



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาสมดุลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของสบู่ดำที่ปลูกในดินเหนียว
และดินร่วนปนทราย

Study on Carbon Balance and Soil Carbon Sequestration in Planted with *Jatropha curcas* L.
on Clay and Sandy Loam Soils

นามผู้วิจัย นางสาวสิริกานดา วัชรไทย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภัทรา เฟื่องธรรมเกียรติ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์พัฒนา อนุรักษพงษ์พร, D.Tech.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ มหัจฉริยวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาสมดุลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของสบู่ดำที่ปลูกในดินเหนียว
และดินร่วนปนทราย

Study on Carbon Balance and Soil Carbon Sequestration in Planted with *Jatropha curcas* L.
on Clay and Sandy Loam Soils

โดย

นางสาวสิริกานดา วัชรไทย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2551

สิริกานดา วัชรไทย 2551: การศึกษาสมดุลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของสับปะรดที่ปลูกในดินเหนียวและดินร่วนปนทราย ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภัทรา เฟื่องธรรมกิริติ, Ph.D. 73 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปลูกสับปะรดเพื่อกักเก็บคาร์บอนสู่ดินและสมดุลคาร์บอนในพื้นที่ปลูก พันธุ์สับปะรดที่เลือกศึกษาได้แก่ พันธุ์กำแพงแสน (KP) และพันธุ์ไร้สุวรรณ ฌอร์ 80 (SW 80) และชนิดดินบนพื้นที่ศึกษา คือ ดินเหนียวในพื้นที่ไร้สุวรรณจากกลกิจ (SW) และดินร่วนปนทรายในพื้นที่สถานีวิจัยเขาหินซ้อน (KH) แผนการทดลองเป็นแบบ Randomized Block Design (RBD) จำนวน 4 ซ้ำ เก็บข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ทุกๆ 2 เดือน และเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 0-10 และ 10-30 เซนติเมตร เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ และเดือนสิงหาคม / กันยายน เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณการสะสมคาร์บอนอินทรีย์ในรูปต่างๆ ในดิน ได้แก่ รูปคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (SOC) พาร์ทิเคิลคาร์บอน (POM-C) และรูปที่อยู่ร่วมกับอินทรีย์สารในดิน (MaOM-C) เก็บข้อมูลการเจริญเติบโต ได้แก่ ความสูงและเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น เพื่อใช้สร้างสมการประเมินมวลชีวภาพในส่วนเหนือพื้นดิน ข้อมูลข้างต้นและปริมาณเศษซากพืชที่ร่วงถูกนำมาใช้คำนวณหาปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบที่ศึกษา แล้วเปรียบเทียบกับสมดุลคาร์บอนในดินที่ปลูกสับปะรดทั้งสองสายพันธุ์ ในพื้นที่ศึกษา

งานศึกษานี้พบว่าปริมาณ SOC และ MaOM-C มีแนวโน้มลดลงในทุกระดับความลึกของดิน ในขณะที่ปริมาณ POM-C ในดินมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะในดินชั้นบน (0-10 ซม.) ดินที่ปลูกสับปะรดพันธุ์ KP ในพื้นที่ KH มีแนวโน้มสะสมคาร์บอนได้สูงกว่าพันธุ์ SW 80 ทั้งปริมาณ SOC และคาร์บอนในดินในรูปต่างๆ แต่ผลที่ได้ยังไม่ชัดเจนสำหรับพื้นที่ SW แม้ว่าสับปะรดพันธุ์ KP จะสะสมคาร์บอนได้สูง แต่ก็มีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินของสับปะรดพันธุ์ KP มีค่าสูงกว่าพันธุ์ SW 80 เช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่าผลผลิตชีวมวลรวมและปริมาณการร่วงของเศษซากพืชของสับปะรดพันธุ์ KP สูงกว่าพันธุ์ SW 80 ผลการคำนวณสมดุลคาร์บอนสุทธิของระบบศึกษาที่ปลูกสับปะรดในงานศึกษาระยะสั้นนี้ พบว่า ปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบที่ปลูกสับปะรดสายพันธุ์ KP มีค่ามากกว่าระบบที่ปลูกสับปะรดพันธุ์ SW 80 เมื่อพิจารณาในแง่ของการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดิน พบว่าในระบบการปลูกสับปะรดทำให้คาร์บอนอินทรีย์ในดินมีปริมาณลดลงจากพื้นที่ เท่ากับ -11.23 และ -2.41 ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ สำหรับพื้นที่ SW และพื้นที่ KH ตามลำดับ ดังนั้น ผลการศึกษาเบื้องต้นนี้แสดงให้เห็นว่าสับปะรดพันธุ์ KP มีแนวโน้มการสะสมคาร์บอนในระบบปลูกได้ดีกว่าพันธุ์ SW80 แต่ควรศึกษาเป็นระยะเวลานานขึ้นเพื่อให้ได้ผลที่ชัดเจน

Sirikanda Watcharathai 2008: Study on Carbon Balance and Soil Carbon Sequestration in Planted with *Jatropha curcas* L. on Clay and Sandy Loam Soils. Master of Science (Environmental Technology and Management), Major Field: Environmental Technology and Management, Department of Environmental Science. Thesis Advisor: Assistant Professor Pathra Pengthumkeerati, Ph.D.
73 pages.

This study aims to investigate the potential of *Jatropha curcas* L. for soil carbon sequestration and study carbon balance in the planting area. The selected varieties of *Jatropha curcas* L. were Kampangsan (KP) and Rai Suwan no. 80 (SW 80). The studied soils in the Suwanwajokkasikit (SW) and Khoa Hin Sorn (KH) Field Crops Research stations of Kasetsart University were clay and sandy loam, respectively. The design of the experiment was a Randomized Block Design with four replications. CO₂ efflux from soil surface was measured every 2 months. Soil samples were taken at the soil depth of 0-10 and 10-30 cm in February and August / September to analyze for soil organic carbon fraction, including soil organic C (SOC), particulate organic carbon (POM-C) and mineral-associated organic carbon (MaOM-C). Height and diameter of tree were measured to establish allometry equation of above-ground biomass. The above information and plant litter were used to calculate and compare net carbon balance of two varieties of *Jatropha curcas* L. in the studied systems.

This study found that SOC and MaOM-C contents tended to decrease for all the studied depths, but POM-C content tended to increase, especially in the topsoil (0-10 cm). For KH site, the soil planted with the KP variety tended to restore greater C content than that with the SW80 variety, as was observed in the higher SOC and C fractions of the KP variety. However, this observation was not clear for the SW site. Despite great C restore in the soil for KP variety, soil CO₂ efflux from soil surface of this variety was relatively higher than the SW80 variety. The net carbon balance showed that the system planted with the KP variety had a greater potential to restore C than that with the SW 80 variety. In addition, plant biomass and litter of the KP variety were greater than those of the SW80 variety. Net carbon balance in the system planting with *Jatropha curcas* L. in this short-term study showed that the KP variety had a higher net carbon balance than the SW80 variety. Considering change in SOC, we observed that the soil planting with *Jatropha curcas* L. had a decreased soil carbon stock by -11.23 and -2.41 ton C ha⁻¹ yr⁻¹ for the SW and KH sites, respectively. Hence, the finding in this preliminary study suggested that the KP variety showed a greater potential to restore carbon in the system planting with *Jatropha curcas* L. than the SW80 variety, but the study should be conducted in the longer term for better understanding.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทรา เพ็งธรรมกิริติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และรองศาสตราจารย์ ดร.พัฒนา อนุรักษพงษ์พร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาในเรื่องการเรียน การวางแผนการศึกษา การดำเนินชีวิต ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ และดร.ประไพพิศ ชัยรัตนมโนกร ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้ และทุนสนับสนุนจากโครงการส่งเสริมการวิจัยร่วมแบบทวิภาคี (BRC) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการร่วมทำวิจัยที่ University of Melbourne ประเทศออสเตรเลีย ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อิสรา สุขสถาน ที่สนับสนุนให้ใช้แปลงทดลองปลูกสบู่ดำสำหรับงานศึกษาในครั้งนี้ อาจารย์สาพิศ ดิลกสัมพันธ์ ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการสร้างสมการคำนวณมวลชีวภาพของต้นไม้ และขอขอบคุณคุณศดใส ช่างสลัก และคุณนพสุล สมุทรทอง ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกทุกประการในการเข้าไปเก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษา ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญอ้อม โถมที และคุณฉลองชัย คุ่มภัย ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ คุณอนุพงษ์ เทศปวิวัฒน์ และคุณลาวัณย์ จันทร์อัมพร และพี่ๆ ที่กองปฐพี กรมวิชาการเกษตร ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์เก็บความหนาแน่นดินและสถานที่ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินบางส่วน ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน บุคลากรและเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือที่ดี รวมถึงพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อสงบ คุณแม่วันเพ็ญ วัชรไทย ที่ได้เลี้ยงดูอบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ สนับสนุนและให้โอกาสทางการศึกษาแก่ข้าพเจ้าเสมอมา ขอขอบคุณพี่ชาย รวมทั้งญาติพี่น้องทุกท่านที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้ามาโดยตลอด ประโยชน์ใดอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอบแต่คุณพ่อ คุณแม่ ครู อาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้ามีความรู้จนถึงปัจจุบัน

สิริกานดา วัชรไทย

ตุลาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	19
อุปกรณ์	19
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	28
สรุปและข้อเสนอแนะ	54
สรุป	54
ข้อเสนอแนะ	55
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	57
ภาคผนวก	66
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นบางประการของดินในพื้นที่ศึกษา	28
2 ปริมาณมวลชีวภาพของสับุ่ดำสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน จ.ฉะเชิงเทรา	45
3 ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของสับุ่ดำ	46
4 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิต และใบของสับุ่ดำ	48
ตารางผนวกที่	
1 ความหนาแน่นรวมของดิน	68
2 ข้อมูลมวลชีวภาพของสับุ่ดำ อายุ 1 ปี	69
3 ปริมาณมวลชีวภาพของสับุ่ดำสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน จ.ฉะเชิงเทรา	69
4 ปริมาณความชื้นในผลผลิต และใบของสับุ่ดำ	70
5 ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนในผลผลิตและใบของสับุ่ดำ	70
6 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีของดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน (Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)	71

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2294-2548 และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในช่วงปี พ.ศ. 2504-2533	5
2 ลักษณะใบ ช่อดอก และผลของสบู่ดำ	17
3 ลักษณะของพื้นที่ศึกษาทดลอง ณ ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครราชสีมา	22
4 ลักษณะของพื้นที่ศึกษาทดลอง ณ สถานีวิจัยเขาคินซอน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.ฉะเชิงเทรา	22
5 ลักษณะการติดตั้งท่อพีวีซี (PVC) ลงในดิน สำหรับการวัดการหายใจของดิน โดยวิธี Alkaline Trapping (0.5 N NaOH)	24
6 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ไมโคร โมล CO ₂ -C ตารางเมตรต่อ วินาที) จากผิวดิน (ก) ในพื้นที่ SW และ (ข) พื้นที่ KH ที่ปลูกสบู่ดำสายพันธุ์ KP และ SW 80 (กุมภาพันธ์ 2550–มีนาคม 2551). Bar (I) แสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ NS คือไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์	29
7 ปริมาณความชื้นในดินและอุณหภูมิดิน ในพื้นที่ SW และ KH ขณะที่ทดลองวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ในพื้นที่ปลูกสบู่ดำสายพันธุ์ KP และ SW 80 ในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ เมษายน 2550 และมีนาคม 2551) และฤดูฝน (มิถุนายนและสิงหาคม/กันยายน 2550)	30
8 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) ตามความลึกของดินในพื้นที่ศึกษาของ ศูนย์วิจัยที่ไร้สุวรรณฯ (SW) จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาคินซอน (KH) จ.ฉะเชิงเทรา ที่ปลูกสบู่ดำสายพันธุ์กำแพงแสน (KP) และไร้สุวรรณเบอร์ 80 (SW 80)	36
9 ปริมาณพาร์ทิเคิลคาร์บอน (POM-C) ในดิน ตามความลึกของดินในพื้นที่ศูนย์วิจัยที่ ไร้สุวรรณฯ (SW) จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาคินซอน (KH) จ.ฉะเชิงเทรา ที่ ปลูกสบู่ดำสายพันธุ์กำแพงแสน (KP) และไร้สุวรรณ เบอร์ 80 (SW80)	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
10 ปริมาณ MaOM-C ในดิน ตามความลึกของดินในพื้นที่ศึกษาของศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ (SW) จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน (KH) จ.ฉะเชิงเทรา ที่ปลูกสับปะรดสายพันธุ์กำแพงแสน (KP) และไร่สุวรรณ เบอร์ 80 (SW 80)	41
11 สมการแอลโลเมตริกของสับปะรด	44
12 ปริมาณคาร์บอนสุทธิ (ต้นคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี) ในดินของระบบศึกษาที่ปลูกสับปะรด (ก) พันธุ์กำแพงแสน (KP) และ (ข) พันธุ์ไร่สุวรรณ เบอร์ 80 (SW 80) ในศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ (SW) จ.นครราชสีมา	49
13 ปริมาณคาร์บอนสุทธิ (ต้นคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี) ในดินของระบบศึกษาที่ปลูกสับปะรด (ก) พันธุ์กำแพงแสน (KP) และ (ข) พันธุ์ไร่สุวรรณ เบอร์ 80 (SW 80) ในบริเวณสถานีวิจัยเขาหินซ้อน (KH) จ.ฉะเชิงเทรา	51
14 ปริมาณคาร์บอนสุทธิ (ต้นคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี) ในดินของระบบศึกษาโดยเฉลี่ยรวมของสับปะรดทั้งสองสายพันธุ์ที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ (ก) ศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ (SW) จ.นครราชสีมา และ (ข) สถานีวิจัยเขาหินซ้อน (KH) จ.ฉะเชิงเทรา	52
ภาพผนวกที่	
1 ปริมาณน้ำฝนรายวัน (bars) และปริมาณน้ำฝนสะสมรายวัน (line) ของสถานีตรวจวัดอากาศปากช่อง จ. นครราชสีมา (ภาพที่ 1ก) และศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนฯ จ. ฉะเชิงเทรา (ภาพที่ 1ข)	67
2 ปริมาณสัดส่วนของ MaOM-C และ POM-C ในดิน ที่ระดับความลึกของดิน 0-10 เซนติเมตร (ก) และ 10-30 เซนติเมตร (ข)	68

การศึกษาสมดุลคาร์บอนและการกักเก็บคาร์บอนในดินของสบู่ดำที่ปลูกในดินเหนียว และดินร่วนปนทราย

Study on Carbon Balance and Soil Carbon Sequestration in Planted with *Jatropha curcas* L. on Clay and Sandy Loam Soils

คำนำ

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (global climate change) ในปัจจุบันที่มีความรุนแรงและความถี่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละรอบปี สาเหตุเกิดจากการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เพิ่มมากขึ้นในชั้นบรรยากาศ โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นในบรรยากาศสูงสุดเมื่อเทียบกับก๊าซเรือนกระจกตัวอื่น อีกทั้งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (global warming) และหากพิจารณาในช่วง 100 ปีที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกมีค่าสูงขึ้นประมาณ 0.3-0.6 องศาเซลเซียส นับตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 (IPCC, 2001) โดยอาจกล่าวได้ว่าแหล่งกำเนิดของก๊าซเรือนกระจกเหล่านี้เกิดขึ้นจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งคิดเป็นปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยสู่ในบรรยากาศประมาณ 5 พันล้านตันหรือประมาณ 6-7 พันล้านตันต่อปี ในขณะที่ระบบนิเวศบกสามารถตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้เพียงร้อยละ 50 ของปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น (ชนพงศ์, 2541) ด้วยความตระหนักถึงภัยอันตรายที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากภาวะโลกร้อน ในปัจจุบันประเทศต่างๆ ทั่วโลกจึงพยายามหาแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่เพื่อนำมาใช้แทนที่พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และมาตรการ หรือเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการจัดการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศให้มีปริมาณน้อยลงหรืออยู่ในระดับที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจเป็นอันตรายสำหรับสิ่งมีชีวิตบนโลกนี้ต่อไปในอนาคต

พลังงานจากพืช (biofuel crop) ที่ผลิตได้จากพืชน้ำมัน นับเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่กำลังได้รับความสนใจและส่งเสริมให้มีการปลูกกันอย่างมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะสบู่ดำเนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกง่าย เติบโตเร็ว ให้ผลผลิตได้ในระยะเวลาไม่ถึงปี และสามารถทนสภาพแล้งได้ดี น้ำมันสบู่ดำที่สกัดได้ สามารถนำไปใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลใช้กับเครื่องยนต์หมุนช้า เช่น เครื่องจักรกลเกษตรได้ทันทีโดยไม่ต้องผสมน้ำมันอื่น (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549) นอกจากนี้

พืชน้ำมัน เช่นสับดำนี มีวงจรคาร์บอนในการปลูก ผลิตน้ำมัน และปลดปล่อยคาร์บอนในระหว่างการใช้ น้ำมันที่ค่อนข้างสั้น (short carbon cycle) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันฟอสซิล ที่ต้องใช้ระยะเวลาในการสะสมของคาร์บอนที่ยาวนาน (long carbon cycle) กว่า ดังนั้นการใช้ น้ำมันจากสับดำนี จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดการใช้ น้ำมันฟอสซิล แล้วยังเป็นการควบคุมปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศที่น่าสนใจวิธีหนึ่ง อีกทั้งการปลูกสับดำนีสามารถส่งเสริมให้ปลูกในลักษณะสวนป่าเพื่อประโยชน์ในการกักเก็บคาร์บอนสู่ดินได้ โดยเป็นหนึ่งในโครงการซึ่งอาจได้รับการสนับสนุนทางการเงินและเทคโนโลยีจากประเทศในกลุ่ม Annex I ตามกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism, CDM) ภายใต้พิธีสารเกียวโตอีกด้วย

การกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) ในดินของพื้นที่เกษตรและป่าไม้ เป็นแนวทางหนึ่งที่หลายประเทศนำไปใช้เพื่อประโยชน์ในการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดี ต้นทุนต่ำ และสามารถดำเนินการได้ทันที (Updegraff *et al.*, 2005; Lal, 2004) โดยอาศัยการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของพืช ในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ไปเก็บสะสมไว้ในส่วนของเนื้อเยื่อพืช (ลำต้น ใบ ผล และราก) และเมื่อเศษซากพืชเหล่านี้หลุดร่วงหรือตายลง สารอินทรีย์เหล่านั้นจึงถูกย่อยสลาย และบางส่วนที่ย่อยสลายยาก เช่น สารฮิวมัส คงเก็บสะสมอยู่ในดินต่อไปในรูปของอินทรีย์วัตถุ (soil organic matter) คาร์บอนอาจคงอยู่ในดินได้เป็นเวลายาวนาน เป็นร้อยหรือพันปี (Campbell, 1967; Lal, 2004; Post, 2000) ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพแวดล้อมและการจัดการดินในพื้นที่ แม้ว่าพืชพลังงาน (สับดำนี) อาจช่วยลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ แต่งานวิจัยในเรื่องนี้ยังมีข้อมูลค่อนข้างจำกัด รวมทั้งงานศึกษาเรื่องของสับดำนีนั้น ส่วนใหญ่นำไปใช้ประโยชน์เพื่อผลิตไบโอดีเซลมากกว่า ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงปริมาณสะสมคาร์บอนในดินและพืช ในช่วงระยะสั้น(ประมาณ 1 ปี) และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน รวมถึงปัจจัยแวดล้อมบางประการที่มีความสัมพันธ์กับอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งอาจมีค่าแตกต่างกันตามชนิดดิน พันธุ์สับดำนี และระยะเวลาการเจริญเติบโตที่ต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาสมดุลคาร์บอนในพื้นที่เกษตรต่อไป ข้อมูลเหล่านี้อาจเป็นประโยชน์กับหน่วยงานต่างๆ โดยเฉพาะงานด้านการวางแผน และกำหนดนโยบายพลังงาน รวมทั้งเป็นแนวทางในการจัดการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สำหรับประเทศไทย เพื่อลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ

วัตถุประสงค์

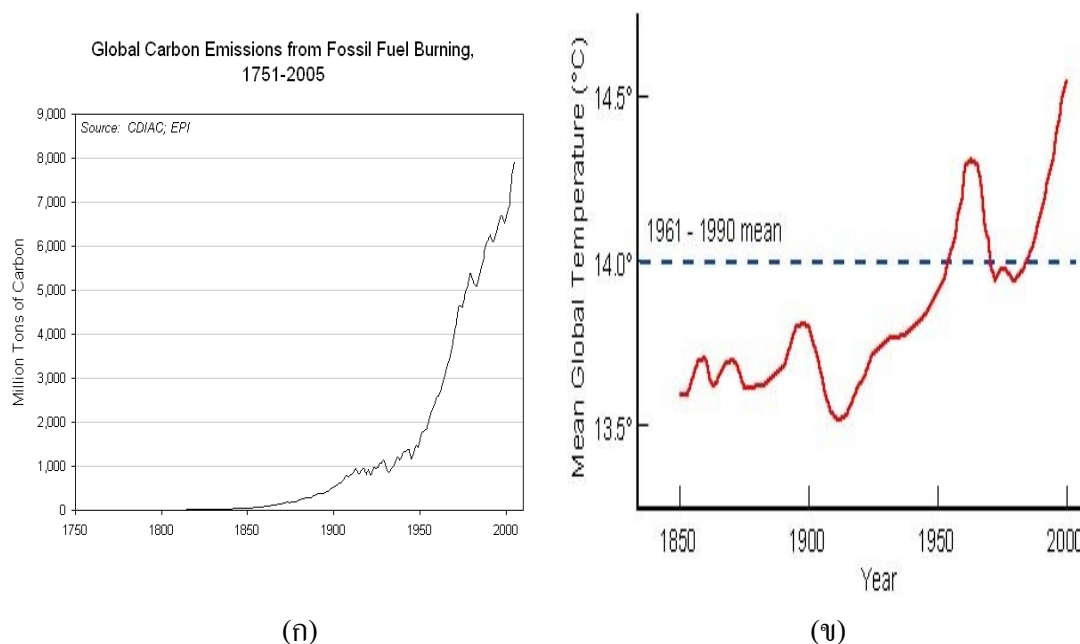
1. ศึกษาการกระจายตัวของคาร์บอนรูปต่างๆ ในพื้นที่ปลูกสับปะรดในดินและพืช
2. ศึกษาเปรียบเทียบอิทธิพลของเนื้อดินและพันธุ์สับปะรดที่มีผลต่อการกักเก็บคาร์บอนในดิน
3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมดุลคาร์บอนในพื้นที่ปลูกสับปะรด

การตรวจเอกสาร

1. ก๊าซเรือนกระจก (green house gas)

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล ในภาคอุตสาหกรรม และพลังงาน รวมถึงจากพื้นที่เกษตร โดยกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การทำลายป่าไม้ การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่นถ่านหิน และน้ำมัน รวมถึงการผลิตปูนซีเมนต์ในอุตสาหกรรมปูน สิ่งเหล่านี้ล้วนเร่งการปลดปล่อยคาร์บอนที่เก็บสะสมอยู่ในแหล่งตามธรรมชาติให้ปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น สำหรับสถานการณ์การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยที่รายงานโดยสำนักนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ในปี 2546 พบว่า การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ มีค่าเท่ากับ 344.2 ล้านตันเทียบเท่ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 equivalent) คิดเป็นปริมาณร้อยละ 0.6 ของโลก (ซาฟิซ, 2550) อาจกล่าวได้ว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศไทยเมื่อเทียบกับประเทศต่างๆ ทั่วโลก พบมีปริมาณน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอุตสาหกรรม เช่น สหรัฐอเมริกา และจีน ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้ คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) จึงกล่าวว่ากิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เป็นตัวการและแหล่งที่มาสำคัญของการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศ (Smith, 1999) ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เรือนกระจก นั่นเอง

นักวิทยาศาสตร์หลายท่านทั่วโลก เชื่อว่าการที่อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดขึ้นหลังการปฏิวัติอุตสาหกรรมในปี ค.ศ. 1850 โดยมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ (ภาพที่ 1) กล่าวคือ ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2503-2543 อุณหภูมิเฉลี่ยผิวโลกสูงขึ้นจากเดิมประมาณ 0.2-0.3 องศาเซลเซียส (สุขประโชค, 2549) ขณะที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศก่อนการปฏิวัติอุตสาหกรรมมีค่าเพิ่มจาก 285 ppmv และในศตวรรษที่ 19 เป็น 336 ppmv ในปี พ.ศ. 2541 ซึ่งคิดเป็นปริมาณการเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 28 ในช่วง 150 ปีที่ผ่านมา ในขณะที่ช่วง 10 ปีที่ผ่านมา อัตราการเพิ่มขึ้นอัตรานี้ทำให้เกิดการสะสมของปริมาณคาร์บอนในบรรยากาศเพียงปีละประมาณ 3.3 จิกกะตันต่อปี (Gt yr^{-1}) (อรรถชัย, 2547) โดยมีการคาดการณ์ว่าในช่วงปี 2533-2643 อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยบริเวณผิวโลกน่าจะเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 1.1-6.4 องศาเซลเซียส (IPCC, 2007)



ภาพที่ 1 การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2294-2548 (ก) และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกในช่วงปี พ.ศ. 2504-2533 (ข)
ที่มา: Florence (2006)

ผลกระทบที่เห็นได้ชัดเจนจากการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น คือ อุณหภูมิผิวโลกเฉลี่ยมีค่าสูงขึ้น น้ำแข็งบริเวณขั้วโลกมีการละลายเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำทะเลมีระดับสูงขึ้น เป็นการเพิ่มความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ของหมีขั้วโลก ในขณะที่อุณหภูมิที่สูงนี้ทำให้เชื้อสาเหตุโรคบางชนิด เช่น ไวรัส และแบคทีเรีย สามารถเจริญเติบโตและแพร่กระจายพันธุ์ได้ดีขึ้น เป็นผลให้เกิดการระบาดของโรคร้ายแรงหลายชนิด ดังเช่นในปัจจุบัน พบการระบาดของโรคไข้หวัดนก และโรคซาร์ เป็นต้น นอกจากนี้ความถี่ของการเกิดพายุที่มีขนาดความรุนแรงและเกิดขึ้นบ่อยครั้งมากในปัจจุบัน เช่น แคนรีนา ที่ถล่มเมืองนิวยอร์กของสหรัฐอเมริกา จากหลักฐานทางอุตุนิยมวิทยา พบว่าจำนวนพายุทอร์นาโด พายุเฮอริเคน และพายุไต้ฝุ่นที่เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2547-2548 มีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นสามเท่าเมื่อเทียบกับคริสต์ศตวรรษที่ 20 (ขวัญชัย, 2549) การเปลี่ยนแปลงของฤดูกาลที่ผิดปกติ อันเนื่องมาจากผลของปรากฏการณ์เอลนีโญ ทำให้เกิดภัยแล้ง ฝนตกหนัก น้ำท่วม และการเกิดการแพร่กระจายของคลื่นความร้อน (heat wave) ในยุโรปและประเทศต่างๆ ทั่วทุกพื้นที่ในโลก (นิพนธ์, 2549) เหล่านี้ล้วนเกิดขึ้นจากภาวะโลกร้อนและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (climate change) ที่รุนแรงขึ้น นั่นเอง

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซเรือนกระจกกับวงจรคาร์บอนในโลก

คาร์บอนเป็นธาตุหนึ่งที่สำคัญ และเป็นองค์ประกอบหลักในสิ่งมีชีวิต ในธรรมชาตินั้น พืช และจุลินทรีย์ ถือเป็นผู้มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงวงจรคาร์บอนในโลก พืชทำหน้าที่เปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาเก็บสะสมไว้ในรูปสารประกอบอินทรีย์ในส่วนต่างๆ ของพืช โดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การสังเคราะห์แสง (photosynthesis) และจุลินทรีย์ในดิน ทำหน้าที่ย่อยสลายเพื่อเปลี่ยนรูปคาร์บอนอินทรีย์ในเศษซากพืชและสัตว์ที่ตายลง ให้กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ปลดปล่อยกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้คาร์บอนเข้าสู่วงจรคาร์บอน (carbon cycle) อีกครั้ง นอกจากนี้คาร์บอนบางส่วนที่ไม่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน สามารถเก็บสะสมไว้ในดินในรูปสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก เช่น ฮิวมัส (humus) สารประกอบคาร์บอนเนต รวมถึงในรูปของแหล่งพลังงานฟอสซิล (น้ำมัน ถ่านหิน) อีกด้วย

ก๊าซเรือนกระจก เช่น มีเทน (CH_4) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ เป็นก๊าซที่พบอยู่แล้วทั่วไปในชั้นบรรยากาศ โดยก๊าซเหล่านี้ทำหน้าที่เก็บสะสมความร้อนเพื่อทำให้โลกอบอุ่นขึ้นนับจากยุคน้ำแข็ง หากไม่มีก๊าซเรือนกระจก อุณหภูมิของผิวโลกน่าจะต่ำมากจนถึง -20 องศาเซลเซียส แทนที่จะเป็น 15 องศาเซลเซียส (Kiehl and Trenberth, 1997) ปรากฏว่าปริมาณก๊าซเรือนกระจกอยู่ในระดับที่ค่อนข้างคงที่ และอุณหภูมิโลกยังคงสมดุล หากแต่ในช่วงศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา กิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และการใช้เชื้อเพลิงจากแหล่งฟอสซิล เป็นสาเหตุหลักทำให้ที่ดินเสื่อมโทรม และเนื่องจากที่อุณหภูมิสูง การสลายตัวของอินทรีย์วัตถุและอินทรีย์สารในดินเกิดได้ดี (อรรพวรรณ, 2550) คาร์บอนในรูปพลังงานจากฟอสซิลถูกนำมาใช้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ทำให้คาร์บอนจากแหล่งสะสมเหล่านี้ปลดปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่พบมีปริมาณความเข้มข้นสูงขึ้นมาก เป็นเหตุให้วงจรคาร์บอนในธรรมชาติจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ มหาสมุทร พืชพรรณ ดิน และบรรยากาศ เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากสมดุล คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่มีปริมาณมากเกินไปเป็นเสมือนตัวขวางกั้นการสะท้อนของรังสีคลื่นยาว (รังสีอินฟราเรด) กลับสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้พลังงานความร้อนถูกเก็บสะสมไว้เพิ่มมากขึ้น (นิพนธ์, 2549) อุณหภูมิของผิวโลกเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น และเกิดเป็นภาวะโลกร้อน (global warming) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรง (climate change) ได้ ดังเช่นปรากฏการณ์ในปัจจุบัน

1.2 การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกตามแนวทางในพิธีสารเกียวโต

เนื่องจากความวิตกกังวลของประชาคมโลกที่มีต่อปัญหาสภาวะโลกร้อนจากปรากฏการณ์เรือนกระจก เป็นที่มาของการทำอนุสัญญาว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลก (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) ที่นานาชาติประเทศร่วมมือกันเพื่อรับรองอนุสัญญาฯ ในปี พ.ศ. 2535 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาระดับก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศไว้ไม่ให้ส่งผลกระทบต่อระบบภูมิอากาศ โดยแบ่งกลุ่มประเทศภาคีสมาชิกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ประเทศที่พัฒนาแล้ว (Annex I) และ ประเทศที่กำลังพัฒนา (Non-annex I) และเพื่อให้การดำเนินงานบรรลุวัตถุประสงค์ได้อย่างสูงสุด องค์การระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) จึงได้ออกมาตรการทางกฎหมายมาควบคุม ภายใต้แนวทางการจัดการของพิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) โดยลักษณะเด่นของพิธีสารนี้ คือ การกำหนดเป้าหมายอย่างชัดเจนให้ประเทศในกลุ่ม Annex I ลดระดับการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 5.2 ของปริมาณการปลดปล่อยในปี พ.ศ. 2533 และให้แล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2553 (เล็ก, 2550) สำหรับประเทศในกลุ่ม Non-annex I ยังไม่มีการตกลงกำหนดระดับการลดก๊าซเรือนกระจกอย่างชัดเจนแต่เป็นไปตามความสมัครใจของแต่ละประเทศ

นอกจากนี้แนวทางการจัดการภายใต้พิธีสารเกียวโต ได้แก่ กลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism-CDM) เป็นอีกหนึ่งกลไกยืดหยุ่นที่เปิดโอกาสให้ประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น ประเทศไทย ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มประเทศ Non-annex I สามารถลดต้นทุนการจัดการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยความร่วมมือกันกับประเทศในกลุ่ม Annex I ซึ่งอาจเป็นการสนับสนุนในด้านเทคโนโลยี หรืองบประมาณ เพื่อให้เกิดการลงทุนแบบมีส่วนร่วมและส่งเสริมการพัฒนาที่ยั่งยืนระหว่างประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศกำลังพัฒนา โดยสอดคล้องและถูกต้องตามแนวทางของหลักการมีส่วนร่วมรับผิดชอบร่วมกันในระดับที่แตกต่างกัน (นิรนาม, 2548) อีกทั้งสามารถนำปริมาณก๊าซที่ลดได้จากโครงการ (Certified Emission Reductions, CERs) มาคิดเป็นเครดิตในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกตามพันธกรณีในอนุสัญญาฯ ได้อีกด้วย สำหรับประเทศไทยมีการดำเนินการในโครงการ CDM ด้านพลังงาน เช่น โครงการผลิตพลังงานทดแทนจากไบโอดีเซล และเอทานอล จากพืชพลังงาน เป็นโครงการลำดับแรกๆ ซึ่งได้รับการสนับสนุนในปัจจุบัน (ดาวัลย์, 2549) และสำหรับในอนาคตเทคโนโลยีการกักเก็บคาร์บอนไว้ในที่ปลอดภัยโดยผ่านกลไกของกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศเก็บสะสมไว้ในดินไม้ และในดินในรูปอินทรีย์วัตถุ (เล็ก, 2550) ที่เรียกว่า “carbon sequestration” นับเป็นส่วนหนึ่งใน

แนวทางการจัดการคาร์บอนไดออกไซด์ที่สำคัญและน่าสนใจศึกษาอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการกักเก็บคาร์บอนไว้ในพืชและในดินของพื้นที่ป่าไม้รวมทั้งพื้นที่การเกษตร (terrestrial carbon sequestration)

นาฏสุดา (2547) รายงานว่าวิธีการที่ดีที่สุดในการเก็บกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือการเก็บกักคาร์บอนไว้ในต้นไม้และผลิตภัณฑ์ของไม้ที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ต้นไม้และป่าไม้เป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนที่สำคัญ โดยทั่วไปคาร์บอนอินทรีย์ประมาณครึ่งหนึ่งเก็บไว้ในมวลชีวภาพของต้นไม้ (ในรูปน้ำหนักแห้ง) โดยเก็บสะสมไว้ในส่วนต่างๆ ของต้นไม้ ได้แก่ ราก ลำต้น กิ่งก้าน และใบ

2. สมดุลคาร์บอนในดิน

สมดุลคาร์บอน หมายถึงสถานะที่คาร์บอนในระบบมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสารขาเข้า (carbon input) และสารขาออก (carbon output) ในปริมาณคงที่ หรืออยู่ในระดับที่ไม่ทำให้สมดุลเดิมของคาร์บอนในระบบเปลี่ยนแปลง แหล่งที่มาของคาร์บอนในดินส่วนใหญ่มาจากเศษซากพืชและสัตว์ รวมถึงการหมุนเวียนของรากพืช สารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางราก (root exudation) และเซลล์ของจุลินทรีย์ การเปลี่ยนแปลงสมดุลคาร์บอนในระบบเกี่ยวข้องกับ 2 กระบวนการหลักที่สำคัญ คือการสังเคราะห์แสง และการหายใจ

สาพิศ และคณะ (2548) ศึกษาสมดุลคาร์บอนในระบบนิเวศของป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง โดยการเปรียบเทียบศักยภาพในการเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอน (carbon sinks) ในรูปของผลผลิตคาร์บอนสุทธิ (net ecosystem product; NEP) พบว่าป่าดิบแล้งสะแกราชมีศักยภาพในการเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนมากกว่าป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง โดยมีค่าผลผลิตคาร์บอนสุทธิเท่ากับ 5.66 และ 0.73 ดันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกแตร์ต่อปี คิดเป็นปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 1.54 และ 0.20 ดันต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ

Matsumoto *et al.* (2008) ศึกษาสมดุลคาร์บอนในพื้นที่ปลูกข้าวโพด ในจังหวัดขอนแก่น ในระบบที่มีการจัดการดินที่แตกต่างกันในช่วงเวลาสั้นๆ 1-3 ปี พบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมในดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 16.0 Mg C ha⁻¹ yr⁻¹ เป็น 17.1 สำหรับช่วงเวลา

ศึกษาในปีที่ 1 และปีที่ 3 คิดเป็นปริมาณคาร์บอนที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ $+0.1 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ในพื้นที่ซึ่งมีการปลูกพืชตามแบบวิธีดั้งเดิม (conventional)

3. การกักเก็บคาร์บอนในดิน

การกักเก็บคาร์บอนในดิน (soil carbon sequestration) เป็นหนึ่งในแนวทางการจัดการคาร์บอนเพื่อลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ โดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชในการเปลี่ยนรูปคาร์บอนอินทรีย์ (CO_2) เป็นคาร์บอนอินทรีย์กักเก็บไว้ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของพืช ทั้งในส่วนที่อยู่เหนือดิน (above-ground biomass) ได้แก่ ลำต้น กิ่ง และใบ และส่วนที่อยู่ใต้ดิน (below-ground biomass) คือ ราก แหล่งที่มาของคาร์บอนในดินที่สำคัญมาจากเศษซากพืช (plant litter) ที่ร่วงหล่นลงดิน และสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางรากพืช (root exudation) รวมทั้งรากพืชที่ตายแล้ว คาร์บอนที่กักเก็บอยู่ในดินสามารถเก็บไว้ได้นานและคงทนกว่าการกักเก็บไว้ในมวลชีวภาพของพืชเนื่องจากคาร์บอนในดินสลายตัวได้ช้ากว่า จากการประเมินโดยใช้ ^{14}C ซึ่งชี้ให้เห็นว่าคาร์บอนสามารถอยู่ในดินได้นานกว่า 6,000 ปี (พจนีย์ และ ทวีศักดิ์, 2541)

ดินเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนที่สำคัญ จากการคำนวณปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บไว้ในดินและพืชทั่วโลกมีอยู่ประมาณ $2,300 \times 10^{15}$ กรัม (IPCC, 2001) เมื่อเทียบกับปริมาณคาร์บอนในอากาศที่มีประมาณ 760×10^{15} กรัม ปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บไว้ในดินมีปริมาณมากกว่าในอากาศ ประมาณ 3 เท่า (Lal, 2004) สำหรับประเทศไทยคาร์บอนในดินมีประมาณ 6.2×10^{15} กรัม (พจนีย์ และ ทวีศักดิ์, 2541) โดยปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บไว้ในดินนี้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาระหว่างระบบนิเวศบนบกและบรรยากาศ ขึ้นอยู่กับสมดุลระหว่าง 2 กระบวนการหลัก คือ การสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ที่มีผลทำให้ดินเป็นแหล่งสะสมคาร์บอน และการหายใจของดิน (soil respiration) ซึ่งเป็นการปลดปล่อยคาร์บอนจากผิวดินในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ โดยทั่วไปคาร์บอนในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารคาร์บอนอินทรีย์ (soil organic carbon) ได้แก่ สารประกอบฮิวมัส ซึ่งเป็นคาร์บอนที่เสถียร เนื่องจากมีโครงสร้างที่ซับซ้อน จึงย่อยสลายได้ยาก และส่วนน้อยที่พบในรูปสารคาร์บอนอนินทรีย์ (soil inorganic carbon) เช่น สารประกอบคาร์บอเนต เนื่องจากคาร์บอนอินทรีย์ในดินเป็นส่วนที่เกิดการเปลี่ยนรูปได้ง่ายกว่าคาร์บอนในรูปสารอนินทรีย์ ทำให้คาร์บอนอินทรีย์เป็นเสมือนตัวควบคุมสมดุลการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนในดิน จากการศึกษาของ พจนีย์ และ ทวีศักดิ์ (2541) พบว่าที่ระดับความลึก 0-100 เซนติเมตร ซึ่ง

เป็นมาตรฐานความลึกที่ใช้ในการประเมินปริมาณคาร์บอนรวม สรุปได้ว่า ประเทศไทยมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวมทั้งหมดประมาณ $6,211,706 \times 10^6$ กิโลกรัม หรือ 6,211.7 ล้านตัน และอินทรีย์คาร์บอนรวมทั้งหมดประมาณ $184,049 \times 10^6$ กิโลกรัม หรือ 184 ล้านตัน โดยปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่สะสมในดินมีความผันแปรขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความชื้นในดิน ลักษณะโครงสร้างของดิน และระดับความลึกของดิน

แหล่งที่มาของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน มีกำเนิดมาจากชีวมวลของพืชผ่านทางระบบการสังเคราะห์แสงของพืชในการเปลี่ยนรูปอินทรีย์คาร์บอน (CO_2) ในบรรยากาศมาเก็บไว้ในรูปของอินทรีย์คาร์บอนในชีวมวล และกลายเป็นอินทรีย์คาร์บอน (SOC) สะสมไว้ในดิน เมื่อส่วนต่างๆ ของพืช ร่วงหล่นและย่อยสลายโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน รวมทั้งสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางรากพืช (root exudation) เซลล์ของจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว และสารที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ กระบวนการกักเก็บคาร์บอนไว้ในดินดังกล่าว เรียกว่า “การกักเก็บคาร์บอนในดิน” (soil carbon sequestration) (นวรรตน์ และ ศิวัช, 2550) ซึ่งเป็นกระบวนการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากในบรรยากาศโดยเก็บสะสมไว้ในดินในรูปของสารอินทรีย์คาร์บอนที่ไม่สามารถสลายตัวได้ง่าย เช่น ฮิวมัส จากรายงานการศึกษาคาร์บอนในดินในช่วงเวลาที่ผ่านมา พบว่าเน้นศึกษาในเรื่องหน้าที่ในการนำคาร์บอนไปใช้ประโยชน์ด้านความอุดมสมบูรณ์ของดินและการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของดินเป็นหลัก งานวิจัยทางด้านการใช้ประโยชน์ในแง่ของการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกยังมีข้อมูลน้อยและค่อนข้างจำกัด

อำนาจ และ ณัฐพล (2548) ศึกษาการกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินต่างๆ กัน พบว่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินที่ความลึก 0-50 เซนติเมตร ในดินป่าธรรมชาติ (ป่าดิบแล้ง) มีปริมาณสูงที่สุด คือ 118 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ รองลงมาคือ ดินในพื้นที่ป่าปลูก (กระถินเทพา อายุ 16 ปี) และดินทำการเกษตร มีค่า 66 และ 60 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ตามลำดับโดยมากกว่าร้อยละ 50 ของปริมาณคาร์บอนทั้งหมดถูกกักเก็บไว้ในชั้นความลึกระหว่าง 0-20 เซนติเมตร (ดินชั้นบน) และเมื่อเปรียบเทียบกับดินที่ทำการเกษตร (ข้าวโพด) พบว่าในพื้นที่ปลูกป่ากระถินเทพาเป็นเวลา 16 ปี สามารถเพิ่มปริมาณคาร์บอนสะสมในดินได้มากกว่าประมาณ 10 ตันต่อเฮกแตร์ ในขณะที่ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปลดปล่อยออกมาจากพื้นที่เหล่านี้มีค่าอยู่ระหว่าง 12-17 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยควบคุมหลายๆ อย่าง เช่น สภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติของดินทั้งทางด้านฟิสิกส์ เคมีและชีวภาพ และวิธีการจัดการดิน (soil management practices) ในพื้นที่

Ma *et al.* (2000) รายงานว่า จากการศึกษากักเก็บคาร์บอนสู่ดินโดยการปลูกหญ้า switchgrass ในพื้นที่ดินร่วนปนทราย พบว่า การสะสมคาร์บอนในดินเกิดขึ้นปริมาณมากที่ผิวดิน คือระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร ในพื้นที่ปลูก switchgrass และไม่พบความแตกต่างของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินที่ปลูก switchgrass เมื่อเทียบกับดินที่ชุดควบคุมซึ่งไม่มีการปลูกพืช (fallow soil) ในทั้งดินทรายและดินเหนียว ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ (ประมาณ 2 ปี)

Eswaran *et.al.* (1993) รายงานว่าดินที่มีปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินมากที่สุดพบในพื้นที่ป่าไม้ในเขต tundra ซึ่งส่วนใหญ่เป็นดินอินทรีย์ (Histosols) รองลงมาได้แก่ในป่าเขตร้อน และพื้นที่เกษตร จัดเป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอนได้อย่างดีและมีศักยภาพในการกักเก็บคาร์บอนได้ในปริมาณที่สูง ถ้ามีเทคโนโลยีและการจัดการที่เหมาะสม โดยดินในพื้นที่ป่าไม้สามารถกักเก็บอินทรีย์คาร์บอนในดินได้ประมาณ 582 พิกะกรัม (Pg) ซึ่งประมาณ 360 พิกะกรัม อยู่ในรูปของมวลชีวภาพ

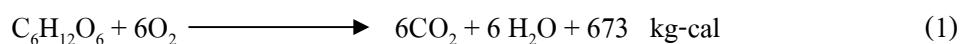
เสริมพงศ์ (2545) ทำการศึกษาบทบาทการปลูกสร้างสวนป่าต่อการกักเก็บคาร์บอนที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จ.นครราชสีมา พบว่าแปลงไม้กระถินเทพามีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดินจนถึงระดับความลึก 30 เซนติเมตรได้มากที่สุด คือ 53.242 ตันต่อเฮกแตร์ รองลงมาได้แก่แปลงเลา หู้าคา ไม้แดง ไม้พะยุง ไม้ยูคาลิปตัสคามาลดูเลนซิส ประดู่ป่า และกระถินณรงค์ มีค่า 48.850 45.927 43.154 42.280 37.914 37.581 และ 37.272 ตันต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในพืชแปรผันโดยตรงกับปริมาณมวลชีวภาพ

4. รูปและการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดิน

การหายใจของดิน

การหายใจของดิน (soil respiration) เป็นกระบวนการออกซิโดซสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ในเศษซากพืชและซากสัตว์ ที่ร่วงลงสู่ดินไปเป็นสารอินทรีย์ในดิน (SOM) โดยอาศัยกิจกรรมของเอนไซม์ภายในเซลล์จุลินทรีย์ แล้วปลดปล่อยเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมาจากผิวดินไปสู่บรรยากาศ รวมทั้งการหายใจของสิ่งมีชีวิตในดิน เช่น สัตว์ในดิน จุลินทรีย์ และการหายใจของรากพืชด้วย มีการประมาณค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของโลก พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 50-75 พันล้านตันคาร์บอนต่อปี (Rayment and Jarvis, 2000) การ

หายใจโดยใช้ออกซิเจนเป็นกระบวนการสร้างพลังงานที่ดีและมีประสิทธิภาพที่สุด สามารถเขียนสมการการหายใจ ได้ดังนี้



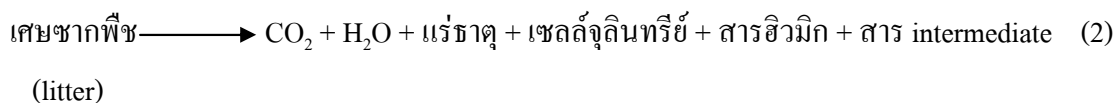
โดยมีน้ำตาล hexose เป็นสารตั้งต้น (Meyer and Anderson, 1952)

ปัจจัยที่มีผลควบคุมอัตราการหายใจของดินผันแปรไปตามสมบัติของดิน และพืชพรรณที่ปกคลุม (พงษ์ศักดิ์, 2538) โดยทั่วไปเมื่อปริมาณอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ในดินมีปริมาณมาก จำนวนจุลินทรีย์ในดินสูง อุณหภูมิดินและความชื้นเหมาะสม การถ่ายเทอากาศดี จะทำให้การปลดปล่อยคาร์บอนจากดินสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้อายุของพืชพรรณเป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการหายใจของดิน โดยพืชจะมีอัตราการหายใจต่ำในช่วงที่มีอายุน้อย และมีอัตราเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับสูงสุดเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จากนั้นค่าจะลดลงจนกระทั่งพืชตาย (สมบุญ, 2548)

อินทรีย์วัตถุในดิน

อินทรีย์วัตถุในดิน (soil organic matter: SOM) หรือฮิวมัส (humus) คือ อินทรีย์สารทุกชนิดที่มีอยู่ในดิน เกิดมาจากซากพืช ซากสัตว์ และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ที่กำลังสลายตัวทับถมอยู่ในดิน เซลล์จุลินทรีย์ทั้งส่วนที่มีชีวิตและตายไปแล้ว รวมทั้งสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางรากพืช (root exudation) และสารที่จุลินทรีย์สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ ส่วนที่ไม่ใช่สารฮิวมิก (non-humic substance) และส่วนที่เป็นสารฮิวมิก (humic substance)

สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหาร หรือ แหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในดินที่เป็นพวกเฮเทอโรโทรป (heterotroph) จุลินทรีย์เหล่านี้ ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน โดยการปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อย (extracellular enzyme) และใช้สารเหล่านั้นในการสร้างเซลล์ จุลินทรีย์เอง บางส่วนที่ย่อยสลายได้ยากหรือคงทนจะแปรสภาพต่อไปเป็นสารฮิวมิก เนื่องจากการสลายตัวที่เกิดขึ้นในดิน มักเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ เพราะมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ โดยเฉพาะเมื่อดินมีความชื้นสูง หรือในสภาพน้ำขัง ทำให้สารประกอบส่วนหนึ่งคงเหลืออยู่ในดิน ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้



แหล่งที่มาของอินทรีย์วัตถุในดินตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่มาจากพืช ดังนั้นการสลายตัวของเศษซากพืช จึงจัดเป็นกระบวนการหลักที่สำคัญในดิน และมีผลกระทบโดยตรงต่อปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน โดยมีหลายปัจจัยควบคุมการสลายตัวของซากพืช ได้แก่ ชนิดของสารประกอบอินทรีย์ในพืช ค่า C: N ratio ของเศษพืช รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของจุลินทรีย์และการสลายตัว เช่น การถ่ายเทอากาศ ระดับความชื้น อุณหภูมิ และความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548)

รูปของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

รูปของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (forms of organic carbon) สามารถแบ่งกลุ่มตามขนาดอนุภาคออกได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ รูปของพาร์ทิเคิลคาร์บอน (particulate organic carbon; POM-C) และคาร์บอนในรูปที่อยู่ร่วมกับอนินทรีย์สารในดิน (mineral-associated organic carbon; MaOM-C) โดยคาร์บอนในรูปต่างๆ นี้สามารถใช้เพื่อศึกษาผลของปัจจัยแวดล้อมต่างๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือชนิดของสิ่งปกคลุมดินที่มีต่อปริมาณการสะสมของคาร์บอนในดิน เพื่อใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนในระบบ แม้ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ

ก. พาร์ทิเคิลคาร์บอน (POM-C) คือ คาร์บอนอินทรีย์ในรูปที่ไม่เสถียร (labile C) และไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในดิน แหล่งที่มาของคาร์บอนในรูปนี้ได้รับโดยตรงมาจากเศษซากพืช ทั้งในส่วนที่ผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ และส่วนที่ยังเป็นเศษซากพืชในดินโดยทั่วไป พบเป็นองค์ประกอบอยู่ในชั้นดิน O-horizon หรือเป็นคาร์บอนในส่วนที่เกาะร่วมตัวกับอนุภาคขนาดใหญ่ในดิน (macro aggregate) คือ อนุภาคของ sand เนื่องจากเป็นอินทรีย์คาร์บอนที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ง่ายต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มากกว่าเมื่อเทียบกับคาร์บอนในรูป MaOM

Ashagrie *et al.* (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ POM-C ภายใต้ระบบที่มีการเพาะปลูกพืช (cultivation) พบว่าปริมาณคาร์บอนในรูปของ free light fraction (free LF) และปริมาณไนโตรเจนในดินลดลงในปริมาณที่มากกว่าร้อยละ 88 โดยคาร์บอนในจำนวนข้างต้น มีปริมาณคาร์บอนในรูป iPOM คิดเป็นร้อยละ 66 ของปริมาณคาร์บอนที่ลดลง

ข. คาร์บอนในรูปที่อยู่ร่วมกับสารอินทรีย์ในดิน (MaOM-C) คือ คาร์บอนอินทรีย์ในส่วนที่ผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดินแล้ว อยู่ในรูปที่เป็น humified fraction โดยทั่วไป MaOM ยึดเกาะร่วมตัวกับอนุภาคในดินที่เป็นสารอินทรีย์ในขนาดอนุภาคของทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว (clay) ซึ่งเป็นกลุ่มอนุภาคนาขนาดเล็ก (microaggregate) เกิดเป็นสารประกอบคาร์บอนที่ซับซ้อน และยากต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดิน ทำให้คาร์บอนในรูปนี้มีความเสถียร (stable C) ดังนั้นคาร์บอนในรูปนี้จึงเป็นเสมือนแหล่งสะสมคาร์บอนในระยะยาวของดิน

Bongiovanni and Lobartini (2006) ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ POM-C และ MaOM-C ในระบบการเพาะปลูกพืช (cultivation) ของประเทศอาร์เจนตินา พบว่าการทำเกษตรในระบบการปลูกพืชตามแบบวิธีดั้งเดิมที่มีการไถพรวนดิน ทำให้ดินสูญเสียคาร์บอนในรูป POM-C และ MaOM-C จาก 7.70 เป็น 1.83 g kg⁻¹ soil และ 18.3 เป็น 9.6 g kg⁻¹ soil สำหรับดินในพื้นที่ป่าธรรมชาติ ที่ไม่มีการรบกวนดิน (undisturbed soil) และดินในพื้นที่เกษตร ตามลำดับ

5. มวลชีวภาพ

มวลชีวภาพ (biomass) หมายถึงน้ำหนักของพืชที่วัดออกมาเป็นน้ำหนักแห้ง (dry weight) หรือน้ำหนักแห้งของพืชที่ปราศจากเถ้า (ash-free dry weight) อาจเป็นน้ำหนักต่อหน่วยของพืช เช่น ต่อต้น หรือต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งจะหมายถึงพืชทั้งกลุ่มหรือทั้งสังคมพืช โดยทั่วไปคิดในหน่วยพื้นที่ 1 ตารางเมตร หรือ 1 เฮกแตร์ แล้วแต่นิยามของสังคมพืช (พจนานุกรม, 2538) มวลชีวภาพของต้นไม้ คือ ผลรวมของส่วนที่เป็นลำต้น กิ่ง ใบ และราก ทั้งส่วนที่อยู่เหนือดิน (above-ground biomass) และส่วนใต้ดิน (below-ground biomass) แต่ส่วนใหญ่แล้วทำการศึกษาเฉพาะในส่วนมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน เนื่องจากมวลชีวภาพใต้ดินต้องมีการขุดรากต้นไม้มาศึกษาซึ่งทำได้ยาก โดยมวลชีวภาพของพืชสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการเจริญเติบโตและความอุดมสมบูรณ์ในแง่ของผลผลิตต้นไม้ในพื้นที่ได้ นอกเหนือจากการวัดการเจริญเติบโตทางด้านเส้นผ่าศูนย์กลางและความสูงของต้นไม้ ซึ่งมวลชีวภาพของต้นไม้จะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของพันธุ์ไม้และพื้นที่ปลูก สำหรับงานศึกษานี้มวลชีวภาพของต้นไม้สุ่มจัดเป็นแหล่งคาร์บอนอินทรีย์ที่สำคัญเพิ่มเติมให้แก่ดิน โดยผ่านกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และเก็บสะสมไว้ในดินในรูปของคาร์บอนอินทรีย์ต่างๆ

วิธีการศึกษาปริมาณคาร์บอนในส่วนของต้นไม้ สามารถทำได้โดยวิธีการประมาณหามวลชีวภาพ โดยอาศัยสมการทางแอลโลเมตริก (allometric equation) ซึ่งนำมาใช้ครั้งแรกในงานศึกษา

ทางด้านนิเวศวิทยาของป่าไม้โดย Kittredge (พจนานุกรม, 2538) ต่อมา Satoo and Senda (1958) ได้นำมาใช้ประมาณมวลชีวภาพของลำต้น กิ่ง ใบ และราก ของต้นไม้ และพัฒนาต่อโดย Kira and Shidel (1967) ซึ่งได้นำค่าความสูงทั้งหมดของต้นไม้ (H) มาใช้เป็นตัวแปรอิสระร่วมกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความสูงระดับอกยกกำลังสอง (DBH^2) ในรูปของ parabolic volume คือ $DBH^2 \cdot H$ โดยมีหน่วยเป็น $cm^2 \cdot m$ เพื่อใช้ในการประมาณค่าของปริมาตรลำต้น ซึ่งสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับมวลชีวภาพ ทำให้การประมาณค่ามวลชีวภาพของลำต้นมีความถูกต้องมากขึ้น (ชิงชัย, 2546) ดังนั้นรูปแบบของสมการทางแอลโลเมตรี จึงหาได้จากความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว คือ ขนาดของส่วนต่างๆ ที่วัดได้จากต้นไม้ ได้แก่ ความสูง (H) และเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) เป็นตัวแปรอิสระ (X) และปริมาณมวลชีวภาพในแต่ละส่วน (ลำต้น กิ่ง ใบ และราก) ของต้นไม้เป็นตัวแปรตาม (Y) โดยสามารถเขียนรูปแบบความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

$$Y = aX^h \quad (3)$$

$$\text{หรือ } \log Y = \log a + h \log X$$

เมื่อ Y เท่ากับ มวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของต้นไม้
 X เท่ากับ ค่าตัวแปรอิสระซึ่งใช้ในการประมาณหามวลชีวภาพ
 a และ h เท่ากับ ค่าคงที่ของสมการ

ค่าตัวแปรอิสระ (X) ค่าใดจะถูกต้องที่สุดนั้นจะต้องเลือกให้เหมาะสมแล้วแต่กรณีไป การใช้สมการนี้ประมาณค่ามวลชีวภาพของลำต้น นิยมให้ X เป็นค่า D^2H ตามวิธีของ Kira and Shidel (1967) สำหรับมวลชีวภาพของกิ่งและใบ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่หน้าตัดของลำต้นตรงระดับความสูงที่จุดได้ส่วนต่อระหว่างกิ่งสดกิ่งแรกกับลำต้น จึงให้ X เป็นค่า D_b คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นที่ระดับกิ่งสดกิ่งแรก (Shinozaki *et al.*, 1964) ส่วนการประมาณหามวลชีวภาพของรากโดยทั่วไป Ogawa *et al.* (1965) ให้ X เป็นค่า D^2H แต่ Hozumi *et al.* (1969) ให้ X อยู่ในรูป D^2 หรือ ในกรณีที่ไม่สามารถขุดรากได้ดินเพื่อสร้างสมการประมาณหามวลชีวภาพของรากได้โดยตรง สามารถคำนวณหามวลชีวภาพในส่วนใต้พื้นดิน จากอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้พื้นดินและมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน (root/shoot ratio) ซึ่งในงานศึกษานี้กำหนดให้ เท่ากับในป่าผลัดใบเขตร้อนที่กำหนดให้อัตราส่วนดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 0.47 (IPCC, 1996)

6. พืชพลังงานกับการกักเก็บคาร์บอน

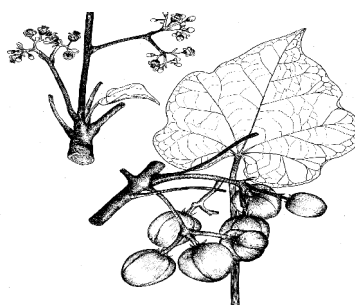
การกักเก็บคาร์บอนโดยทั่วไปสามารถทำได้กับพืชทุกชนิด ไม่เฉพาะเจาะจงว่าต้องเป็นพืชพลังงาน (fuel crop) เท่านั้น เนื่องจากพืชพรรณ หรือ ต้นไม้ ในพื้นที่เกษตร และป่าไม้ใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในกระบวนการสังเคราะห์แสง ในที่นี้พืชพลังงานหมายถึง พืชใดๆ ได้แก่ เมล็ด (ปาล์ม สนุ่นดำ) เศษซากพืช (กากมันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด) ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล ข้อดีของการปลูกพืชพลังงานเพื่อกักเก็บคาร์บอน คือ พลังงานที่ได้ปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศน้อยกว่าเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน และถ่านหิน ด้วยเหตุนี้เองการปลูกพืชพลังงาน จึงเป็นประโยชน์ทั้งในด้านการลดปริมาณคาร์บอนที่ปล่อยสู่บรรยากาศ และยังช่วยการกักเก็บคาร์บอนไว้ในส่วนของชีวมวล (biomass) ในพืชและดิน อีกด้วย นอกจากนี้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกสู่อากาศนั้น ถือว่าเป็นการปลดปล่อยแบบชั่วคราว เนื่องจากพืชน้ำมันมีวงจรในการผลิต สะสม และปลดปล่อยคาร์บอนที่ค่อนข้างสั้น (carbon short cycle) เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงฟอสซิล นั่นเอง

7. สนุ่นดำ (physic nut)

7.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของสนุ่นดำ

สนุ่นดำ มีชื่อสามัญว่า physic nut และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Jatropha curcas* Linn. เป็นพืชในวงศ์ไม้ยางพารา Euphorbiaceae เช่นเดียวกับสนุ่นแดง มันสำปะหลัง ผักหวานบ้าน ละหุ่ง เป็นพืชพื้นเมืองของชาวอเมริกาใต้ จัดเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลางสูงประมาณ 2-7 เมตร อายุยืนไม่น้อยกว่า 20 ปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2549) ลำต้นและยอดคล้ายละหุ่ง แต่หยักตื้นกว่า มี 4 แฉก ออกดอกเป็นช่อกระจุก ที่ข้อส่วนปลายของยอด ขนาดดอกเล็ก สีเหลือง มีกลิ่นหอมอ่อนๆ (สมบัติ, 2549) ก้านช่อดอกยาว 3-8 เซนติเมตร ผิวมีขน ก้านดอกย่อยยาว 2-3 มิลลิเมตร ดอกย่อยมีใบประดับ 2 อัน รูป linear ปลายแหลม กว้าง 1-2 มิลลิเมตร ยาว 2-5 มิลลิเมตร ด้านในกลีบมีขนเล็กๆ โคนกลีบด้านในมีต่อมสีเหลืองรูปรี ยาว 1 มิลลิเมตร เรียงเป็นวง เกสรตัวผู้มี 5 อันแยกกัน ก้านชูอับเรณูยาว 3-5 มิลลิเมตร อับเรณูสีเหลือง เกสรตัวเมีย 1 อัน รังไข่เหนือวงกลีบ (superior ovary) มีขนเล็กๆ ปกคลุม ก้านเกสรตัวเมียยาว 4-5 มิลลิเมตร ยอดเกสรเป็นแฉก 5 แฉก ยาว 1-2 มิลลิเมตร ดอกตัวผู้มีจำนวนมากกว่าดอกตัวเมีย อัตราส่วน 7:1 อยู่บนต้นเดียวกัน เมื่อติดผลมีสีเขียวอ่อน เกลี้ยงเกลารูปช่อพวงมีหลายผล โดยประมาณ 8-15 ผล เวลาสุกแก่จัดมีสีเหลืองคล้ายลูกจันทน์ ตั้งแต่วันออกดอก

จนติดผลแก่ใช้เวลาประมาณ 60-90 วัน ผลหนึ่งมี 2-4 พู โดยแต่ละพูจะห่อหุ้มเมล็ดสีดำซึ่งเป็นส่วนที่ประกอบด้วยเปลือกสีดำและเนื้อในสีขาว ซึ่งเป็นส่วนที่นำมาหีบน้ำมัน เมล็ดสบู่ดำมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 35 ของน้ำหนักเมล็ด (สุรพงษ์, 2549) เมล็ดมีรูปทรงรี สีดำขนาดเล็กกว่าเมล็ดตะขู พันธ์หลายขาวดำเล็กน้อย สีตรงปลายเมล็ดมีจุดสีขาวเล็กๆ ติดอยู่ เมื่อเก็บไว้นานจุดนี้จะหดตัวเหี่ยวแห้งลง ขนาดของเมล็ดเฉลี่ยความยาว 1.7-1.9 เซนติเมตร หนา 0.8-0.9 เซนติเมตร น้ำหนัก 100 เมล็ดประมาณ 69.8 กรัม



ภาพที่ 2 ลักษณะใบ ช่อดอก และผลของสบู่ดำ

ที่มา: Anonymous (n.d.)

7.2 สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม

สบู่ดำเป็นพืชที่สามารถขึ้นได้ในดินทั่วไป โดยปกติพืชชนิดนี้เป็นพืชที่ทนต่อสภาพความแห้งแล้งได้ดี สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศไทย ต้องการน้ำประมาณ 50 ลิตรต่อต้นต่อวัน (รักษ, 2549) ระยะปลูกที่เหมาะสมควรใช้ระยะ 2x2 เมตรขึ้นไป แต่ยังคงมีข้อถกเถียงในเรื่องนี้ อยู่ และไม่ควรปลูกถี่เกินไป เพราะอาจส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิต สบู่ดำเป็นพืชที่ไม่ชอบน้ำท่วมขัง หรือการระบายน้ำที่ไม่ดี เพียงน้ำท่วมขัง 1 วัน สบู่ดำอาจมีอาการเฉา ขอบใบเริ่มเป็นสีเหลืองจนถึงน้ำตาล และตายได้ในที่สุด

8. ลักษณะบางประการของชุดดินปากช่อง (Pc: Pak Chong series)

กรมพัฒนาที่ดิน (2548) รายงานว่า ดินชุดปากช่องจัดอยู่ในอันดับออกซิซอลส์ (Oxisols) จำแนกในระดับวงศ์ตามระบบอนุกรมวิธานดินเป็น Rhodic Kandistox; very fine, kaolinitic, isohypermic เป็นดินที่เกิดจากการสลายตัวผุพังของหินปูนและหินดินดานที่อยู่กับที่ หรือเคลื่อน

ที่มาทับถมโดยแรงดึงดูดของโลกบนพื้นผิวที่เหลือน้ำจากการกัดกร่อน สภาพพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบถึงพื้นที่ลอนลาดเล็กน้อย มีความลาดชันประมาณ 1-3 เปอร์เซ็นต์ ดินชุดนี้เป็นดินที่ลึก มีการระบายน้ำดี มีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านปานกลางถึงช้า มีการไหลบ่าของน้ำบนผิวดินปานกลาง ดินบนลึกไม่เกิน 30 เซนติเมตร มีลักษณะเนื้อดินเป็นดินเหนียวหรือดินร่วนเหนียว สีพื้นเป็นสีน้ำตาลแดงเข้มหรือสีแดง ปฏิกริยาเป็นกรดปานกลางถึงเป็นด่าง (pH 6.0-8.0) ส่วนดินชั้นล่างเนื้อดินเป็นดินเหนียว สีพื้นเป็นสีแดงหรือสีแดงเข้ม ปฏิกริยาเป็นกรดแก่มาจนถึงเป็นกรดแก่ (pH 4.5-5.5)

ผลจากการวิเคราะห์ดินที่เป็นตัวแทนของดินในกลุ่มนี้ โดยพิจารณาเฉพาะผิวดินระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร พบว่า มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง 5.8 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน $15.0 \text{ cmol kg}^{-1}$ ค่าการอิ่มตัวด้วยเบส 48.71 เปอร์เซ็นต์ ค่าอินทรีย์วัตถุ 2.2 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ 6.0 mg kg^{-1} และปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ 79.45 mg kg^{-1} มีความอุดมสมบูรณ์ปานกลาง เป็นดินที่เหมาะสมในการปลูกพืชไร่ เช่น ข้าวโพด ฝ้าย ถั่ว ข้าวฟ่าง และผลไม้ ดินนี้อาจมีปัญหาในเรื่องการขาดแคลนน้ำ ถ้าฝนทิ้งช่วงนานเกินไปดินมักจะแห้งและมีความชื้นไม่เพียงพอต่อความต้องการของพืช

9. ลักษณะบางประการของชุดดินมาบบอน (Mab Bon series: Mb)

ดินชุดมาบบอนจัดอยู่ใน fine-loamy, mixed, isohyperthermic Oxic Paleustults เกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิต และหินควอร์ตไซต์ ในบริเวณพื้นที่เหลือน้ำจากการกัดกร่อน หรือบริเวณเนินตะกอนรูปพัด สภาพพื้นที่ที่พบมีลักษณะเป็นลูกคลื่นลาดลอน มีความลาดชัน 2-8 เปอร์เซ็นต์ ชุดดินนี้เป็นดินลึก มีการระบายน้ำดี ดินมีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้เร็ว การไหลบ่าของน้ำบนผิวดินอยู่ในอัตราปานกลางจนถึงเร็ว ดินอุ้มน้ำได้ค่อนข้างต่ำ

ดินบนหนา 10-20 เซนติเมตร มีเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย หรือดินทรายปนดินร่วน สีน้ำตาล สีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดเล็กน้อยถึงกรดจัด (pH 5.5-6.5) ส่วนดินชั้นล่างมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหยาบ หรือกรวด หรือดินเหนียวปนทรายหยาบ หรือปนกรวด สีน้ำตาลแก่ สีเหลืองปนแดงหรือสีน้ำตาลปนเหลือง ปฏิกริยาดินเป็นกรดจัดมากถึงกรดปานกลาง คือ ค่า pH เท่ากับ 5.0-6.0 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินและพืช ในภาคสนาม
 - 1.1 อุปกรณ์เก็บดิน (auger หรือ soil core)
 - 1.2 อุปกรณ์สำหรับขุด ได้แก่ จอบ พลั่วสนาม
 - 1.3 ฆ้อน
 - 1.4 ถังพลาสติก สำหรับผสมตัวอย่างดิน
 - 1.5 ถุงพลาสติกใส่ตัวอย่างดิน
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
 - 2.1 ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร
 - 2.2 Soil thermometer probe
 - 2.3 อุปกรณ์เก็บดิน (auger)
 - 2.4 ถุงพลาสติก
3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช
 - 3.1 Atomic absorption spectrophotometer รุ่น GBC 908AA
 - 3.2 Micro Kjeldahl distillation apparatus รุ่น Gerhardt Vapodest 20 บริษัทไฮแอนติฟิคโพรโมชัน จำกัด
 - 3.3 Digestion apparatus รุ่น Gerhardt Vapodest 20
 - 3.4 Spectrophotometer รุ่น spectronic®21 บริษัทเบคไทย (BECTHAI)
 - 3.5 pH meter รุ่น GEM 310
 - 3.6 Hot air oven รุ่น BINDER
 - 3.7 เครื่องชั่ง 2 และ 4 ตำแหน่ง
 - 3.8 โกร่งบดตัวอย่างดิน
 - 3.9 ตะแกรงร่อนดิน (sieve) ขนาด 2 และ 3 มิลลิเมตร
 - 3.10 เครื่องบดตัวอย่างพืช
 - 3.11 อุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็นในการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช

วิธีการ

1. การวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นบางประการของดิน

เก็บตัวอย่างดินในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงกับแปลงทดลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นของดินก่อนทำการศึกษา โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินในบริเวณพื้นที่ศูนย์วิจัยที่ไรสุวรรณา จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน จ.ฉะเชิงเทรา จำนวน 10-15 ตัวอย่าง ด้วยอุปกรณ์เก็บดิน (soil core) ที่ความลึกของดิน 2 ระดับ คือ 0-10 และ 10-30 เซนติเมตร นำตัวอย่างดินที่เก็บในแต่ละความลึกมาผสมคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน เรียกว่าตัวอย่างแบบ composite จากนั้นผึ่งตัวอย่างดินในที่ร่ม และเลือกวัสดุที่ไม่ใช่ดินออก เมื่อดินแห้งแล้ว บดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 และ 2 มิลลิเมตร วิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆ ของดิน ได้แก่

1.1 ปฏิกริยาของดิน (pH) วิเคราะห์โดยใช้น้ำสกัด อัตราส่วนระหว่างดินต่อน้ำ เท่ากับ 1:1 และวัดค่าโดยใช้เครื่อง pH meter (Thomas, 1996)

1.2 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (soil organic carbon; SOC) ในดิน โดยวิธี Walkley and Black Titration (Walkley and Black, 1934)

1.3 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN) วิเคราะห์โดยวิธี Kjeldahl method (Bremner, 1996)

1.4 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) สกัดดินโดยวิธี Bray II ($0.1\ N\ HCl + 0.03\ N\ NH_4F$) และวิเคราะห์ปริมาณโดยวิธี molybdenum blue (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

1.5 ปริมาณโพแทสเซียมที่แลกเปลี่ยนได้ (exchangeable potassium) ทำการสกัดตัวอย่างดินด้วยสารละลาย $1\ N\ NH_4OAc$ ค่า pH 7.0 และวิเคราะห์หาปริมาณโดยใช้เครื่อง atomic absorption spectrophotometer (ทัศนีย์ และ จงรักษ์, 2542)

1.6 เนื้อดิน (soil texture) การวิเคราะห์หาปริมาณเนื้อดินใช้วิธีไฮโดรมิเตอร์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548ก; Gee and Bauder, 1986)

1.7 ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) เก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกลูกเต๋าดิน (soil core) ตามวิธีการ core method ของ Blake and Hartge (1986) ในแต่ละพื้นที่ศึกษา จำนวน 3 ซ้ำ โดยเก็บตัวอย่างดินตามระดับความลึกต่างๆ ในช่วง 0-30 เซนติเมตร ได้แก่ 0-5 5-10 10-15 15-20 20-25 และ 25-30 เซนติเมตร จากผิวดิน คำนวณหาความหนาแน่นรวมของดินในช่วง 0-10 และ 10-30 เซนติเมตร จากค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับความลึกดินในช่วงดังกล่าว เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณปริมาณคาร์บอนในดิน ต่อไป

2. การปฏิบัติงานในภาคสนาม

2.1 แผนการทดลอง

ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองในพื้นที่ซึ่งมีการดำเนินการปลูกสับดูไว้แล้ว โดยฝ่ายวิจัยด้านเกษตรของสับดูในโครงการเคยู-ไบโอดีเซล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยปลูกสับดู 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์กำแพงแสน (KP) และพันธุ์ไรสุวรรณ เบอร์ 80 (SW 80) ระยะปลูก 2x2 เมตร ในพื้นที่ศึกษา 2 แห่ง ได้แก่ ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่าง หรือ พื้นที่ไรสุวรรณวาทกสิกิจ (SW)

จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาคินซอน จ.ยะลา (KH) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ช่วงเริ่มต้นปลูกสับดู คือตั้งแต่เดือนตุลาคมและกรกฎาคม พ.ศ. 2549 ตามลำดับ (ภาพที่ 3 และ 4) วางแผนการทดลองแบบ Randomized Block Design (RBD) จำนวน 4 ซ้ำ ขนาดแปลงย่อย กว้าง 8 เมตร ยาว 8 เมตร คิดเป็นพื้นที่ 64 ตารางเมตร รวมทั้งหมดใช้พื้นที่ 512 ตารางเมตรต่อพื้นที่ศึกษา โดยแต่ละแปลงย่อยปลูกสับดูจำนวน 20 ต้น (4x5 แถว) จำนวนรวมของต้นสับดู 160 ต้นต่อพื้นที่ศึกษา

2.2 การดูแลรักษา

ในพื้นที่ไรสุวรรณฯ เนื่องจากทำการปลูกสับดู ในช่วงฤดูแล้ง จึงต้องมีการให้น้ำแบบสปริงเกอร์สัปดาห์ละครั้งในช่วงเดือนแรกเท่านั้น หลังจากนั้นไม่มีการให้น้ำ การใส่ปุ๋ยใช้ปุ๋ยยูเรีย (46-0-0) อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ โดยแบ่งใส่ 2 ครั้ง คือระยะที่สับดูอายุ 1 เดือน และก่อนระยะสับดูออกดอก สำหรับพื้นที่สถานีวิจัยเขาคินซอน ไม่มีการให้น้ำชลประทาน การใส่ปุ๋ย ใช้ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 โดยใส่ในช่วงเวลาและอัตราการเดียวกันกับที่ใช้ในพื้นที่ไรสุวรรณฯ การกำจัดวัชพืชในพื้นที่ทดลองการทดลองโดยใช้วิธีการถางหญ้าด้วยแรงงานคน หรือ บางครั้งใช้สารกำจัด



ภาพที่ 3 ลักษณะของพื้นที่ศึกษาทดลอง ณ ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่าง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครราชสีมา



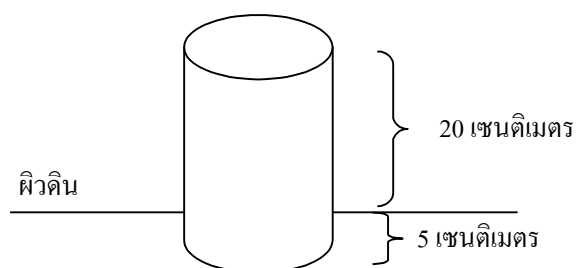
ภาพที่ 4 ลักษณะของพื้นที่ศึกษาทดลอง ณ สถานีวิจัยเขาคันทรง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.ฉะเชิงเทรา

วัชพืช (herbicide) เช่น สารไฮไซด์ (hicide) และกัมมอกโซน ฉีดพ่นทั่วทั้งแปลงในระหว่างแถวสับดำ ทั้งนี้ขึ้นกับความเหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้หากมีศัตรูพืช เช่น โรค และแมลงรบกวน โดยเฉพาะเพลี้ยแป้ง ที่เป็นศัตรูสำคัญของสับดำ ควรฉีดพ่นสารเคมีกำจัดศัตรูพืชเป็นระยะตามความจำเป็น

2.3 การเก็บข้อมูล

2.3.1 ปริมาณน้ำฝน เก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดอากาศในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับงานศึกษานี้ โดยเก็บข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศปากช่อง จ.นครราชสีมา และสถานีตรวจวัดอากาศของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนฯ จ.ฉะเชิงเทรา ในช่วงตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับพิจารณาในส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากผิวดิน

2.3.2 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกจากผิวดิน (soil CO₂ efflux) หรือการหายใจ (soil respiration) ของดิน โดยวิธี Alkaline absorption ด้วยระบบ closed chamber (Kirita, 1971) ติดตั้งท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความสูง 25 เซนติเมตร โดยฝังลงในดินที่ระดับความลึก 5 เซนติเมตร โดยให้เหลือความสูงของท่อพีวีซีอยู่เหนือจากผิวดินขึ้นมาประมาณ 20 เซนติเมตร (ภาพที่ 5) จำนวน 2 จุด ในแต่ละพื้นที่และจำนวนซ้ำของการทดลอง รวมทั้งหมด 16 จุด สำหรับแต่ละพื้นที่ศึกษา วิธีการวัดทำโดยวางขวด (vial) บรรจุสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.5 โมลาร์ จำนวน 10 มิลลิลิตร ในท่อพีวีซี ปิดปลายท่อด้านบนด้วยถุงพลาสติกเพื่อกันอากาศจากภายนอก แล้วปิดทับรอยต่อด้วยกระดาษกาวอีกครั้ง ทิ้งไว้นาน 3 ชั่วโมง เติมน้ำสารละลาย BaCl₂ เข้มข้น 3 โมลาร์ จำนวน 10 มิลลิลิตร ในขวดสารละลาย NaOH ปิดฝา เก็บขวดสารละลายตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่จับไว้โดยการไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.5 โมลาร์ คำนวณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากผิวดินแล้วรายงานในหน่วย ไมโครโมล CO₂-C ต่อตารางเมตรต่อวินาที ขณะทดลองวัดอุณหภูมิผิวดินโดยใช้ soil temperature probe ที่ระดับความลึก 0-5 เซนติเมตร จากผิวดิน และเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร ในพื้นที่ เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าความชื้น หรือ ปริมาณน้ำในดิน โดยวิธี gravimetric การเก็บข้อมูลทำทุกๆ 2 เดือน (ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2550-มีนาคม 2551)



ภาพที่ 5 ลักษณะการติดตั้งท่อพีวีซี (PVC) ลงในดิน สำหรับการวัดการหายใจของดิน โดยวิธี
Alkaline Trapping (0.5 N NaOH)

การคำนวณค่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากผิวดิน เขียนเป็นสมการได้
ดังนี้ (Zibilske, 1994)

$$\text{mg CO}_2 = (B-V) (NE) \quad (4)$$

เมื่อ B คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรด HCl ที่ใช้ในการไทเทรตของ blank

V คือ ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของกรด HCl ที่ใช้ในการไทเทรตสารละลายตัวอย่าง

N คือ จำนวนนอมอลิตีของกรด HCl, หน่วยเป็น mL^{-1}

E คือ ค่า equivalent weight ของคาร์บอนในรูป $\text{CO}_2\text{-C}$; E เท่ากับ 6 หรือในรูป CO_2 ค่า E
เท่ากับ 22

เนื่องจากหน่วยของการวัดปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกจากผิวดินมักใช้เป็นค่าปริมาณ
การปลดปล่อยคาร์บอนต่อพื้นที่ต่อเวลา ดังนั้นค่าที่คำนวณได้จากสมการข้างต้นจึงต้องคิดเทียบใน
หน่วยพื้นที่และเวลา ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้เป็นหน่วย ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ($\mu\text{mol m}^{-2}$
 s^{-1})

2.3.3 ปริมาณคาร์บอนในดินในรูปของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (SOC) พาร์ทิคิวเลต
คาร์บอน (particulate organic carbon; POM-C) และรูปที่อยู่ร่วมกับอนินทรีย์สารในดิน (mineral-
associated organic carbon; MaOM-C) การเตรียมตัวอย่าง POM-C ทำโดยเติมสารละลายโซเดียม
เฮกซะเมตาฟอสเฟต ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{40}$) เข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร จำนวน 30 มิลลิลิตร ใน Erlenmeyer flask
ขนาด 125 มิลลิลิตร ที่ใส่ดินตัวอย่าง 10 กรัม เขย่าเป็นเวลานาน 18 ชั่วโมง ร่อนด้วยตะแกรงที่มีรู
พรุนขนาด 53 ไมครอน ส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรง คือ POM-C และส่วนที่ร่อนผ่านตะแกรง คือ

MaOM-C ที่อยู่ร่วมกับอนุภาคดินขนาดทรายแป้ง (silt) และแร่ดินเหนียว (clay) (Cambardella and Elliott, 1992) นำเข้าอบใน hot-air oven ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จนแห้ง ชั่งน้ำหนักแห้งของ POM-C และ MaOM-C แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในแต่ละส่วนด้วยวิธี Tube digestion (Nelson and Sommers, 1996) โดยทำการเก็บตัวอย่างดิน 2 ครั้ง ครั้งที่ 1 ในเดือนกุมภาพันธ์ 2550 และเดือนสิงหาคม/กันยายน 2550 คำนวณปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (\%)} = \frac{(A) (M_{\text{Fe}^{2+}}) (0.003) (100)}{\text{น้ำหนักดิน (กรัม)}} \quad (5)$$

เมื่อ ค่า A คือ ค่าสัดส่วนปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน หรือ correction factor ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$A = \frac{(mL_{bb} - mL_{soil})[(mL_{ub} - mL_{bb}) + (mL_{bb} - mL_{soil})]}{mL_{ub}} \quad (6)$$

ขณะที่ bb คือ blank ที่มีการให้ความร้อน (boiled) และ ub คือ blank ที่ไม่มีการให้ความร้อน (unboiled)

$M_{\text{Fe}^{2+}}$ คือ ปริมาณโมลารลิตีของสารเฟอร์รัสซัลเฟต, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ หรือ FAS คำนวณหาได้จากสมการ

$$M_{\text{FAS}} = \frac{5 * (1 N \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{\text{ปริมาตรของ FAS}} \quad (7)$$

2.3.4 การประเมินหาปริมาณคาร์บอนที่กักเก็บอยู่ในดินและพืช

ปริมาณคาร์บอนในดินคำนวณจากปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนในดินตามระดับความลึกต่างๆ (ได้แก่ 0-10 และ 10-30 ซม.) คูณความหนาแน่นรวมของดินและความหนาของดินในช่วงความลึกต่างๆ แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละชั้นความลึกดินรวมกันเป็นปริมาณคาร์บอนที่

ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร จากผิวดิน คำนวณปริมาณคาร์บอนในหน่วย ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ สูตรคำนวณแสดงดังสมการที่ (8)

$$\text{ปริมาณคาร์บอนในดิน} = \text{ความเข้มข้นของคาร์บอน} \times \text{ความหนาแน่นของดิน} \times \text{ความลึกดิน} \quad (8)$$

(g C/ m^2)
 (g/ m^3)
 (g C/ g soil)
 (m)

2.3.5 เก็บข้อมูลการเจริญเติบโตของสนุ่นดำที่ปลูกในแปลงทดลองทั้งสองแห่ง ได้แก่ ความสูง (H) ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) และผลของสนุ่นดำ (nut) รวมทั้งเศษซากพืช (plant litter) ที่ร่วงลงสู่ดิน จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ ลำต้น ใบ (ในส่วนเศษซากพืช) และผลผลิต โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เมล็ด และเปลือกผล เพื่อเปรียบเทียบการกระจายของปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของพืช ตามวิธีของ Nelson and Sommers (1996) ข้อมูลที่ได้นำมาใช้สร้างสมการความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตริก (allometry) เพื่อประมาณค่าปริมาณคาร์บอนในส่วนของชีวมวลที่อยู่เหนือดิน (above-ground biomass) และส่วนที่อยู่ใต้ดิน (below-ground biomass) ของต้นสนุ่นดำ และคำนวณหาปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบที่ศึกษา ต่อไป

2.3.6 การประมาณหามวลชีวภาพของสนุ่นดำจากสมการทางแอลโลเมตริก ทำโดยคัดเลือกต้นสนุ่นดำพันธุ์อเมริกา อายุ 1 ปี ที่มีขนาดลำต้นต่างๆ กัน จากต้นสนุ่นดำที่ตัดทิ้งจากแปลงทดลองใกล้เคียงในพื้นที่ไร่สุวรรณฯ โดยเรียงลำดับจากต้นขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ เพื่อให้มีการกระจายของขนาดลำต้นครอบคลุมสำหรับต้นสนุ่นดำที่ปลูกในแปลงทดลอง จำนวน 8 ต้น เพื่อสร้างเป็นสมการแอลโลเมตริกในส่วนมวลชีวภาพเหนือพื้นดินแทน เนื่องจากไม่สามารถตัดต้นสนุ่นดำในแปลงทดลองนี้ได้ จึงบันทึกขนาดต่างๆ ของต้นไม้ ได้แก่ ความสูงทั้งหมดของต้น และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น จากนั้นชั่งน้ำหนักสดทั้งต้น ตัด และสับย่อยให้มีขนาดเล็กลง สุ่มตัวอย่างบางส่วน และนำเข้าอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 48-72 ชั่วโมง) ชั่งน้ำหนักแห้งและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น แล้วคำนวณน้ำหนักแห้ง หรือมวลชีวภาพ ทั้งหมดของต้นสนุ่นดำ จากสูตรในสมการ 9 และ 10 ข้อมูลที่ได้นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างมิติที่วัดได้จากต้นไม้กับมวลชีวภาพของต้นสนุ่นดำในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ในรูปสมการ $Y = aX^h$ หรือ $\log Y = \log a + h \log X$ (ดังภาพที่ 11 และสมการ 11)

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักสด (กรัม)} - \text{น้ำหนักแห้ง (กรัม)}}{\text{น้ำหนักแห้ง (กรัม)}} \times 100 \quad (9)$$

$$\text{มวลชีวภาพ} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักสด (กรัม)}}{\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} + 100} \quad (10)$$

3. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ทดสอบความแตกต่างของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินและปริมาณการสะสมของคาร์บอนรูปต่างๆ ในดิน โดยวิธีวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน Analysis of Variance (ANOVA) แล้วเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test (DMRT) เพื่อประเมินความแตกต่างของสายพันธุ์สับดูดำ และใช้การทดสอบแบบ pair-t test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของชนิดเนื้อดินในพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่ง ที่มีผลต่อความสามารถในการเก็บสะสมคาร์บอนในดินของพื้นที่ปลูกสับดูดำ

4. สถานที่ทำการทดลอง

แปลงทดลองปลูกสับดูดำที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่าง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดนครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาคันทรง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จังหวัดฉะเชิงเทรา

วิเคราะห์ตัวอย่างดินและพืช ที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร

5. ระยะเวลาในการทดลอง

ระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2551

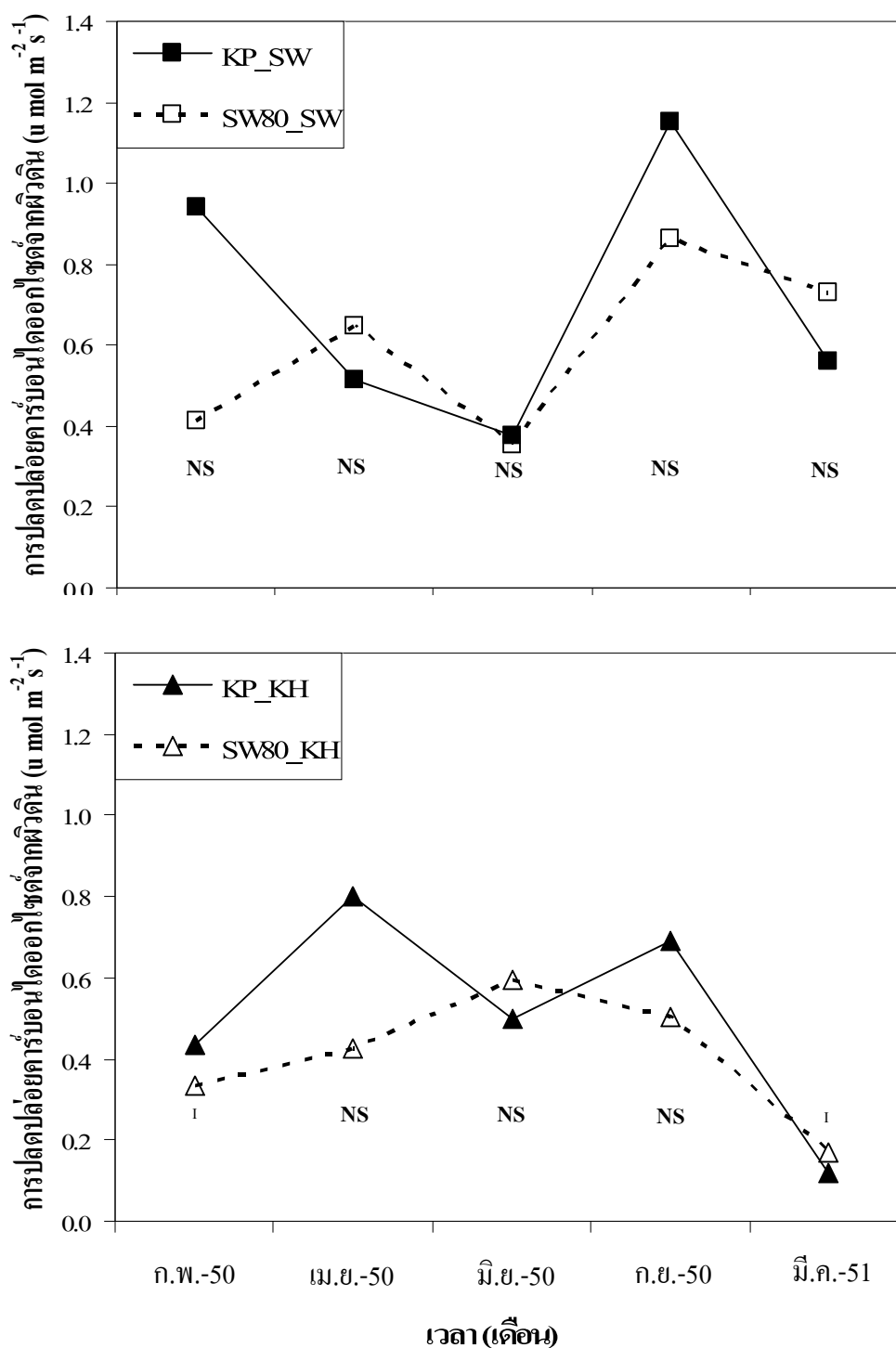
ผลและวิจารณ์ผล

1. คุณลักษณะเบื้องต้นบางประการของดิน

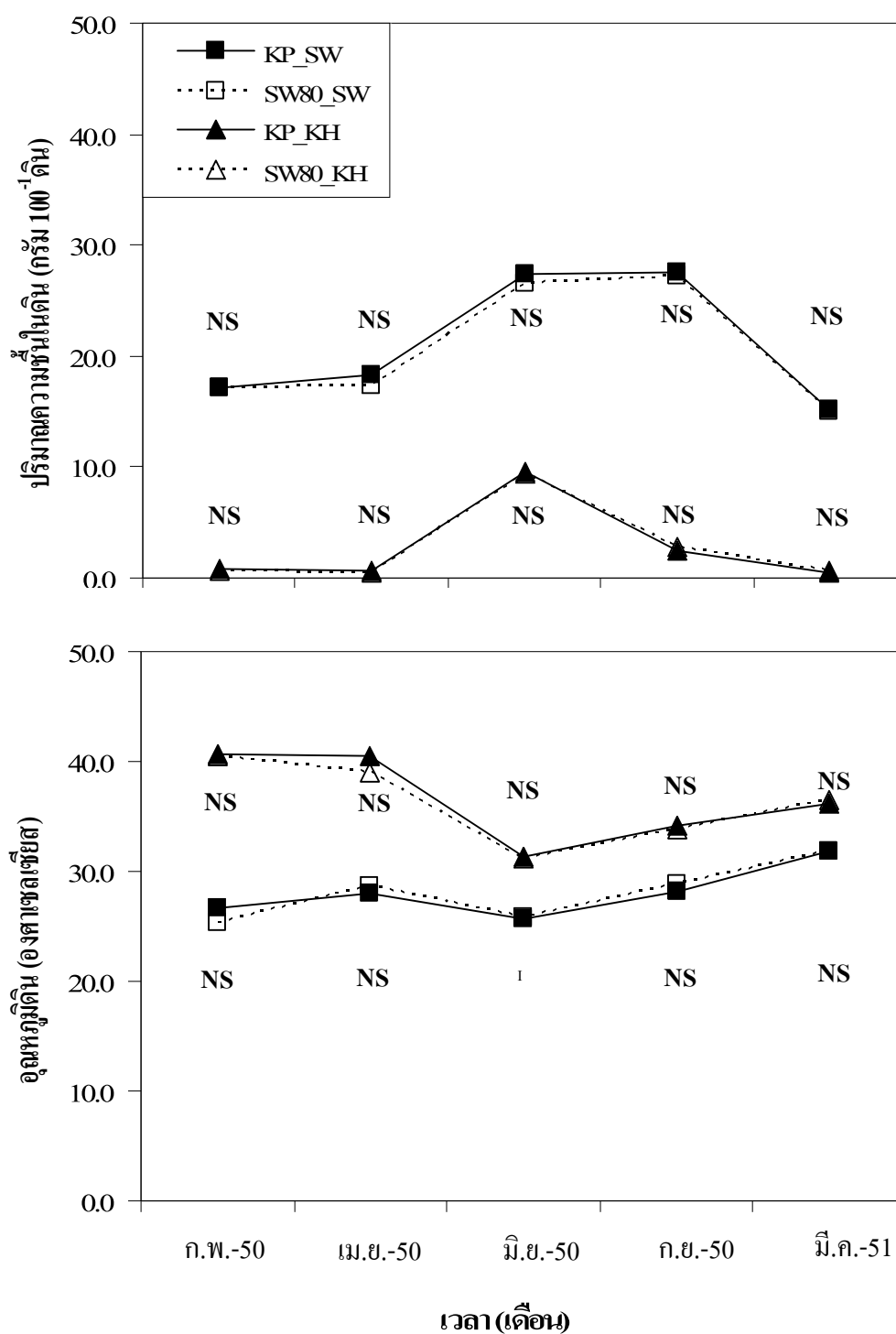
ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะดินในพื้นที่ศึกษาแสดงดังตารางที่ 1 พบว่า คุณสมบัติเบื้องต้นของดินก่อนทำการศึกษามีบริเวณแปลงปลูกดำในพื้นที่ไร่วรรณจากกสิกิจเป็นดินเหนียว โดยมีค่าปฏิกิริยาของดินเป็นกรดรุนแรงมากถึงกรดปานกลาง (pH อยู่ระหว่าง 5-6) และความเป็นกรดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกของดิน ระดับความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่นี้อยู่ในระดับปานกลาง ดังเห็นได้จากปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดที่มีอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 1.8-2.4 และ 0.11-0.13 ตามลำดับ ดินของพื้นที่เขาหินซ้อนเป็นดินร่วนปนทรายและเป็นดินกรด (pH 5) เนื่องจากเนื้อดินเป็นดินทราย ซึ่งมีคุณสมบัติการระบายน้ำได้ดี และเกิดจากการสลายตัวของวัตถุต้นกำเนิดดินที่เป็นหินแกรนิตและควอร์ตไซต์ สภาพพื้นที่มีความลาดชันต่ำ อยู่ระหว่างร้อยละ 2-3 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548) ทำให้ดินของพื้นที่นี้มีปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารต่างๆ ในปริมาณต่ำและต่ำกว่มาก เมื่อเปรียบเทียบกับดินของพื้นที่ไร่วรรณจากกสิกิจที่มีเนื้อดินเป็นดินเหนียว (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นบางประการของดินในพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา	ความลึก (cm)	pH	เนื้อดิน (Hydrometer)	อินทรีย์วัตถุ (g kg ⁻¹)	ไนโตรเจน (g kg ⁻¹)	ฟอสฟอรัส (mg kg ⁻¹)	โพแทสเซียม (mg kg ⁻¹)
ไร่วรรณฯ	0-10	5.6	ดินเหนียว	24	1.3	69	180
(SW)	10-30	4.8	ดินเหนียว	18	1.1	36	130
เขาหินซ้อน	0-10	5.3	ดินร่วนปนทราย	6	0.4	5	60
(KH)	10-30	5.2	ดินร่วนปนทราย	6	0.4	5	60



ภาพที่ 6 ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ไมโครโมล CO₂-C ตารางเมตรต่อวินาที) จากผิวดิน (ก) ในพื้นที่ SW และ (ข) พื้นที่ KH ที่ปลูกสับปะรดสายพันธุ์ KP และ SW 80 (กุมภาพันธ์ 2550–มีนาคม 2551). Bar (I) แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ NS คือ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 7 (ก) ปริมาณความชื้นในดิน และ (ข) อุณหภูมิในดิน ในพื้นที่ SW และ KH ขณะที่ทดลองวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ในพื้นที่ปลูกสบู่ดำสายพันธุ์ KP และ SW 80 ในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ เมษายน 2550 และมีนาคม 2551) และฤดูฝน (มิถุนายน และสิงหาคม/กันยายน 2550)

2. อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน (CO_2 efflux from soil surface)

ผลการทดสอบความแตกต่างทางสถิติของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในพื้นที่ศึกษา 2 แห่ง ได้แก่ พื้นที่ SW และ พื้นที่ KH ในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2551 แสดงดังภาพที่ 6ก และ ข โดยผลที่ได้จากการเปรียบเทียบสายพันธุ์ พบว่า ดินที่ปลูกสบู่ดำสายพันธุ์ KP มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสูงกว่าดินที่ปลูกสบู่ดำสายพันธุ์ SW 80 แต่ค่าที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ในดินทั้งสองพื้นที่ ยกเว้นในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 และเดือนมีนาคม พ.ศ. 2551 ของพื้นที่ KH โดยมีค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งสองแห่งอยู่ในช่วง 0.12-1.15 และ 0.17-0.86 ไมโครโมล $\text{CO}_2\text{-C}$ ต่อตารางเมตรต่อวินาที สำหรับพื้นที่ SW และพื้นที่ KH ตามลำดับ

ผลการเปรียบเทียบอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่ง พบว่า การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของดินเหนียว (SW) มีแนวโน้มสูงกว่าดินร่วนปนทราย (KH) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.66 และ 0.47 ไมโครโมล $\text{CO}_2\text{-C}$ ต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ ผลที่ได้สอดคล้องกับค่าความชื้นในดินเหนียวที่มีมากกว่าดินร่วนปนทราย โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 15.2-27.6 และ 0.6-9.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (ภาพที่ 7ก) และอุณหภูมิของดินเหนียวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและรากพืชมากกว่า คือประมาณ 25.4-31.8 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าดินร่วนปนทราย (อยู่ในช่วง 31.2-40.7 องศาเซลเซียส) (ภาพที่ 7ข) ผลที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลโดยทั่วไปที่รายงานว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การสลายตัวของสารอินทรีย์จะเกิดได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) เช่นเดียวกันกับที่พบในงานศึกษาของ วนบุญปี (2543) ซึ่งรายงานว่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้ป่าชายเลนมีค่าสูงขึ้น โดยเฉพาะในฤดูฝน ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าประมาณ 30-33 องศาเซลเซียส สำหรับไม้ป่าชายเลนที่ปลูกในพื้นที่อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของต้นไม้ทั่วไป มีค่าประมาณ 35 องศาเซลเซียส หรือ ต่ำกว่าเล็กน้อย โดยมีค่าไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส (Moore *et al.*, 1972; 1973) อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินที่วัดได้มีความผันแปรค่อนข้างสูงในแต่ละพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่ SW ผลที่ได้สอดคล้องกับงานศึกษาของอำนาจ และ ณัฐพล (2548) ที่พบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากพื้นที่ป่าธรรมชาติ ป่าปลูก และพื้นที่การเกษตร มีค่าความแปรปรวนสูงทั้งในแง่ของ

เวลาและจุดที่ทำการวัด (สาพิศ และคณะ, 2548) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากธรรมชาติของดินที่มีความเป็น non-homogeneity (สำเร้ง, 2550; อำนาจ และ ณัฐพล, 2548) นั่นคือ ดินในแต่ละบริเวณบนพื้นโลก นั้นมีความแตกต่างกัน ทั้งจากองค์ประกอบของดิน หรือ ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ได้แก่ ปริมาณ น้ำฝน และอุณหภูมิอากาศ ของแต่ละพื้นที่ ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติของดิน รวมถึงกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินด้วย (ดังเช่นที่วัดในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในงานศึกษานี้)

ในงานศึกษานี้ การที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินของดินเหนียวมีค่าสูงกว่าที่ปลดปล่อยจากดินร่วนปนทราย ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับงานศึกษาของ Dilustro *et al.* (2005) ที่พบว่าดินเหนียวมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสูงกว่าดินทราย เท่ากับ 3.96 และ 2.71 ไมโครโมลต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ เนื่องมาจากปัจจัยทางด้านภูมิอากาศ (เช่น ความชื้นของดินและอุณหภูมิดินในงานศึกษานี้) ที่มีความเหมาะสมกับกิจกรรมของจุลินทรีย์มากกว่าของดินเหนียว รวมทั้งอาจเป็นเพราะปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเหนียวที่มีค่าสูงกว่าดินร่วนปนทราย ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินเริ่มต้น เท่ากับ ร้อยละ 0.6 และ 1.1-2.4 โดยน้ำหนักตามลำดับ (ตารางที่ 1) โดยอินทรีย์วัตถุในดินเป็นแหล่งอาหารและพลังงานที่สำคัญให้กับจุลินทรีย์ดิน รวมถึงส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินด้วย (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2548) ซึ่งคำกล่าวนี้ได้รับการสนับสนุนจากงานศึกษาของ สิริรัตน์ และคณะ (2547) และ Bazzaz and Williams (1991) ที่พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในพื้นที่ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงมีค่ามากกว่าพื้นที่ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำกว่า และอธิบายว่าผลที่ได้เป็นเพราะอินทรีย์วัตถุในดินมีความสำคัญต่อจุลินทรีย์ดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่สูงกว่าในดินเหนียวจึงมีผลส่งเสริมการเจริญเติบโตและกิจกรรมของจุลินทรีย์ให้เกิดขึ้นได้ดีกว่าในดินร่วนปนทราย

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลอย่างชัดเจนในพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่ง กล่าวคือ ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูฝน (สิงหาคมและกันยายน พ.ศ. 2550) โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.63 ไมโครโมล $\text{CO}_2\text{-C}$ ต่อตารางเมตรต่อวินาที ในขณะที่ช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์ เมษายน พ.ศ. 2550 และ มีนาคม พ.ศ. 2551) ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่าในฤดูฝน โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.51 ไมโครโมล $\text{CO}_2\text{-C}$ ต่อตารางเมตรต่อวินาที (ข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาแสดงดังภาพในภาคผนวกที่ 1) ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับงานศึกษาของวนบุษย์ (2543) ที่พบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 0.85 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง หรือ 5.35 ไมโครโมล $\text{CO}_2\text{-C}$ ต่อตารางเมตรต่อวินาที

ซึ่งมีค่าสูงกว่าในฤดูแล้งที่มีค่าเท่ากับ 0.23 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง หรือ 1.43 ไมโครโมล $\text{CO}_2\text{-C}$ ต่อตารางเมตรต่อวินาที เช่นเดียวกันกับในงานศึกษาของสำเร็จ (2550) ที่พบว่า การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูฝนคือเดือนสิงหาคมและกันยายน โดยมีค่าเท่ากับ 2.20 และ 2.17 มิลลิกรัม CO_2 ต่อตารางเมตรต่อวินาที หรือ 49.98 และ 49.30 ไมโครโมล $\text{CO}_2\text{-C}$ ต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ และมีค่าลดลงในช่วงฤดูแล้ง โดยพบว่าอัตราการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในเดือนมิถุนายน มีค่า 0.71 มิลลิกรัม CO_2 ต่อตารางเมตรต่อวินาที หรือ 16.16 ไมโครโมล $\text{CO}_2\text{-C}$ ต่อตารางเมตรต่อวินาที และมีค่าต่ำที่สุดในเดือนพฤศจิกายน เมษายน กุมภาพันธ์ พฤษภาคม มกราคม มีนาคม และธันวาคม โดยมีค่าเท่ากับ 0.17 0.17 0.15 0.14 0.13 0.12 และ 0.09 มิลลิกรัม CO_2 ต่อตารางเมตรต่อวินาที หรือ 3.96 3.91 3.34 3.07 2.89 2.73 และ 2.11 ไมโครโมล $\text{CO}_2\text{-C}$ ต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

งานศึกษานี้ พบว่า ผลของฤดูกาลที่มีต่อการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินมีค่าสอดคล้องกับความชื้นในดินและอุณหภูมิผิวดิน (ภาพที่ 7) และสนับสนุนโดยงานศึกษาของนักวิจัยหลายท่านที่รายงานว่าความชื้นในดินเป็นปัจจัยหลักที่สำคัญในการควบคุมอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน (อำนาจ และ ฌัฐพล, 2548; Matsumoto *et al.*, 2002; Scala *et al.*, 2006) ซึ่งสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ เช่น ปริมาณน้ำฝน และอุณหภูมิผิวดิน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหตุผลหลายประการ คือโดยทั่วไปเมื่อมีปริมาณน้ำฝนสูงขึ้น ทำให้ความชื้นในดินมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณช่องว่างในดินลดลง อากาศหรือก๊าซต่างๆ จะมีค่าความเข้มข้นและความดันเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดการแพร่ของอากาศหรือก๊าซไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นและความดันอากาศต่ำกว่า จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ในฤดูฝนมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสู่บรรยากาศมากขึ้น ในทางกลับกันในช่วงฤดูแล้งความชื้นในดินมีค่าลดลง เนื่องจากการระเหย หรือสิ่งมีชีวิตในดิน ได้แก่ พืชและสัตว์นำไปใช้ในการเจริญเติบโต ทำให้ช่องว่างในดินมีปริมาณเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นและความดันก๊าซในดินมีค่าลดลง ทำให้อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสู่บรรยากาศลดลง (พิมลรัตน์, 2544) ประการที่สองเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และรากพืช โดยพบว่าเมื่อความชื้นในดินมีค่าเพิ่มขึ้น จำนวนจุลินทรีย์ในดินและกิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์ในดินเกิดได้ดีขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่าการปลดปล่อยคาร์บอนในพื้นที่ SW โดยรวมมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดในเดือนมิถุนายน ในสัปดาห์ทั้งสองพันธุ์ซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกัน คือ 0.38 และ 0.36 ไมโครโมล $\text{CO}_2\text{-C}$ ต่อตารางเมตรต่อวินาที สำหรับสัปดาห์พันธุ์ KP และพันธุ์ SW 80 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณฝนที่ตกมากในช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นฤดูฝน รวมทั้งดินเหนียวสามารถเก็บสะสมน้ำไว้ในดินได้ดี และมีสมบัติการระบายน้ำออกจากดินต่ำ ทำให้ความชื้นในดินมี

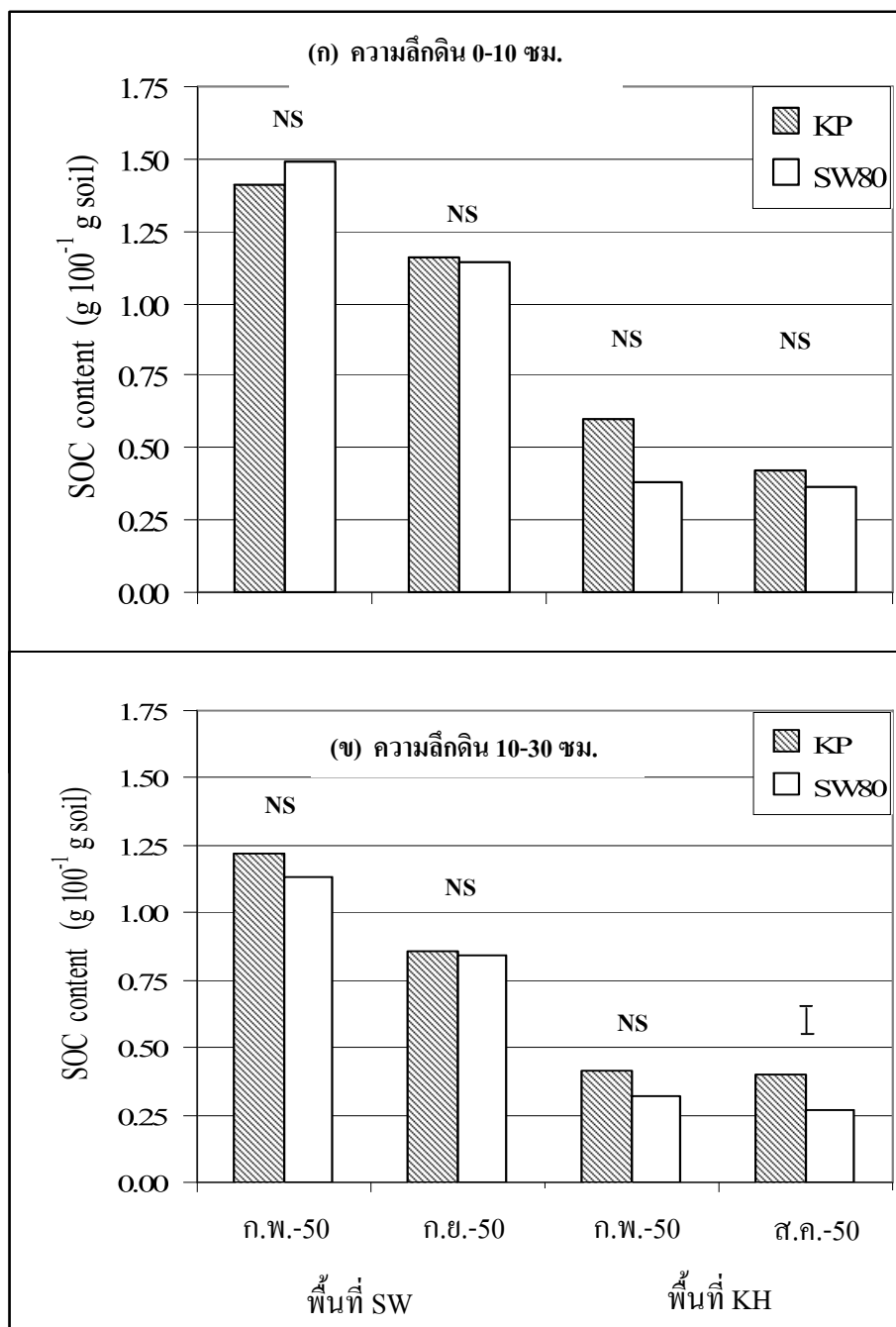
ค่าสูงขึ้นมากจนถึงจุดหนึ่งที่ดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วงความชื้นเท่ากับร้อยละ 38-90 โดยน้ำหนัก สำหรับดินเนื้อละเอียด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2548ก) ทำให้ปริมาณออกซิเจนในดินมีค่าลดลง กิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากดินจึงมีค่าต่ำกว่า (Bowden *et al.*, 1998) ในเดือนสิงหาคมที่เป็นช่วงปลายฤดูฝน เช่นเดียวกันพื้นที่ KH ในเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2550 ขณะที่ทำการวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินนั้นมีฝนตกกระหน่ำระหว่างการทดลอง ทำให้ค่าความชื้นในดินและปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยจากผิวดินในช่วงเดือนดังกล่าวมีค่าสูงและต่ำกว่าปกติ ตามลำดับ ซึ่งเป็นเหตุผลเดียวกันกับที่พบในพื้นที่ SW

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสะสม (CO_2 accumulation) ในพื้นที่ปลูกสบู่ดำทั้งสองสายพันธุ์ คำนวณจากผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟ ณ ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลเป็นรายปี พบว่าในพื้นที่ SW มีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสะสมสูงกว่าพื้นที่ KH คือมีค่าเท่ากับ 2.66 และ 1.74 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ โดยปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ในงานศึกษานี้มีค่าค่อนข้างต่ำกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับงานศึกษาอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น งานศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนจากดินของ อำนาจ และ ญัฐพล (2548) ในป่าธรรมชาติ ดินป่าปลูก และดินทำการเกษตร ซึ่งมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์รวมตลอดระยะเวลา 8 เดือน จากดินเท่ากับ 8.13 ± 3.64 11.65 ± 7.09 และ 9.97 ± 10.00 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ เช่นเดียวกันกับการศึกษาของ Gamo และ สำเรียง (2548) ที่พบว่า การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในปี พ.ศ. 2546 ของป่าดิบแล้ง สะแกราชและป่าเบญจพรรณมีค่าเท่ากับ 29.2 และ 62.8 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ ในทางเดียวกัน Ree *et al.* (2005) รายงานว่าปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินมีค่าผันแปรไปตามวิธีการจัดการดินที่แตกต่างกันของแต่ละพื้นที่ศึกษา เช่น การไถพรวนดิน การระบายน้ำ (drainage) พื้นที่ทุ่งหญ้า และการใส่ปุ๋ยอินทรีย์ โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 4 และ 26 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี โดยผลที่แตกต่างกันนี้อาจเนื่องมาจากการเปรียบเทียบในระยะเวลาศึกษาที่สั้นและเป็นช่วงเริ่มต้นของการปลูกสบู่ดำ ทำให้ต้นสบู่ดำยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ และการผลิตเศษซากพืชกลับคืนสู่ดินมีปริมาณต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ป่า นอกจากนี้ยังเป็นการศึกษาในสภาพพื้นที่และภูมิอากาศที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะในพื้นที่ KH ที่เป็นดินร่วนปนทราย

ผลของปริมาณน้ำฝนต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน

จากการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันและน้ำฝนสะสมตลอดช่วงเวลาของงานศึกษานี้ ในพื้นที่ไร่สุวรรณฯ จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน จ. ฉะเชิงเทรา โดยใช้ข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากสถานีตรวจวัดอากาศในบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ศึกษา (ภาพผนวกที่ 1) พบว่า รูปแบบการกระจายตัวของปริมาณน้ำฝนที่ตกในพื้นที่ SW มีฝนตกกระจายตลอดในช่วงฤดูฝน โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยสูงสุดในเดือนสิงหาคม 2550 เท่ากับ 7.39 มิลลิเมตร ในขณะที่พื้นที่ KH มีฝนตกแบบกระจุกตัว โดยมีปริมาณฝนตกมากในช่วงฤดูฝน ช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน และเมื่อพิจารณาปริมาณน้ำฝนสะสมของแต่ละพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลาที่เท่ากัน พบว่าในพื้นที่ KH มีปริมาณฝนสะสมต่ำกว่าพื้นที่ SW โดยปริมาณน้ำฝนสะสมในพื้นที่ SW ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2549 ถึงกุมภาพันธ์ 2551 (รวม 1 ปี 5 เดือน) มีค่าเท่ากับ 1,291 มิลลิเมตร และพื้นที่ KH มีปริมาณน้ำฝนสะสมในช่วงเดือนกรกฎาคม 2549 ถึงกุมภาพันธ์ 2551 (รวม 1 ปี 8 เดือน) 1,599 มิลลิเมตร โดยเดือนที่มีปริมาณฝนตกน้อยที่สุด คือ มกราคมและธันวาคม สำหรับพื้นที่ SW และเดือนธันวาคมและมกราคม/กุมภาพันธ์ สำหรับพื้นที่ KH โดยในบางปีฝนอาจตกทั้งช่วงในระยะนี้

หากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินกับปริมาณน้ำฝน พบว่ามีความสัมพันธ์กันในทางบวก โดยปริมาณน้ำฝนมีผลโดยตรงต่อค่าความชื้นในดิน การเจริญเติบโตของพืช และกิจกรรมของจุลินทรีย์และรากพืช เนื่องจากเมื่อฝนตก ทำให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น พืชมีการเจริญเติบโต กิจกรรมของจุลินทรีย์และรากพืชเกิดได้ดีขึ้น ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสู่บรรยากาศจึงมีค่าสูงขึ้นด้วย และสนับสนุนโดยงานศึกษาของ Rochette *et.al.* (1999) ที่พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินมีค่าเพิ่มขึ้น 9 เท่า เมื่อทำการวัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินภายหลังจากมีฝนตก 3 ชั่วโมง และดินนั้นผ่านช่วงฤดูแล้งมาแล้ว ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้ในงานศึกษานี้เช่นกัน (หัวข้อที่ 2 อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน)



ภาพที่ 8 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) ตามความลึกของดินในพื้นที่ศึกษาของศูนย์วิจัยที่ไร้สุวรรณฯ (SW) จ. นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน (KH) จ. ฉะเชิงเทรา ที่ปลูกสับปะรดสายพันธุ์กำแพงแสน (KP) และไร้สุวรรณ เบอร์ 80 (SW 80)

3. ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

คาร์บอนอินทรีย์ในดิน สามารถแบ่งกลุ่มได้หลายวิธี โดยในงานศึกษานี้แบ่งตามขนาดอนุภาคได้เป็น 3 รูป คือ คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดิน (soil organic carbon; SOC) รูปพาร์ติคิวเลตคาร์บอน (particulate organic carbon; POM-C) และคาร์บอนในรูปที่อยู่ร่วมกับอินทรีย์สารในดิน (mineral-associated organic carbon; MaOM-C) ซึ่งมีปริมาณการสะสมและกระจายตัวในดินในสัดส่วนที่แตกต่างกันไปตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ชนิดดิน ลักษณะภูมิอากาศ และชนิดพืช เป็นต้น โดยคาร์บอนในรูปต่างๆ นี้สามารถใช้เพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่มีต่อปริมาณคาร์บอนในดินได้ โดยเฉพาะคาร์บอนในรูป POM และ MaOM ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เกิดขึ้นในดิน และสามารถใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงได้ แม้เป็นการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาสั้นๆ

3.1 ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดิน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินที่ปลูกสบู่ดำทั้งสองสายพันธุ์ (KP และ SW 80) บนพื้นที่ SW และพื้นที่ KH แสดงดังภาพที่ 8ก และ ข โดยผลที่ได้พบว่า ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินที่ปลูกสบู่ดำทั้งสองสายพันธุ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับทั้งสองพื้นที่ศึกษา ยกเว้นในเดือนสิงหาคม 2550 ที่ระดับความลึก 10-30 เซนติเมตร ของพื้นที่ KH และหากพิจารณาในพื้นที่ KH พบว่าดินที่ปลูกสบู่ดำพันธุ์ KP มีแนวโน้มสะสมคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินมากกว่าดินที่ปลูกสบู่ดำพันธุ์ SW 80 โดยมีค่าเฉลี่ยรวมที่ความลึกทั้ง 2 ระดับเท่ากับร้อยละ 0.46 และ 0.33 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แต่ผลที่ได้นี้ยังไม่ชัดเจนในพื้นที่ SW ทั้งนี้อาจเนื่องจากในพื้นที่ KH มีลักษณะของเนื้อดินเป็นดินร่วนปนทรายที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุเริ่มต้นในดินต่ำกว่าดินเหนียวในพื้นที่ SW (ตารางที่ 1) ทำให้พบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ SOC ได้ชัดเจนกว่า แม้เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ ในงานศึกษานี้ (≤ 14 เดือน)

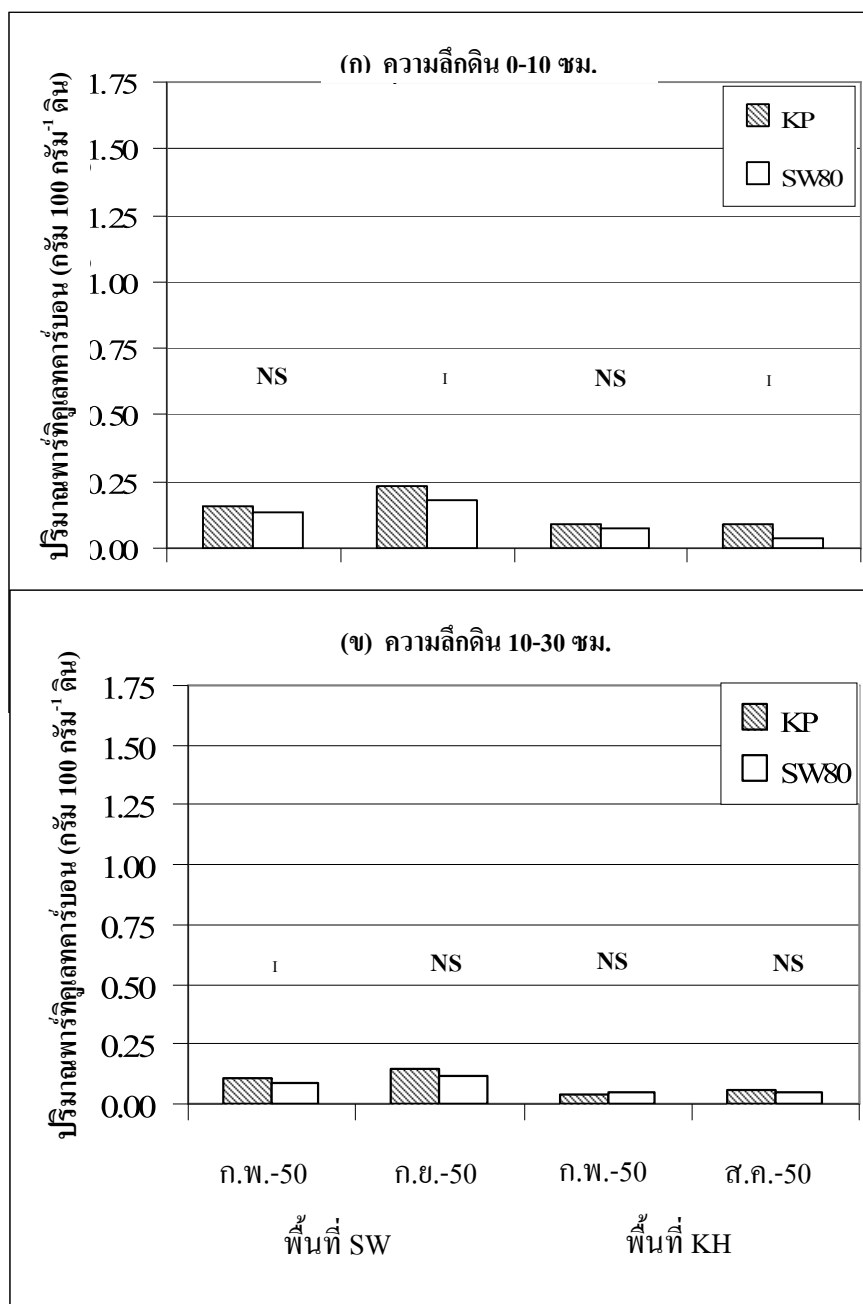
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินของพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่ง พบว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินของแต่ละพื้นที่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test) โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินเหนียวมากกว่าดินร่วนปนทราย คือ ร้อยละ 1.04 และ 0.40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ เนื่องจากในดินเหนียวมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ทำให้สามารถยึดเกาะกับอนุภาคข้างเคียง ดูดซับน้ำและธาตุอาหารหรือไอออนในสารละลาย รวมถึง

คาร์บอนได้ดีกว่าดินร่วนปนทรายที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำกว่ามาก ทำให้ดูดซับธาตุอาหารอินทรีย์วัตถุ และคาร์บอนในปริมาณที่สูงกว่าดินร่วนปนทราย (สิริรัตน์ และคณะ, 2548) อย่างไรก็ตาม พบว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่สะสมในดินมีแนวโน้มลดลงในพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่งในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ที่ศึกษา (short term) เนื่องจากเป็นช่วงปีแรกของการปลูกสบู่ดำในพื้นที่ศึกษา พื้นที่ปลูกสบู่ดำมีการหายใจของดินจากรากพืชและกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินในปริมาณสูง ซึ่งเป็นผลมาจากขั้นตอนของการเตรียมแปลงปลูก ที่มีการไถพรวนและเปิดหน้าดิน ทำให้ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน ในขณะที่ดินสบู่ดำยังไม่เจริญเติบโตเพียงพอที่จะทำให้เกิดการสะสมของคาร์บอนจากสารอินทรีย์ที่พืชปลดปล่อยออกมาทางรากพืชที่เรียกว่า root exudates รวมทั้งผลผลิตของเศษซากพืช (plant litter) ในรูปมวลชีวภาพที่หมุนเวียนกลับสู่ดิน ยังมีปริมาณไม่มากนักในช่วงแรก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Matsumoto *et al.* (2002) ที่พบว่าปริมาณคาร์บอนในดินที่ระดับความลึก 0-10 และ 10-20 เซนติเมตร ของแปลงปลูกข้าวโพดตามแบบวิธีดั้งเดิม (conventional cultivation) มีค่าลดลง สำหรับงานศึกษาในช่วงปีแรก โดยพบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมที่ความลึก 0-50 เซนติเมตร มีค่าลดลงจาก 19.1 เป็น 17.5 ดันต่อเฮกแตร์ ที่ระยะก่อนและหลังปลูกข้าวโพด เป็นเวลา 1 ปี แต่อย่างไรก็ตามหลังจากปีที่ 3 ของงานศึกษานี้พบว่าปริมาณคาร์บอนสะสมในดินที่ระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร ของแปลงดั้งเดิม มีค่าเพิ่มขึ้นจากปีแรก 16.0 เป็น 17.1 MgCha^{-1} หรือ ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ (Matsumoto *et al.*, 2008) ดังนั้นคาดว่าหากมีการปลูกสบู่ดำนานขึ้น สามารถเพิ่มปริมาณการกักเก็บคาร์บอนสู่ดินได้เช่นกัน

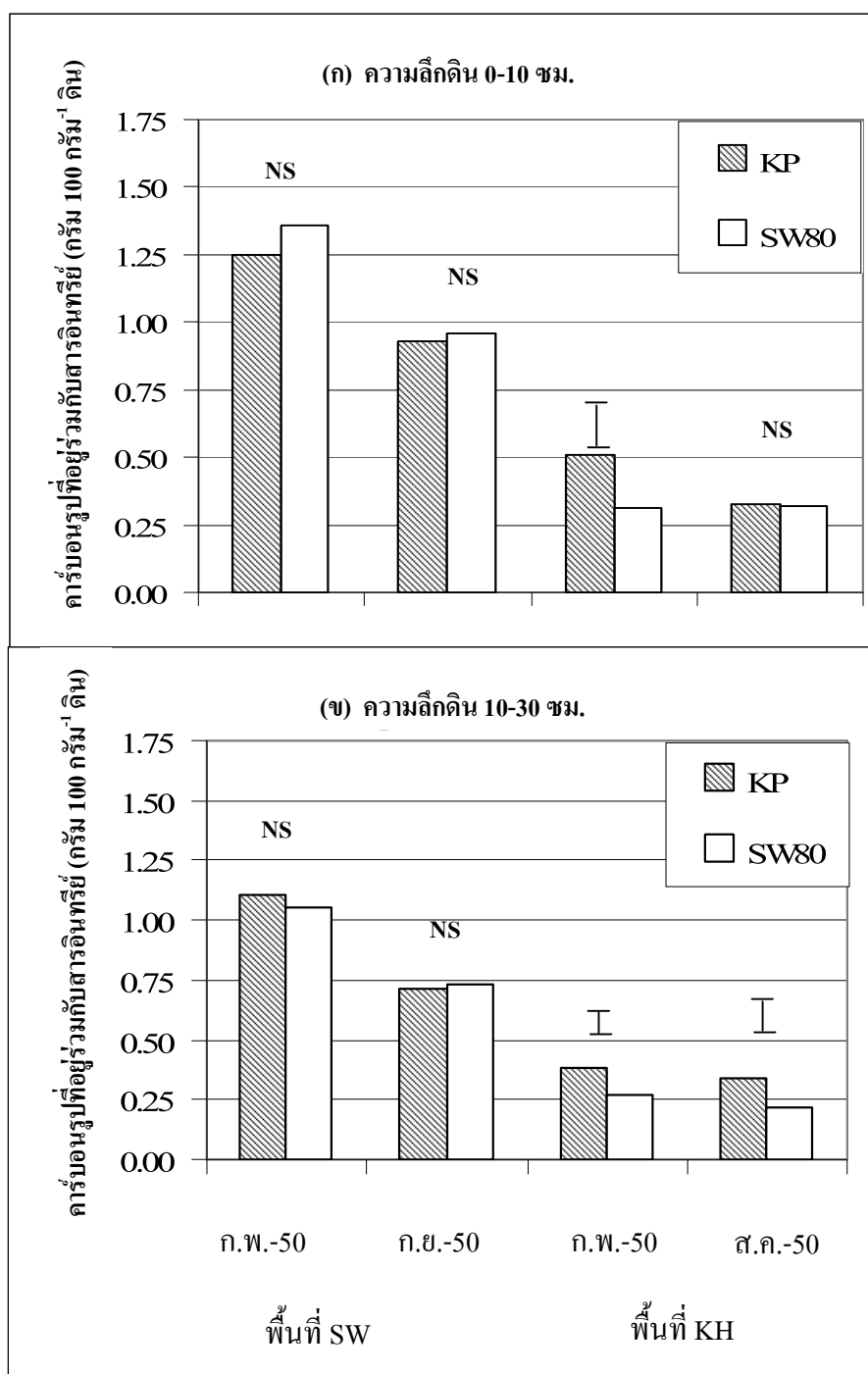
สำหรับทั้งสองพื้นที่ศึกษา ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดส่วนใหญ่เก็บสะสมอยู่ในดินชั้นบน โดยมีค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดินที่ปลูกสบู่ดำทั้งสองพันธุ์เท่ากับร้อยละ 1.30 และ 0.44 โดยน้ำหนัก ที่ระดับความลึก 0-10 เซนติเมตร และลดลงตามระดับความลึกของดินที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นแนวโน้มที่พบได้เช่นกันในดินทั่วไป และสอดคล้องกับผลการศึกษาของนักวิจัยหลายท่าน ที่พบว่าความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ในดินมีค่าสูงสุดในบริเวณผิวดิน และลดลงเมื่อระดับความลึกของดินมีค่าเพิ่มขึ้น (สิริรัตน์ และคณะ, 2548; เสริมพงศ์, 2545; อำนาจ และ ณัฐพล, 2548; Matsumoto *et al.*, 2002)

เมื่อพิจารณาในแง่ของการเก็บกักคาร์บอนในดิน พบว่าปริมาณคาร์บอนที่สะสมในดินจนถึงระดับความลึก 0-30 เซนติเมตร มีปริมาณลดลงโดยเฉลี่ยคิดจากดินที่ปลูกสบู่ดำทั้งสองสายพันธุ์เท่ากับ 45.24 และ 18.27 ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 เป็น 34.00 และ 15.86 ดันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ในเดือนกันยายนและสิงหาคม พ.ศ. 2550 สำหรับพื้นที่ SW และ

พื้นที่ KH ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์สะสมในดิน (soil carbon stock) รวมตลอดระยะเวลาของการปลูกสบู่ดำ 11 เดือนในพื้นที่ SW และ 14 เดือนในพื้นที่ KH มีค่าเท่ากับ -11.23 และ -2.41 ตันคาร์บอนต่อเฮกเตอร์ ตามลำดับ ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Matsumoto *et al.* (2002) ที่มีรายงานว่าปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในดินของแปลงข้าวโพดซึ่งมีการจัดการดินตามแบบวิธีดั้งเดิม มีปริมาณคาร์บอนสะสมในดินที่ความลึก 0-50 เซนติเมตร ลดลงเท่ากับ -1.6 ตันต่อเฮกเตอร์ สำหรับในช่วงปีแรกของการศึกษาทดลอง



ภาพที่ 9 ปริมาณพาร์ทิเคิลคาร์บอน (POM-C) ในดิน ตามความลึกของดินในพื้นที่ศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ (SW) จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน (KH) จ. ฉะเชิงเทรา ที่ปลูกสับปะรดสายพันธุ์กำแพงแสน (KP) และไร่สุวรรณ เบอร์ 80 (SW 80)



ภาพที่ 10 ปริมาณ MaOM-C ในดิน ตามความลึกของดินในพื้นที่ศูนย์วิจัยที่ไร่วรรณฯ (SW) จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน (KH) จ.ฉะเชิงเทรา ที่ปลูกสับดำสายพันธุ์ กำแพงแสน (KP) และไร่วรรณ เบอร์ 80 (SW 80)

3.2 ปริมาณคาร์บอนในรูปพาร์ทิเคิลและรูปที่อยู่มาร่วมกับสารอินทรีย์ในดิน

ภาพที่ 9ก และ ข และ 10ก และ ข แสดงปริมาณคาร์บอนพาร์ทิเคิล (POM-C) และ คาร์บอนในรูปที่อยู่มาร่วมกับสารอินทรีย์ (MaOM-C) ในดินของพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่ง ผลที่ได้พบว่า MaOM-C เป็นองค์ประกอบหลักของคาร์บอนในดิน โดยมีสัดส่วนในปริมาณที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ POM-C ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ ร้อยละ 78.78-95.56 และ 4.44-21.22 โดยน้ำหนักของปริมาณ คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด ตามลำดับ (ภาพผนวกที่ 2) ทั้งนี้เป็นเพราะคาร์บอนที่เกาะอยู่ร่วมกับอนุภาคอินทรีย์ดิน (MaOM-C) เป็นอินทรีย์คาร์บอนที่ผ่านการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ดินแล้ว อยู่ในรูปของ humified fraction ซึ่งเกาะรวมตัวกับอนุภาคดินที่เป็นสารอินทรีย์ โดยส่วนมากอยู่ในขนาดอนุภาคของทรายแป้ง (silt) และดินเหนียว(clay) ดังนั้นจึงเสมือนเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนในระยะยาว หรือ stable carbon ในขณะที่ POM-C เป็นคาร์บอนในดินที่ได้มาจากเศษซากพืช (plant litter) ที่ร่วงหล่นลงสู่ดินโดยตรง ซึ่งอยู่ในช่วงแรกของกระบวนการย่อยสลาย สารอินทรีย์ก่อนการเปลี่ยนแปลงเป็นสารที่คงทนหรือเสถียร ด้วยเหตุนี้ทำให้ MaOM-C มีสัดส่วนที่สูงกว่า POM-C เนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนดังกล่าวสามารถยึดเหนี่ยวกับอนุภาคดินทั้งสองชนิดด้วยแรงดึงดูดที่แข็งแกร่งกว่าเมื่อเทียบกับ POM-C ที่เกาะรวมตัวกับอนุภาคดินขนาดใหญ่ คือ อนุภาคของทราย (sand) อีกทั้งเป็นอินทรีย์คาร์บอนที่มีขนาดใหญ่และง่ายต่อการย่อยสลาย (labile fraction) โดยจุลินทรีย์มากกว่า ทำให้ไวต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในดิน (Ashagrie *et al.*, 2007; Bongiovanni and Lobartini, 2006)

ผลการศึกษาปริมาณ POM-C ในดินร่วนปนทรายและดินเหนียวของสปูดำทั้งสองสายพันธุ์ พบว่าปริมาณ POM-C ส่วนใหญ่สะสมอยู่ในดินชั้นบน และมีปริมาณลดลงตามความลึกดินที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 9ก และ ข) โดยดินที่ปลูกสปูดำสายพันธุ์ KP มีการสะสม POM-C ในดินสูงกว่าดินที่ปลูกสปูดำสายพันธุ์ SW80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยเฉพาะที่ดินชั้นบน (0-10 เซนติเมตร) เมื่อระยะเวลาการปลูกสปูดำนานขึ้น (สิงหาคมและกันยายน พ.ศ. 2550) ยกเว้นที่ระดับความลึก 10-30 เซนติเมตร ในเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ของพื้นที่ KH ผลที่ได้แสดงว่าสปูดำสายพันธุ์ KP สามารถเก็บสะสม POM-C ในดินได้สูงกว่าสายพันธุ์ SW80 โดยการกักเก็บคาร์บอนในรูปนี้เกิดขึ้นได้ทั้งในดินร่วนปนทรายและดินเหนียว และหากพิจารณาโดยภาพรวมของการกักเก็บคาร์บอนในดิน พบว่าดินที่ปลูกสปูดำทั้งสองสายพันธุ์มีแนวโน้มสะสมคาร์บอนในรูป POM เพิ่มขึ้นในดินที่ทุกระดับความลึก โดยเฉพาะในพื้นที่ SW ซึ่งพบการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจน นอกจากนี้ยังพบว่าดินเหนียว (พื้นที่ SW) มีปริมาณการสะสม POM-C สูงกว่าดินร่วนปนทราย

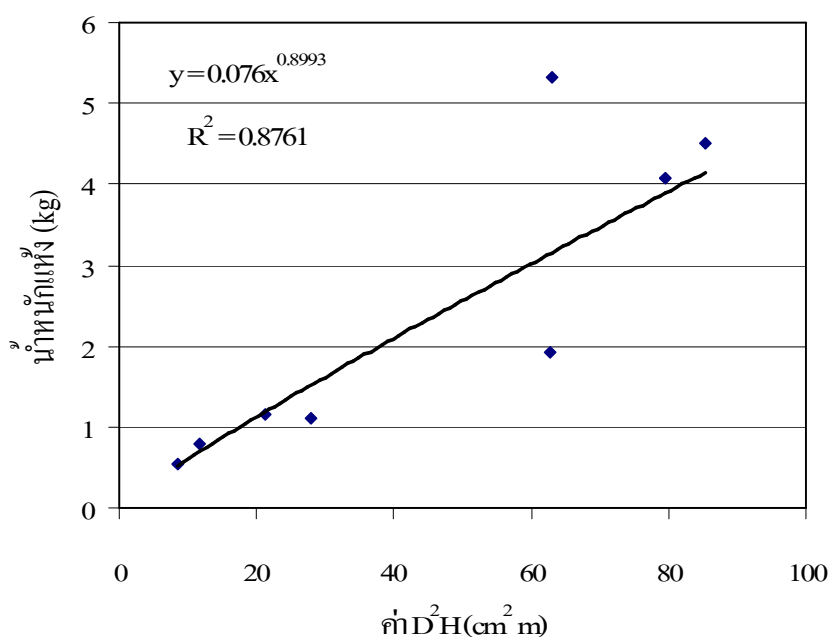
(พื้นที่ KH) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ SOC ในดินทั้งสองชนิด ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะดินในพื้นที่ SW ได้รับอินทรีย์วัตถุจากพืชในปริมาณที่สูงกว่าดินในพื้นที่ KH ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณการร่วงของเศษซากพืชโดยรวมของพื้นที่ SW ที่มีปริมาณสูงกว่าพื้นที่ KH เท่ากับ 2.41 และ 0.57 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ ประกอบกับในดินเหนียวมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าดินร่วนปนทราย (ตารางที่ 1) ทำให้ต้นสบู่ดำในพื้นที่ SW เจริญเติบโตได้ดีและผลิตมวลชีวภาพมากกว่าพื้นที่ KH เห็นได้จากปริมาณผลผลิตและปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมที่มากกว่า (ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3)

ผลการศึกษาปริมาณ คาร์บอนในรูปที่อยู่ร่วมกับสารอนินทรีย์ในดิน (ภาพที่ 10ก และ ข) พบว่าปริมาณ MaOM-C มีแนวโน้มลดลงตามระดับความลึกของดินและระยะเวลาศึกษาที่เพิ่มขึ้น ดังเช่นที่พบใน SOC โดยเฉพาะในพื้นที่ KH พบว่า ดินที่ปลูกสบู่ดำสายพันธุ์ KP สามารถเก็บสะสม MaOM-C ในดินได้ปริมาณสูงกว่าดินที่ปลูกสบู่ดำสายพันธุ์ SW 80 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) แต่ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบเดียวกันในพื้นที่ SW โดยผลที่ได้สอดคล้องกับผลของการศึกษา SOC และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ MaOM-C ในพื้นที่ทั้งสองแห่ง พบว่าดินเหนียวมีปริมาณ MaOM-C สะสมในดินมากกว่าดินร่วนปนทรายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (t-test) เช่นกัน

4. มวลชีวภาพของต้นสนปูดำ

4.1 สมการที่ใช้หาปริมาณมวลชีวภาพของสนปูดำ

รูปแบบความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตริก (allometric relation) ของมวลชีวภาพในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของสนปูดำแสดงดังภาพที่ 11 และสมการ 11 ซึ่งสร้างขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างมวลชีวภาพในส่วนต่างๆ ของต้นไม้กับพารามิเตอร์ที่แสดงการเจริญเติบโต ได้แก่ ค่าความสูง (H) และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น (D) ของต้นไม้ โดยอาศัยรูปแบบสมการความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตริกในรูปของ $Y = aX^h$ หรือ $\log Y = \log a + h \log X$ จะได้รูปแบบสมการกำลังสอง (power equation) พร้อมทั้งค่า coefficient of determination (r^2) งานศึกษานี้ทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ทางแอลโลเมตริกในส่วนของมวลชีวภาพที่อยู่เหนือพื้นดิน เฉพาะลำต้นและกิ่งของสนปูดำเท่านั้น เนื่องจากช่วงเวลาที่ทำการตัดต้นไม้เพื่อสร้างสมการดังกล่าว เป็นช่วงฤดูแล้งที่ต้นสนปูดำผลัดใบ ทำให้เป็นข้อจำกัดหนึ่งในการใช้สมการแอลโลเมตริกที่สร้างขึ้น ส่วนปริมาณมวลชีวภาพในส่วนใต้พื้นดินคำนวณได้จากการเทียบอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดินและมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ซึ่งใช้ค่าเท่ากับ 0.47 (อ้างอิงจากงานที่เกี่ยวข้องของ สาทิส, 2548) เท่าของปริมาณมวลชีวภาพในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน



ภาพที่ 11 สมการแอลโลเมตริกรวมของสนปูดำ

สมการแอลโลเมตริกในส่วนเหนือพื้นดินของสบู่ดำ:

$$\log Y = -1.1192 + 0.8993 \log D^2H \quad (r^2 = 0.8761) \quad (11)$$

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดหรือมิติต่างๆ ของต้นสบู่ดำกับมวลชีวภาพในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน (ลำต้นรวมกิ่ง) ในรูปของสมการแอลโลเมตริกของสบู่ดำในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ผลที่ได้แสดงดังสมการที่ (11) และเมื่อแทนค่าความสูงทั้งหมดและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้นที่วัดได้จริงจากต้นสบู่ดำที่ปลูกในแปลงทดลองของพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่งในสมการที่ (11) พบว่า ปริมาณมวลชีวภาพในส่วนต่างๆ ของต้นสบู่ดำ แสดงดังตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ปริมาณมวลชีวภาพของสบู่ดำสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในพื้นที่ศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ
จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน จ.ฉะเชิงเทรา

หน่วย: กรัม/ ต้น			
พื้นที่ศึกษา	พันธุ์สบู่ดำ	ปริมาณมวลชีวภาพ	
		มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	มวลชีวภาพใต้พื้นดิน
ศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ (SW)	KP	5,860.0 ± 0.83	2,754.2 ± 0.39
	SW 80	3,968.1 ± 0.78	1,865.0 ± 0.37
สถานีวิจัยเขาหินซ้อน (KH)	KP	5,419.9 ± 1.43	2,547.4 ± 0.67
	SW 80	3,700.2 ± 1.35	1,739.1 ± 0.63

ตารางที่ 3 ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของสบู่ดำ

หน่วย: tons C/ ha				
พื้นที่ศึกษา	พันธุ์สบู่ดำ	ปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพ		
		มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	มวลชีวภาพใต้พื้นดิน	รวม
ศูนย์วิจัยไร่สุวรรณฯ				
(SW)	KP	7.32 ± 1.03	3.44 ± 0.49	10.76 ± 1.52
	SW 80	4.96 ± 0.98	2.33 ± 0.46	7.28 ± 1.44
สถานีวิจัยเขาหินซ้อน				
(KH)	KP	6.78 ± 1.18	3.18 ± 0.84	9.95 ± 2.62
	SW 80	4.62 ± 1.69	2.17 ± 0.79	6.79 ± 2.48

ผลการศึกษาปริมาณมวลชีวภาพในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินของสบู่ดำสายพันธุ์ต่างๆ คือพันธุ์ KP และพันธุ์ SW 80 ในพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่ง พบว่า สบู่ดำพันธุ์ KP มีปริมาณการผลิตมวลชีวภาพในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินสูงกว่าพันธุ์ SW 80 ในทั้งสองพื้นที่ และผลการคำนวณหาปริมาณชีวภาพในส่วนที่อยู่ใต้ดิน จากอัตราส่วนระหว่างมวลชีวภาพใต้ดินและมวลชีวภาพเหนือพื้นดิน ซึ่งกำหนดให้ มีค่าเท่ากับ 0.47 (IPCC, 1996) พบว่า ปริมาณการผลิตมวลชีวภาพในส่วนที่อยู่ใต้พื้นดินของสบู่ดำพันธุ์ KP มีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสบู่ดำพันธุ์ SW 80 เช่นเดียวกับมวลชีวภาพส่วนเหนือดิน โดยคิดเป็นปริมาณการผลิตมวลชีวภาพรวมในพื้นที่ SW ของสบู่ดำพันธุ์ KP และพันธุ์ SW 80 มีค่าเท่ากับ 10.76 และ 7.28 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ และมีค่าเท่ากับ 9.95 และ 6.79 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ ตามลำดับ สำหรับพื้นที่ KH (ตารางที่ 3)

นอกจากนี้ เป็นที่น่าสังเกตว่า พื้นที่ปลูกสบู่ดำมีผลต่อปริมาณมวลชีวภาพทั้งในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดินและส่วนใต้พื้นดิน โดยสบู่ดำที่ปลูกในพื้นที่ SW มีปริมาณมวลชีวภาพที่สูงกว่าสบู่ดำที่ปลูกในพื้นที่ KH (ตารางที่ 2 และ 3) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะชนิดดินที่แตกต่างกันและปัจจัยด้านภูมิอากาศของพื้นที่ โดยดินเหนียวมีปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารที่สูงกว่าดินร่วนปนทราย (ตารางที่ 1) อีกทั้งพื้นที่ SW มีปริมาณน้ำฝนที่ตกสม่ำเสมอตลอดในช่วงปีที่ศึกษามากกว่าพื้นที่ KH (ดังรูปในภาพผนวกที่ 1) ด้วยปัจจัยทั้งสองนี้จึงเป็นสาเหตุทำให้สบู่ดำสามารถเติบโตได้ดีในพื้นที่ SW มากกว่าพื้นที่ KH แม้ว่าอายุของสบู่ดำที่ปลูกในพื้นที่ SW น้อยกว่าในพื้นที่ KH

4.2 ปริมาณคาร์บอนในผลผลิตและใบของสบู่ดำ

ผลผลิตของสบู่ดำในงานศึกษานี้ แยกวิเคราะห์เป็น 2 ส่วน คือ เมล็ดและเปลือกผล เพื่อหาปริมาณการกระจายคาร์บอนในส่วนต่างๆ ของผลผลิต ทั้งนี้ ผลของสบู่ดำในช่วงปีแรกของการศึกษามีน้อยมากและไม่สม่ำเสมอ ทำให้ไม่สามารถใช้ข้อมูลที่เก็บจากแปลงทดลองในการหาปริมาณคาร์บอนจากผลผลิตได้ ด้วยเหตุนี้ จึงใช้ข้อมูลปริมาณผลผลิตเมล็ดสบู่ดำในรายปีจากการตรวจเอกสารงานวิจัยของ Jongschaap *et al.* (2007) โดยพบว่าสบู่ดำ อายุ 1-2 ปี มีปริมาณผลผลิตเมล็ดอยู่ในช่วง 0.6-4.1 ตันเมล็ดต่อเฮกเตอร์ ดังนั้น งานศึกษานี้จึงกำหนดให้ปริมาณผลผลิตเมล็ด มีค่าเท่ากับ 0.6 ตันเมล็ดต่อเฮกเตอร์ เพราะมีผลผลิตที่ต่ำ จากนั้นคำนวณหาน้ำหนักเปลือกผลทั้งหมดโดยอ้างอิงจากข้อมูลผลผลิตเมล็ดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสัดส่วนน้ำหนักระหว่างเปลือกผลกับเมล็ดที่หาได้จากการเก็บข้อมูลจริงในงานศึกษานี้ จากนั้นหาปริมาณคาร์บอนในส่วนของผลผลิต โดยคูณน้ำหนักแห้งของเมล็ดหรือเปลือกผลด้วยความเข้มข้นของคาร์บอนของเมล็ดหรือเปลือกผลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างจริงในงานศึกษานี้ รายงานค่าเป็นหน่วยตันคาร์บอนต่อเฮกเตอร์ต่อปี สำหรับปริมาณคาร์บอนในส่วนของใบสบู่ดำ คำนวณจากน้ำหนักแห้งของเศษซากพืช (plant litter) ที่เก็บได้ในรอบปี คูณด้วยปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนในส่วนนี้ ผลผลิตสบู่ดำและใบแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ปริมาณการกักเก็บคาร์บอนในผลผลิต และใบของสับปะรด

หน่วย: tons C/ha/yr

พื้นที่ศึกษา	พันธุ์สับปะรด	ปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ		
		เมล็ด	เปลือกผล	ใบ*
ศูนย์วิจัยที่ไรสุวรรณา	KP	0.29	0.18	2.29
(SW)	SW 80	0.29	0.18	2.53
ค่าเฉลี่ย		0.29	0.18	2.41
สถานีวิจัยเขาหินซ้อน	KP	0.28	0.17	0.60
(KH)	SW 80	0.28	0.17	0.55
ค่าเฉลี่ย		0.28	0.17	0.57

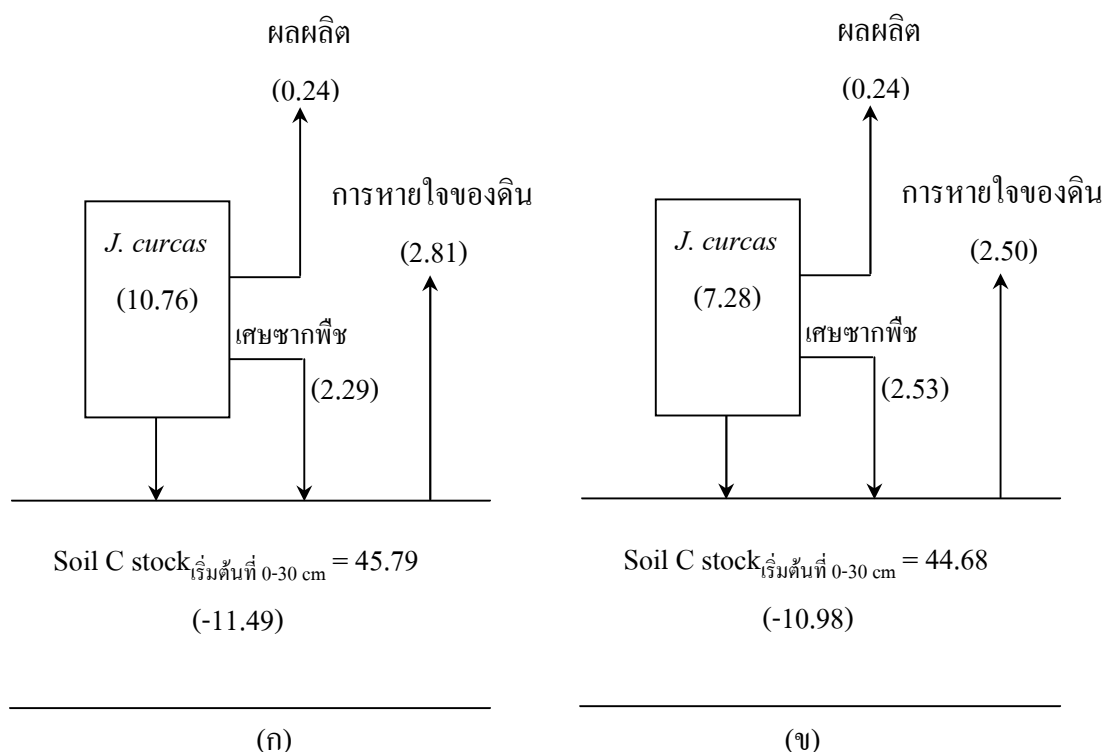
หมายเหตุ * ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนในส่วนใบสับปะรด วิเคราะห์ค่าโดยใช้ตัวอย่างใบของ
เศษซากพืช (plant litter)

ผลการศึกษ ปริมาณการกระจายของคาร์บอนในผลผลิตและใบ พบว่าสับปะรดทั้งสองสายพันธุ์มีการสะสมคาร์บอนในส่วนผลผลิตและใบใกล้เคียงกัน โดยปริมาณคาร์บอนสะสมเฉลี่ยในส่วนของใบมีค่าสูงสุด เท่ากับ 2.41 และ 0.57 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี สำหรับพื้นที่ SW และพื้นที่ KH ตามลำดับ ส่วนปริมาณคาร์บอนสะสมในเมล็ดและเปลือกผลของสับปะรด มีค่าเท่ากับ 0.29 และ 0.18 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี สำหรับพื้นที่ SW และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 และ 0.17 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี สำหรับพื้นที่ KH เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลในพื้นที่ศึกษาทั้งสองแล้ว พบว่าปริมาณคาร์บอนในใบและผลผลิตของพื้นที่ SW มีค่าสูงกว่าพื้นที่ KH ซึ่งเป็นแนวโน้มที่พบเช่นเดียวกันกับปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพส่วนต่างๆ ของสับปะรดที่พื้นที่ SW มีค่าสูงกว่า

เป็นที่น่าสังเกตว่า ปริมาณความชื้นของผลผลิตและใบสับปะรดมีค่าที่สูงกว่าในพื้นที่ KH เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ SW (ตารางภาคผนวกที่ 4) แต่ความชื้นของผลผลิตและใบสับปะรดของทั้งสองสายพันธุ์มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ ความแตกต่างของความชื้นในสับปะรดของพื้นที่ทั้งสองอาจเป็นผลมาจากปัจจัยด้านดิน (เช่น ชนิดดินและความชื้นดิน) และภูมิอากาศของพื้นที่ที่แตกต่างกันนั่นเอง

5. สมดุลคาร์บอนในแปลงสบู่ดำ

การเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินในพื้นที่ปลูกสบู่ดำ พิจารณาจากการเปรียบเทียบคาร์บอนอินทรีย์ในช่วงเริ่มต้นของงานศึกษานี้กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่วัดได้ภายหลังการปลูกสบู่ดำแล้ว ประมาณ 1 ปี โดยกำหนดระดับความลึกดินในช่วง 0-30 เซนติเมตร ส่วนปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบ คำนวณได้จากผลต่างของปริมาณคาร์บอนในส่วนที่เข้าสู่ระบบ (carbon input) กับปริมาณคาร์บอนที่ออกจากระบบ (carbon output) งานศึกษานี้กำหนดคาร์บอนที่เข้าสู่พื้นที่ปลูก ได้แก่ ปริมาณของคาร์บอนในส่วนมวลชีวภาพรวม (ส่วนที่อยู่พื้นเหนือดินและส่วนที่อยู่พื้นใต้ดิน) และในเศษซากพืช และคาร์บอนในส่วนที่ออกจากพื้นที่ ได้แก่ คาร์บอนที่สูญเสียออกจากดินในรูปการหายใจของดิน (โดยรวมการหายใจของรากพืชและสิ่งมีชีวิตในดิน) และปริมาณคาร์บอนในส่วนผลผลิต (เมล็ดและเปลือกผล) เนื่องจากผลผลิตของสบู่ดำในส่วนนี้มีการเก็บเกี่ยวออกจากพื้นที่ เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยเฉพาะใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ผลการที่ได้แสดงดังในภาพที่ 12, 13 และ 14



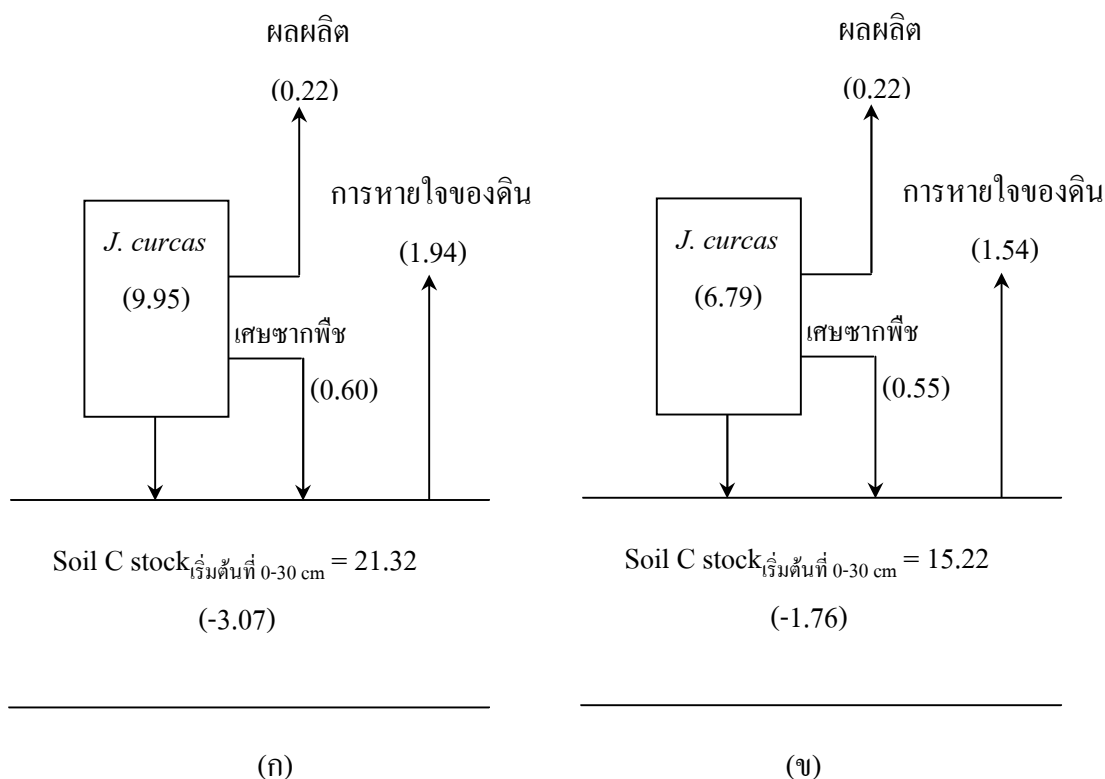
ภาพที่ 12 ปริมาณคาร์บอนสุทธิ (ตันคาร์บอนต่อเฮกตาร์ต่อปี) ในดินของระบบศึกษาที่ปลูกสบู่ดำ (ก) พันธุ์กำแพงแสน (KP) และ (ข) พันธุ์ไร่สุวรรณ เบอร์ 80 (SW 80) ในศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ (SW) จ.นครราชสีมา

การคำนวณปริมาณคาร์บอนสุทธิในพื้นที่ปลูกสับปะรดพันธุ์ KP และ SW 80 ในพื้นที่ SW:

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบ (ก)} &= \text{คาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ} - \text{คาร์บอนที่ออกจากระบบ} \\
 &= (10.76+2.29) - (0.24+2.81) \\
 &= 10.0
 \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบ (ข)} &= \text{คาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ} - \text{คาร์บอนที่ออกจากระบบ} \\
 &= (7.28+2.53) - (0.24+2.50) \\
 &= 7.07
 \end{aligned} \tag{13}$$

ภาพที่ 12 และ 13 แสดงว่าปริมาณคาร์บอนในมวลชีวภาพรวมของสับปะรดสายพันธุ์ KP มีแนวโน้มมากกว่าสับปะรดพันธุ์ SW 80 ในพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่ง ปริมาณคาร์บอนในส่วนผลผลิตมีค่าใกล้เคียงกันในสับปะรดทั้งสองพันธุ์ แต่สายพันธุ์ KP มีค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตาม ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินที่ปลูกสับปะรดพันธุ์ KP มีค่าเฉลี่ยที่มากกว่าในดินที่ปลูกสับปะรดพันธุ์ SW 80 ในทั้งสองพื้นที่ศึกษา ด้วยเหตุนี้จึงทำการคำนวณปริมาณคาร์บอนสุทธิในพื้นที่ปลูกสับปะรดเพื่อประเมินประสิทธิภาพการกักเก็บคาร์บอนในพื้นที่ ผลที่ได้พบว่าปริมาณคาร์บอนสุทธิในพื้นที่ปลูกสับปะรดสายพันธุ์ KP มีค่าสูงกว่าพื้นที่ปลูกสับปะรดพันธุ์ SW 80 ในพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่ง โดยสำหรับพื้นที่ SW มีค่าเท่ากับ 10.0 และ 7.07 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ และสำหรับพื้นที่ KH มีค่าเท่ากับ 8.39 และ 5.58 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ (ดังสมการที่ 12-15) ดังนั้นปริมาณคาร์บอนสุทธิที่คำนวณได้นี้ชี้ให้เห็นว่าการปลูกสับปะรดพันธุ์ KP มีแนวโน้มที่จะกักเก็บคาร์บอนในดินมากกว่าการปลูกสับปะรดพันธุ์ SW 80 ในทั้งสองพื้นที่ศึกษา

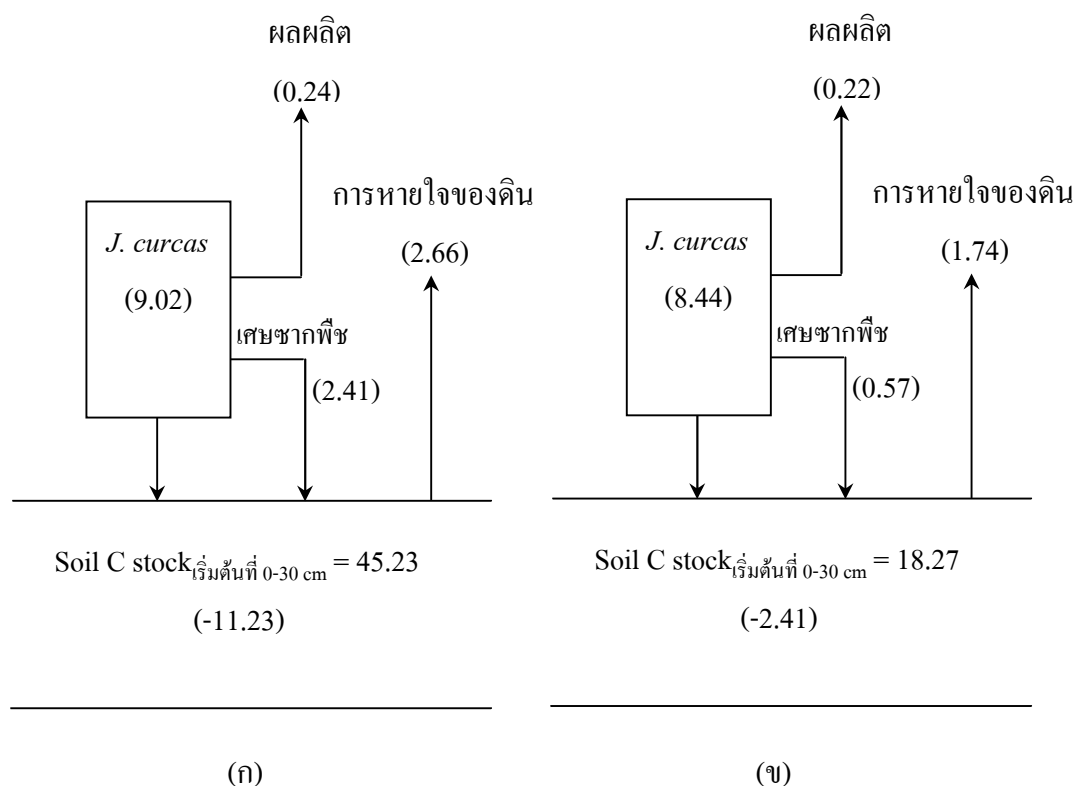


ภาพที่ 13 ปริมาณคาร์บอนสุทธิ (ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี) ในดินของระบบศึกษาที่ปลูกสบู่ดำ (ก) พันธุ์กำแพงแสน (KP) และ (ข) พันธุ์ไรสุวรรณ เบอร์ 80 (SW 80) ในบริเวณ สถานีวิจัยเขาคันทรง (KH) จ.ฉะเชิงเทรา

การคำนวณปริมาณคาร์บอนสุทธิในพื้นที่ปลูกสบู่ดำพันธุ์ KP และ SW 80 ในพื้นที่ KH:

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบ (ก)} &= \text{คาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ} - \text{คาร์บอนที่ออกจากระบบ} \\
 &= (9.95 + 0.60) - (0.22 + 1.94) \\
 &= 8.39
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบ (ข)} &= \text{คาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ} - \text{คาร์บอนที่ออกจากระบบ} \\
 &= (6.79 + 0.55) - (0.22 + 1.54) \\
 &= 5.58
 \end{aligned}
 \tag{15}$$



ภาพที่ 14 ปริมาณคาร์บอนสุทธิ (ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี) ในดินของระบบศึกษาโดยเฉลี่ยรวมของสนับดำทั้งสองสายพันธุ์ที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ (ก) ศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ (SW) จ.นครราชสีมา และ (ข) สถานีวิจัยเขาคันทรง (KH) จ.ยะลา

การคำนวณปริมาณคาร์บอนสุทธิของพื้นที่ศึกษา SW และพื้นที่ KH:

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบ (ก)} &= \text{คาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ} - \text{คาร์บอนที่ออกจากระบบ} \\ &= (9.02 + 2.41) - (0.24 + 2.66) \\ &= 8.53 \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบ (ข)} &= \text{คาร์บอนที่เข้าสู่ระบบ} - \text{คาร์บอนที่ออกจากระบบ} \\ &= (8.44 + 0.57) - (0.22 + 1.74) \\ &= 7.05 \end{aligned} \quad (17)$$

ผลการศึกษาปริมาณคาร์บอนสุทธิของพื้นที่ศึกษาที่ปลูกสบู่ดำทั้งสองแห่ง พบว่าการปลูกสบู่ดำบนพื้นที่ SW มีปริมาณคาร์บอนสุทธิต่ำกว่าพื้นที่ KH เท่ากับ 8.53 และ 7.05 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ (สมการที่ 16 และ 17) ผลที่ได้สอดคล้องกับปริมาณมวลชีวภาพและผลผลิตเศษซากพืชที่มีค่ามากกว่าในพื้นที่ SW (ตารางที่ 2, 3 และภาพที่ 13) แต่เมื่อพิจารณาปริมาณการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร ของพื้นที่ทั้งสองแห่ง พบว่าการปลูกสบู่ดำทั้งสองสายพันธุ์ในช่วงเวลาสั้นๆ ทำให้คาร์บอนอินทรีย์ในดินมีปริมาณลดลง เท่ากับ -11.23 และ -2.41 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ สำหรับพื้นที่ SW และ KH ตามลำดับ (ภาพที่ 14) โดยการลดลงของคาร์บอนในดินในพื้นที่ปลูกอาจเป็นเพราะงานศึกษานี้เป็นการศึกษาในระยะสั้น ทำให้การสูญเสียคาร์บอนจากกิจกรรมการเกษตร (เช่น การเตรียมดินและการไถพรวนดิน) ทำให้เกิดการสูญเสียคาร์บอนในดิน และพืชยังไม่สามารถสะสมคาร์บอนในดินได้มากนักในระยะแรกของการปลูก นอกจากนี้เป็นที่น่าสนใจว่าการลดลงของคาร์บอนในดินของพื้นที่ SW มีค่าสูงกว่าในพื้นที่ KH ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณคาร์บอนในดินเริ่มต้นของพื้นที่ SW ที่มีค่าสูงกว่า และความชื้นดินที่สูงกว่า ทำให้ดินเหนียวในพื้นที่ SW มีสถานะที่เหมาะสมให้จุลินทรีย์ดินย่อยสลายอินทรีย์วัตถุได้ดีกว่าดินทรายที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุต่ำมาก (ตารางที่ 1) นั่นเอง อย่างไรก็ตาม การลดลงของคาร์บอนในดินที่พบในงานศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Matsumoto *et al.* (2002) ที่รายงานว่าในช่วงปีแรกของการปลูกข้าวโพด พบว่าปริมาณคาร์บอนในดิน (carbon stock) ที่ระดับความลึก 0-50 เซนติเมตร มีค่าลดลงจากระบบศึกษาที่มีการปลูกพืชตามแบบวิธีดั้งเดิม เท่ากับ -1.6 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาปริมาณการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดิน ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รูปต่างๆ ในดิน และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบที่ปลูกสับปะรดกำแพงแสน (KP) และพันธุ์ไรสุวรรณ เบอร์ 80 (SW80) ในดินเหนียวและดินร่วนปนทรายบริเวณพื้นที่ศูนย์วิจัยที่ไรสุวรรณา จังหวัดนครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน จังหวัดฉะเชิงเทรา ในช่วงระยะเวลาศึกษา ประมาณ 1 ปี สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ดินที่ปลูกสับปะรดสายพันธุ์ KP มีแนวโน้มปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินสูงกว่าดินที่ปลูกสับปะรดสายพันธุ์ SW 80 ในทั้งสองพื้นที่ศึกษา โดยพบว่า การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของดินเหนียว (SW) มีปริมาณที่สูงกว่าดินร่วนปนทราย (KH) เท่ากับ 6.44 และ 1.74 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี สำหรับพื้นที่ SW และพื้นที่ KH ตามลำดับ ผลที่ได้สอดคล้องกับปริมาณน้ำในดินเหนียวที่มีค่ามากกว่าดินร่วนปนทราย โดยอยู่ในช่วงร้อยละ 15.2-27.6 และ 0.6-9.5 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และอุณหภูมิของดินเหนียวอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ดินและรากพืชมากกว่า คือประมาณ 25.4-31.8 องศาเซลเซียส ดินร่วนปนทราย

2. การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลอย่างชัดเจน ในทั้งสองพื้นที่ศึกษา กล่าวคือในช่วงฤดูฝนมีปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เฉลี่ย (สิงหาคมและกันยายน พ.ศ. 2550) สูงกว่าในช่วงฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์-เมษายน พ.ศ. 2550 และมีนาคม พ.ศ. 2551) เท่ากับ 0.63 และ 0.51 ไมโครโมล $\text{CO}_2\text{-C}$ ต่อตารางเมตรต่อวินาที ตามลำดับ

3. ปริมาณคาร์บอนรูปต่างๆในดินที่ปลูกสับปะรดพันธุ์ KP มีแนวโน้มสูงกว่าดินที่ปลูกสับปะรดพันธุ์ SW 80 โดยเฉพาะในพื้นที่ KH และหากพิจารณาในภาพรวม พบว่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในดิน (SOC) และคาร์บอนในรูปที่อยู่ร่วมกับอนินทรีย์สารในดิน (MaOM-C) มีแนวโน้มลดลง ในดินทั้งสองชนิด ในขณะที่คาร์บอนอินทรีย์ในรูปพาร์ทิเคิลคาร์บอน (POM-C) มีปริมาณ

เพิ่มมากขึ้น โดยส่วนใหญ่คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดจะเก็บสะสมอยู่ในดินชั้นบน และลดลงตามระดับความลึกดินที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นแนวโน้มที่พบได้ในคาร์บอนอินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด

4. ปริมาณคาร์บอนสุทธิในพื้นที่ปลูกสบู่ดำพันธุ์ KP มีค่าสูงกว่าพื้นที่ปลูกสบู่ดำพันธุ์ SW 80 โดยสำหรับพื้นที่ SW มีค่าเท่ากับ 10.0 และ 7.07 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ และสำหรับพื้นที่ KH มีค่าเท่ากับ 8.39 และ 5.58 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนสุทธิในพื้นที่ศึกษาทั้งสอง พบว่าในพื้นที่ SW มีปริมาณคาร์บอนสุทธิในระบบสูงกว่าพื้นที่ KH เท่ากับ 8.53 และ 7.05 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ต่อปี ตามลำดับ

5. ปริมาณการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนในดินที่ความลึก 0-30 เซนติเมตร ของพื้นที่ทั้งสองแห่ง พบว่าการปลูกสบู่ดำทั้งสองสายพันธุ์ในช่วงเวลาสั้นๆ ทำให้คาร์บอนอินทรีย์ในดินมีปริมาณลดลง เท่ากับ -11.23 และ -2.41 ตันคาร์บอนต่อเฮกแตร์ สำหรับพื้นที่ SW และ KH ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษามวลชีวภาพในงานศึกษานี้ เป็นการศึกษาเฉพาะมวลชีวภาพในส่วนที่อยู่เหนือพื้นดิน ดังนั้นผลผลิตมวลชีวภาพที่ได้จึงเป็นเพียงผลผลิตของต้น ไม้ในส่วนเหนือพื้นดินเท่านั้น เพื่อให้การประเมินปริมาณผลผลิตมวลชีวภาพที่ได้มีความถูกต้อง แม่นยำมากยิ่งขึ้น ควรศึกษามวลชีวภาพในส่วนที่อยู่ใต้พื้นดินด้วย

2. การศึกษาปริมาณคาร์บอนในส่วนของผลผลิต เนื่องจากใช้ข้อมูลปริมาณผลผลิตเมล็ดจากการตรวจเอกสารงานวิจัย และการคำนวณน้ำหนักเปลือกผลโดยอ้างอิงจากข้อมูลผลผลิตเมล็ดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้ผลการศึกษาที่ได้ไม่สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อชี้วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตที่แท้จริงของสบู่ดำทั้งสองสายพันธุ์ได้ ในพื้นที่ศึกษาทั้งสองแห่ง ด้วยเหตุนี้ ควรเก็บข้อมูลผลผลิตในรอบปีของสบู่ดำเพิ่มเติม เพื่อให้การคำนวณค่าปริมาณคาร์บอนในส่วนผลผลิตมีความถูกต้องยิ่งขึ้น

3. การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินในพื้นที่ ควรเพิ่มจำนวนครั้งในการเก็บข้อมูลให้มีความถี่เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้เห็นแนวโน้มของปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากผิวดินที่ชัดเจนขึ้น และทำให้ความถูกต้องของข้อมูลมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

4. การศึกษาปริมาณคาร์บอนในดิน เนื่องจากเป็นพื้นที่ปลูกสับปะรดที่มีการทดลองอยู่แล้ว ทำให้มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถเก็บตัวอย่างดินเริ่มต้นก่อนการปลูกพืชได้ ทำให้ในงานศึกษานี้จึงต้องเก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง เพื่อวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติเบื้องต้นบางประการของดิน ดังนั้น ควรเก็บข้อมูลของตัวอย่างดินเริ่มต้นก่อนงานทดลอง หรือ เพิ่มชุดการทดลองที่ไม่มีการปลูกพืช สำหรับใช้เป็นข้อมูลในส่วน of ชุดการทดลองเปรียบเทียบ และทำให้การประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนสุทธิในพื้นที่ปลูกพืชมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

5. งานศึกษานี้ทำการเก็บข้อมูลในช่วงเริ่มต้นการปลูกสับปะรดและเก็บข้อมูลเป็นเวลาที่สั้น ดังนั้น จึงควรขยายเวลาการเก็บตัวอย่างออกไปเพื่อให้ได้ผลการศึกษาเกี่ยวกับการกักเก็บคาร์บอนในดินที่ปลูกสับปะรดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2548. รายงานการจัดการทรัพยากรดินเพื่อการปลูกพืชเศรษฐกิจหลักตามกลุ่ม
ชุดดิน เล่ม 2: ดินบนที่ดอน. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.
- _____. 2548ก. คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดินและการวิเคราะห์ เพื่อ
ตรวจรับรองมาตรฐานสินค้า เล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัท ดับบลิว เจ พร็อพเพอร์ตี้ จำกัด,
กรุงเทพฯ.
- กรมส่งเสริมการเกษตร. 2549. สมุดคำพืชพลังงานทดแทน. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์
การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ขวัญชัย กุลสันติธารังค์. 2549. สภาวะโลกร้อน: สัญญาณเตือนภัยจากภัยธรรมชาติ ก่อนที่โลกจะ
ถึงกาลอวสาน. *Update* 21 (230): 37-43.
- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2548. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น ครั้งที่พิมพ์ 10. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะ
เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ดาร์ลีย์ วีวรรณระเดช. 2549. European CDM Linking Directive: โอกาสและความท้าทาย
สำหรับ CDM. *วารสารพลังงาน* 7: น. 1-12.
- ทักษิณ อัดตะนันท์ และ จงรักย์ จันทรเจริญสุข. 2542. แบบฝึกหัดและคู่มือปฏิบัติการวิเคราะห์
ดินและพืช. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ชนพงศ์ โพธิ์แท่น. 2541. การควบคุมก๊าซเรือนกระจกเพื่อสิ่งแวดล้อมโลก, น. 1-21. ใน เอกสาร
ประกอบการสัมมนา การควบคุมก๊าซเรือนกระจกเพื่อสิ่งแวดล้อมโลก. (โครงการสห
วิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.

- นาฏสุตา ภูมิจันทร์. 2547. การศึกษาแหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้ และกิจกรรมการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินภายใต้พิธีสารเกียวโต, น.1-16. ใน รายงานการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ : ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. 16-17 สิงหาคม 2547, โรงแรมมารวยการ์เด็น. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.
- นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2549. การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลกและผลกระทบที่เกิดขึ้นในประเทศไทย. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 21 (3): 20-34.
- นิรนาม. 2548. ยุทธศาสตร์ CDM แผนรับมือภาวะโลกร้อน กลไกลดผลกระทบแบบมีส่วนร่วม. *Engineering today* 3 (28): 75-78.
- นวรรตน์ ไกรพานนท์ และ ศิวัช แก้วเจริญ. 2550. ศักยภาพการกักเก็บคาร์บอนในดินเป็นแหล่งดูดซับก๊าซเรือนกระจก. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 21 (3): 50-55.
- พจน์ย์ มอญเจริญ และ ทวีศักดิ์ เวียรศิลป์. 2541. คาร์บอนในดินของประเทศไทย. กรมพัฒนาที่ดิน, กรุงเทพฯ.
- พิมลรัตน์ พุทธิมิลินประทีป. 2544. อิทธิพลของฤดูกาลต่อองค์ประกอบและอัตราการแพร่กระจายของก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พงษ์ศักดิ์ สหุณาฟู. 2538. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้. ทัศนะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 651 น.
- รักษ์ พฤกษชาติ. 2549. การปลูกและการพัฒนาสบูดำเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์นีออน บั๊ค มีเดีย, นนทบุรี.
- เล็ก มอญเจริญ. 2550. มาตราการ 3.4 (Additional Human Induce) ในพิธีสารเกียวโตกับการกักเก็บคาร์บอนในดินเพื่อบรรเทาปัญหาโลกร้อน. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 22 (2): 44-51.

วนบุษปี เสือดี. 2543. อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมวลชีวภาพของไม้ป่าชายเลนปลูกบางชนิด ที่อำเภอชะอำ จังหวัดเพชรบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำเร็จ ปานอุทัย. 2550. การประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไฟ : กรณีศึกษา สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สาพิศ ดิลกสัมพันธ. 2550. การกักเก็บคาร์บอนของป่าไม้กับสภาวะโลกร้อน. วารสารอนุรักษ์ดิน และน้ำ 22 (3): 40-49.

_____, ธิติ วิสารัตน์ สำเร็จ ปานอุทัย ภาณุมาศ ลาตปาตะ สิริรัตน์ จันทรมหเสถียร และศุภรัตน์ สำราญ. 2548. วัฏจักรคาร์บอนในป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง, น. 77-94. ใน รายงานการประชุม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต. 4 -5 สิงหาคม 2548, โรงแรมมารวย การ์เด็น. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

สุขประโชค เอื้อกฤษฎาธิการ. 2549. ภัยธรรมชาติกับภาวะโลกร้อน. วารสารสิ่งแวดล้อม 10 (2): 32-40.

สิริรัตน์ จันทรมหเสถียร ศิริภา โพธิ์พินิจ และวิลาวณย์ วิเชียรนพรัตน์. 2547. การศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินของระบบนิเวศป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณ. ใน รายงานการประชุม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต. 16 -17 สิงหาคม 2547, โรงแรมมารวยการ์เด็น. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

_____. 2548. ปริมาณคาร์บอนในดินของป่าดิบแล้งสะแกราชและป่าเบญจพรรณลุ่มน้ำแม่กลอง, น. 321-343. ใน รายงานการประชุม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต. 4 -5 สิงหาคม 2548, โรงแรมมารวย การ์เด็น. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

เสริมพงศ์ นวลงาม. 2545. บทบาทของการปลูกสร้างสวนป่าต่อการกักเก็บคาร์บอนและคุณสมบัติของดินบางประการ ที่สถานีวิจัยและฝึกอบรมการปลูกสร้างสวนป่า จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมบัติ ชินะวงศ์. 2549. การปลูกสับด้าและการใช้ประโยชน์จากสับด้า. เอกสารเผยแพร่. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรมกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, นครปฐม. 45 น.

สมบุญ เตชะภิญญาวัฒน์. 2548. ศรีวิทยาของพืช. พิมพ์ ครั้งที่ 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุรพงษ์ เจริญรัต. 2549. ผลผลิตและต้นทุนการผลิตสับด้า. จดหมายข่าว ผลิใบ ก้าวใหม่การวิจัยและพัฒนาการเกษตร. ปีที่ 9 ฉบับที่ 7: 2-4.

อำนาจ ชิดไธสง และ ณัฐพล ลิไชยกุล. 2548. การกักเก็บและปลดปล่อยคาร์บอนในดินป่าดิบแล้ง ดินป่าปลูก และดินทำการเกษตร, น. 95-105. ใน รายงานการประชุม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต. 4 -5 สิงหาคม 2548, โรงแรมมารวยการ์เด็น. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

อรรถชัย จินตะเวช. 2547. การสะสมคาร์บอน. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรรณณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2550. ทรัพยากรดินกับภาวะโลกร้อน. วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ 22 (3): 22-32.

Anonymous. n.d. **Jatropha curcas**. Pacific Island Ecosystems at Risk (PIER). Available Source: <http://www.hear.org/pier/imagepages/singles/jacurp29.htm>, May 26, 2007.

Ashagrie, Y., W. Zech, G. Guggenberger and T. Mamo. 2007. Soil aggregation, and total and particulate organic matter following conversion of native forests to continuous cultivation in Ethiopia. **Soil Till. Res.** 94: 101-108.

- Bazzaz, F.A. and W.E. Williams. 1991. Atmospheric CO₂ concentrations within a mixed forest: Implications for seedling growth. **Ecology** **72** (1): 12-16.
- Blake, G.R. and K.H. Hartge. 1986. Bulk density, pp. 363-375. *In* A. Klute, ed. **Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods**. SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Bongiovanni, M.D. and J.C. Lobartini. 2006. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro- and microaggregates as affected by cultivation. **Geoderma** **136**: 660-665.
- Bowden, R.D., K.M. Newkirk and G.M. Rullo. 1998. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions. **Soil Biol. Biochem.** **30**: 1591-1597.
- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-Total, pp.1085-1121. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, ed. **Method of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods**. SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Cambardella, C.A. and E.T. Elliott. 1992. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Sci. Soc. Am. J.** **56**: 777-783.
- Campbell, C.A. 1967. The applicability of the carbon-dating method in soil humus studies. **Soil Sci.** **104**: 217-224.
- Dilustro, J.J., B. Collins, L. Duncan and C. Crawford. 2005. Moisture and soil texture effects on soil CO₂ efflux components in southeastern mixed pine forests. **Forest Eco. Manag.** **204**: 85-95.

Eswaran, H.E., V.D. Berg and P. Reich. 1993. Organic carbon in soil of the world. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 57: 192-194.

Florence, J.A. 2006. 2005 Another Record Year for Global Carbon Emissions. **Earth Policy Institute**. Available Source:
http://www.earth-policy.org/Indicators/CO2/2006_data.htm#fig1, May 15, 2007.

Gamo, M. และ สำเริง ปานอุทัย. 2548. CO₂ Flux Observation in the Tropical Seasonal Forests in Thailand, pp. 193-211. ใน รายงานการประชุม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ศักยภาพของป่าไม้ในการสนับสนุนพิธีสารเกียวโต. 4 -5 สิงหาคม 2548, โรงแรมมารวยการ์เด็น. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis, pp. 383-411. In A. Klute, ed. **Methods of Soil Analysis Part 1: Physical and Mineralogical Methods**. SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.

Hozumi, K., K. Yoda, S. Kokana and T. Kira. 1969. Production ecology of tropical rain forests in Southwestern Cambodia. อ้างโดย พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 651 น.

IPCC. 1996. **Greenhouse gas inventory reference manual**. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

_____. 2001. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Cambridge University. Press, Cambridge, UK.

_____. 2007. **Climate change 2007: The physical science basis; summary for policy makers**. A report of working group I of the Intergovernmental Panel on Climate

Change. Available Source: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>, December 17, 2007.

Jongschaap, R.E.E., W.J. corre, P.S. Bindraban and W.A. Brandenburg. 2007. **Claims and Fact on Jatropha curcas L Global Jatropha curcas evaluation, breeding and propagation programme.** 66 p.

Kira, T. and T. Shidei. 1967. Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystem of the Western Pacific. *อ้างโดย พงษ์ศักดิ์ สหุนาฟู. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 651 น.*

Kiehl, J.T. and K.E. Trenberth. 1997. Earth's annual global mean energy budget. **Bull. Amer. Meteor. Soc.** 78 (2): 197-208.

Kirita, H. 1971. Re-examination of the absorption method of soil respiration under field condition. **Jap. J. Ecol.** 21: 27-42.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Geoderma** 123:1-22.

Ma, Z., C.W. Wood and D.I. Bransby. 2000. Carbon dynamics subsequent to establishment of switchgrass. **Biomass Bioenerg.** 18: 93-104.

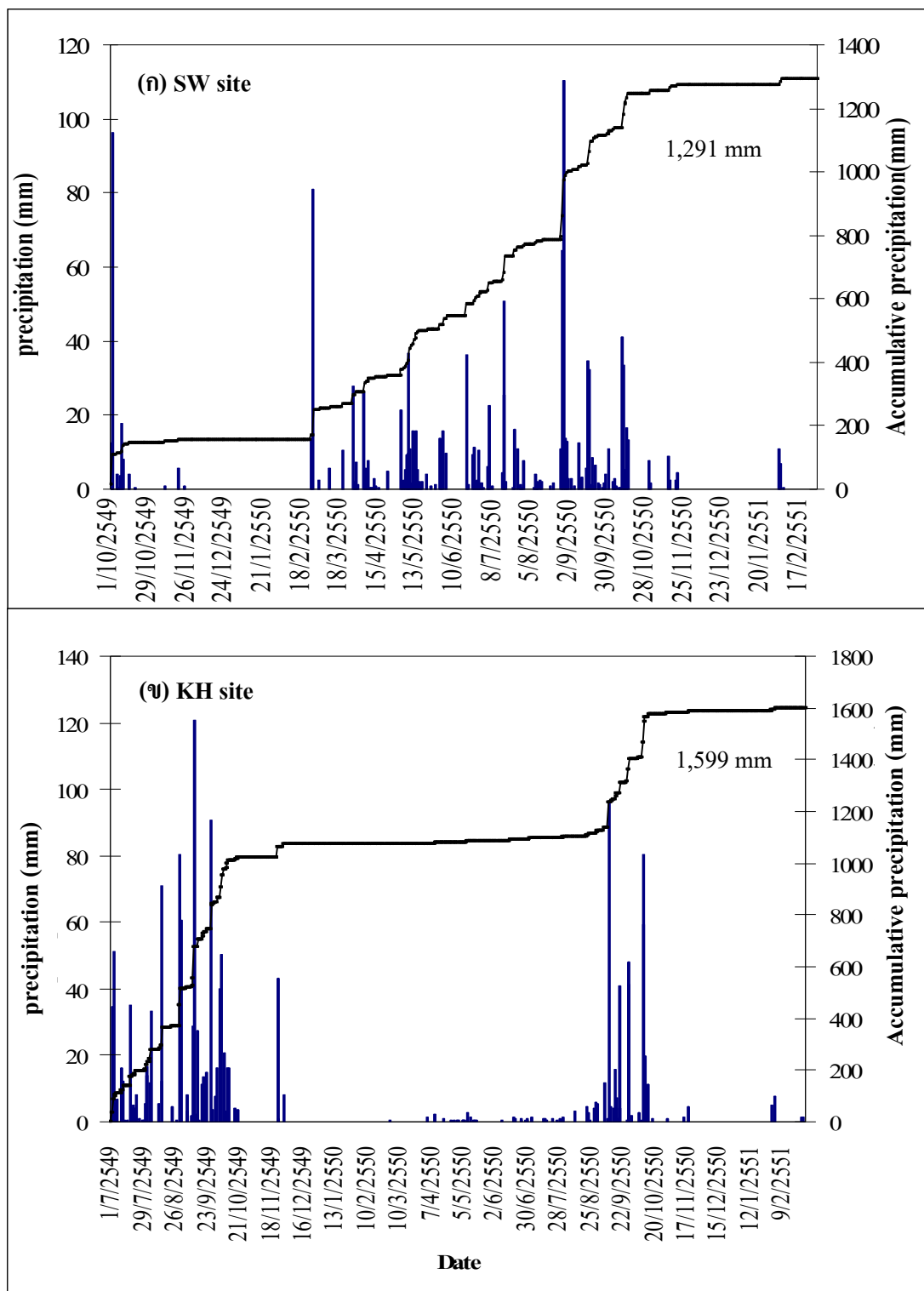
Matsumoto, N., P. Kobkiet and H. Tomoyuki. 2002. Carbon sequestration in maize field with cow dung application and no-tillage cultivation in Northeast Thailand, pp. 1212-1-1212-8. *In 17th World Congress of Soil Science 14-21 August 2002, Bangkok, Thailand.*

_____. 2008. Carbon balance in maize fields under cattle manure application and no-tillage cultivation in Northeast Thailand. **Soil Sci. Plant Nutr.** 54: 277-288.

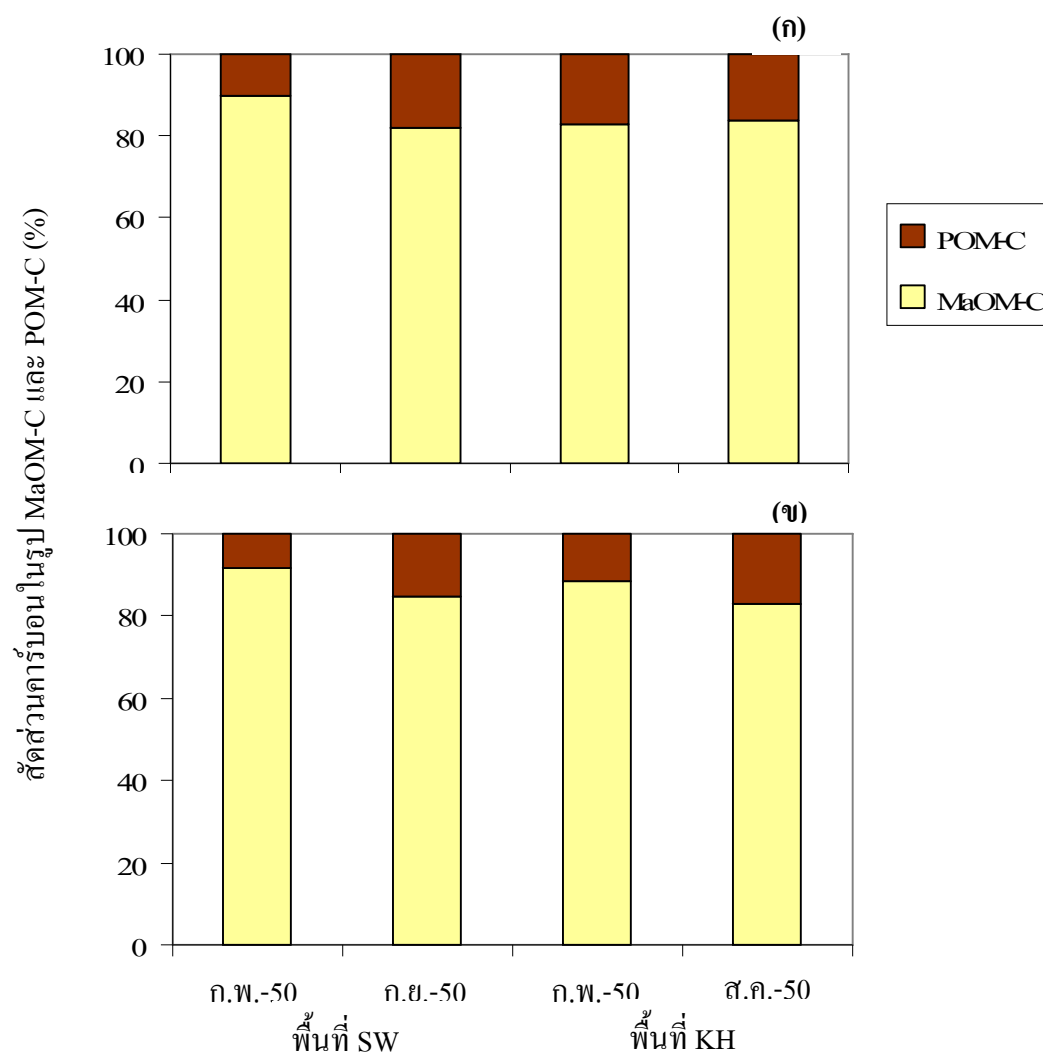
- Meyer, M.S. and D.B. Anderson. 1952. **Plant Physiol.** D. Van Norstrand Company, inc., New York, U.S.A. 669 p.
- Moore, R.T., P.C. Miller, D. Albright and L.L. Tieszen. 1972. Comparative gas exchange characteristics of tree mangrove species during the winter. **Photosynthetica** 6: 387-394.
- _____, _____, J. Ehleringer and W. Lawrence. 1973. Seasonal trends in gas exchange characteristics of tree mangrove species. **Photosynthetica** 7: 387-394.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter, pp. 961-1010. *In* D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. **Method of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods.** SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Ogawa, H., K. Yoda, K. Ogino and T. Kira. 1965. Comparative ecological studies on three main types of forest vegetation in Thailand. อ้างโดย พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬ. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 651 น.
- Post, W.M. and K.C. Kwon. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. **Global Change Biol.** 6: 317-327.
- Rayment, M.B. and P.G. Jarvis. 2000. Temporal and spatial variation of soil CO₂ efflux in a Canadian boreal forest. **Soil Biol. Biochem.** 32: 35-45.
- Scala, N.L., D. Bolonhezi and G.T. Pereira. 2006. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil. **Soil Till. Res.** 91: 244-248.

- Shinozaki, K., K. Yoda, K. Hozumi and T. Kira. 1964. A quantitative analysis of plant from the pipe model theory. อ้างโดย พงษ์ศักดิ์ สหุณาฬุ. ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 651 น.
- Smith, K.A. 1999. After the Kyoto Protocol: can soil scientists make a useful contribution. **Soil Use Manage.** 15: 71-75.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and Soil Acidity, pp. 475-490. In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner, eds. **Method of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods.** SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Updegraff, K., P.R. Zimmerman, M. Price and W.J. Capehart. 2005. C-Lock: An online system to standardize the estimation of agricultural carbon sequestration credits. **Fuel Process. Technol.** 86: 1695-1704.
- Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. **Soil. Sci.** 37: 29-38.
- Zibilske, L.M. 1994. Carbon mineralization, pp. 835-863. In R.W. Weaver, J.S. Angle and P.S. Bottomly, eds. **Method of Soil Analysis Part 2: Microbiological and Biochemical properties.** SSSA Inc., ASA Inc., Madison, Wisconsin, USA.

ภาคผนวก



ภาพผนวกที่ 1 ปริมาณน้ำฝนรายวัน (bars) และปริมาณน้ำฝนสะสมรายวัน (line) ของสถานีตรวจวัดอากาศปากช่อง จ. นครราชสีมา (ภาพที่ 1ก) และศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนฯ จ. ฉะเชิงเทรา (ภาพที่ 1ข)



ภาพผนวกที่ 2 ปริมาณสัดส่วนของ MaOM-C และ POM-C ในดิน ที่ระดับความลึกของดิน 0-10 เซนติเมตร (ก) และ 10-30 เซนติเมตร (ข)

ตารางผนวกที่ 1 ความหนาแน่นรวมของดิน (bulk density) (g cm^{-3})

พื้นที่ศึกษา	ค่าระดับความลึกของดิน (เซนติเมตร)	
	0-10	10-30
ศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ (SW)	1.16	1.21
สถานีวิจัยเขาคันทรง (KH)	1.46	1.52

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลมวลชีวภาพของสับรุดำ อายุ 1 ปี

ต้นที่	D* (cm)	H** (m)	D ² H (cm ² m)	AGB* ** (kg)
1	5.0	2.52	63.000	5.322
2	5.2	2.94	79.498	4.067
3	5.5	2.82	85.305	4.503
4	4.5	3.10	62.775	1.930
5	3.2	2.09	21.402	1.160
6	3.5	2.27	27.808	1.099
7	2.4	2.02	11.635	0.794
8	2.4	1.48	8.525	0.548

หมายเหตุ * D คือ ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางลำต้น

** H คือ ความสูงทั้งหมดของต้น

***AGB คือ น้ำหนักแห้งในรูปมวลชีวภาพส่วนเหนือพื้นดิน (above-ground biomass)

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณมวลชีวภาพของสับรุดำสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ
จ.นครราชสีมา และสถานีวิจัยเขาหินซ้อน จ.ฉะเชิงเทรา

หน่วย: tons/ ha

พื้นที่ศึกษา	พันธุ์สับรุดำ	ปริมาณมวลชีวภาพ	
		มวลชีวภาพเหนือพื้นดิน	มวลชีวภาพใต้พื้นดิน
ศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ (SW)	KP	18.31 ± 2.58	8.61 ± 1.21
	SW 80	12.40 ± 2.45	5.83 ± 1.15
สถานีวิจัยเขาหินซ้อน (KH)	KP	93.73 ± 4.45	7.96 ± 2.09
	SW 80	11.56 ± 4.22	5.43 ± 1.98

ตารางผนวกที่ 4 ปริมาณความชื้นในผลผลิต และใบของสบู่ดำ

หน่วย: เปอร์เซ็นต์

พื้นที่ศึกษา	พันธุ์สบู่ดำ	ปริมาณความชื้นในส่วนต่างๆ		
		เมล็ด	เปลือกผล	ใบ
ศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ	KP	5.261	7.578	6.693
(SW)	SW 80	5.269	6.774	6.418
ค่าเฉลี่ย		5.265	7.176	6.556
สถานีวิจัยเขาหินซ้อน	KP	5.419	7.882	7.334
(KH)	SW 80	5.286	8.566	7.002
ค่าเฉลี่ย		5.352	8.224	7.168

ตารางผนวกที่ 5 ปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนในผลผลิต และใบของสบู่ดำ

หน่วย: เปอร์เซ็นต์

พื้นที่ศึกษา	พันธุ์สบู่ดำ	ปริมาณคาร์บอนในส่วนต่างๆ		
		เมล็ด	เปลือกผล	ใบ
ศูนย์วิจัยที่ไร่สุวรรณฯ	KP	51.98	34.86	35.88
(SW)	SW 80	51.24	35.76	36.02
ค่าเฉลี่ย		51.61	35.31	35.95
สถานีวิจัยเขาหินซ้อน	KP	48.64	34.54	40.62
(KH)	SW 80	48.68	34.45	40.92
ค่าเฉลี่ย		48.66	34.49	40.77

ตารางผนวกที่ 6 ข้อจำกัดของสมบัติทางเคมีของดินที่ใช้ประเมินความอุดมสมบูรณ์ของดิน
(Land Classification Division and FAO Project Staff, 1973)

1. ปฏิกริยาดิน (soil reaction), pH (ดินต่อน้ำ = 1:1)

ระดับ (rating)		พิสัย (range)
กรดจัดมาก	Extremely acid	< 4.5
กรดจัด	Very strong acid	4.5-5.0
กรดแก่	Strongly acid	5.1-5.5
กรดปานกลาง	Moderately acid	5.6-6.0
กรดเล็กน้อย	Slightly acid	6.1-6.5
กลาง	Neutral	6.6-7.3
ด่างอ่อน	Mildly alkaline	7.4-7.8
ด่างปานกลาง	Moderately alkaline	7.9-8.4
ด่างแก่	Strong alkaline	8.5-9.0
ด่างจัด	Extremely alkaline	> 9.0

2. อินทรีย์วัตถุ (organic matter) (% organic carbon x1.724)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 5
ต่ำ	(L)	5-10
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	10-15
ปานกลาง	(M)	15-25
ค่อนข้างสูง	(MH)	25-35
สูง	(H)	35-45
สูงมาก	(VH)	> 45

3. ปริมาณไนโตรเจนรวม (total nitrogen)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 0.25
ต่ำ	(L)	0.50-0.75
ปานกลาง	(M)	0.75-1.25
สูง	(H)	1.25-1.75
สูงมาก	(VH)	> 2.25

4. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available phosphorus) (Bray II)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 3
ต่ำ	(L)	3-6
ค่อนข้างต่ำ	(ML)	6-10
ปานกลาง	(M)	10-15
ค่อนข้างสูง	(MH)	15-25
สูง	(H)	25-45
สูงมาก	(VH)	> 45

5. ปริมาณโพแทสเซียมที่เป็นประโยชน์ (available potassium) (NH₄OAc)

ระดับ (rating)		พิสัย (range) (g kg ⁻¹)
ต่ำมาก	(VL)	< 30
ต่ำ	(L)	30-60
ปานกลาง	(M)	60-90
สูง	(H)	90-120
สูงมาก	(VH)	> 120

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสิริกานดา วัชรไทย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	12 สิงหาคม 2525
สถานที่เกิด	สุพรรณบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (เคมีการเกษตร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	- ทุนอุดหนุนวิจัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ - ทุนสนับสนุนโครงการส่งเสริมการวิจัยร่วมแบบทวิภาคี (BRC) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์