



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การบริหารทรัพยากรป่าไม้)

ปริญญา

การบริหารทรัพยากรป่าไม้

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไผ่ :
กรณีศึกษา สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี

Estimation of Soil Carbon Dioxide Emission in Mixed Deciduous Forest with Bamboo:
A Case Study of Mae Klong Watershed Research Station, Kanchanaburi Province

นามผู้วิจัย นายสำเริง ปานอุทัย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลดาวัลย์ พวงจิตร, D.Sc.)

กรรมการ

(อาจารย์สาพิศ คิลกสัมพันธ์, Ph.D.)

กรรมการ

(อาจารย์ทรงธรรม สุขสว่าง, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลดาวัลย์ พวงจิตร, D.Sc.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 1 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2550

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไผ่:
กรณีศึกษา สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี

Estimation of Soil Carbon Dioxide Emission in Mixed Deciduous Forest with Bamboo:
A Case Study of Mae Klong Watershed Research Station, Kanchanaburi Province

โดย

นายสำเริง ปานอุทัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การบริหารทรัพยากรป่าไม้)

พ.ศ. 2550

สำเร็จ ปานอุทัย 2550: การประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน
ในป่าเบญจพรรณผสมไผ่: กรณีศึกษา สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การบริหารทรัพยากรป่าไม้) สาขาการบริหาร
ทรัพยากรป่าไม้ โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาการที่ปรึกษา:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ลดาวัลย์ พวงจิตร, D.Sc. 59 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
จากดิน ปัจจัยแวดล้อมบางประการที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอน
ไดออกไซด์จากดินตลอดจนประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่า
เบญจพรรณผสมไผ่บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี โดยทำการวัดอัตราการ
ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน โดยวิธี Close Dynamic Chamber Method ด้วยเครื่อง
วิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Gas Analyzer LI-800)

จากการศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2546
ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2547 พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ
0.744 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที มีอัตราการปลดปล่อยสูงสุดในเดือนสิงหาคม
เท่ากับ 2.199 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที และมีอัตราการปลดปล่อยต่ำสุดในเดือน
ธันวาคมเท่ากับ 0.093 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที

ปัจจัยแวดล้อมบางประการที่มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการปลดปล่อยก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์จากดิน เรียงลำดับจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ดังนี้ ความชื้นในดินที่
ระดับ 50 เซนติเมตร ความชื้นในดินที่ระดับ 10 เซนติเมตร ปริมาณน้ำฝน ความชื้นในอากาศ และ
อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.87 0.85
0.77 0.70 และ 0.63 ตามลำดับ

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไผ่
บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง ซึ่งมีพื้นที่ป่าเบญจพรรณผสมไผ่ เท่ากับ 5,582.88 เฮกแตร์ มีการ
ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน เท่ากับ 1,309,911 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี



ลายมือชื่อนิติ



ลายมือชื่อประธานกรรมการ

28 / พค. / 50

Samreong Panuthai 2007: Estimation of Soil Carbon Dioxide Emission in Mixed Deciduous Forest with Bamboo: A Case Study of Mae Klong Watershed Research Station, Kanchanaburi Province. Master of Science (Forest Resource Administration), Major Field: Forest Resource Administration, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Ladawan Puangchit, D.Sc. 59 pages.

The present study aimed to determine CO₂ emission from soil, some factors affecting soil CO₂ emission, as well as the evaluation of CO₂ emission from soil in mixed deciduous forest with bamboo at Mae Klong Watershed Research Station, Kanchanaburi Province. The measurement of CO₂ released from soils was taken by Close Dynamic Chamber Method using LI-800 CO₂ Gas Analyzer.

The measurement of soil CO₂ emission taken from March 2003 – February 2004 showed that the average rate of CO₂ released from soil was 0.744 mgCO₂/m²/s with the highest value in August (2.199 mgCO₂/m²/s), and the lowest value in December (0.093 mgCO₂/m²/s).

Factors related to the changes of rates of CO₂ released from soil according to coefficient of correlations (r) were including soil moisture contents at 50 and 10 cm depth, rainfall, relative air humidity and soil temperature at 50 cm depths with r-value of 0.87, 0.85, 0.77, 0.70 and 0.63 respectively.

The annual CO₂ emission from soil in mixed deciduous forest with bamboo at Mae Klong Watershed Research Station under the area of 5,582.88 hectares was estimated to be 1,309,911 tons CO₂.

S. Panuthai

Student's signature

Ladawan Puangchit 28 / May 2007

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ลดาวัลย์ พวงจิตร ประธานกรรมการที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.สาพิศ คิลกสัมพันธ์ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก อาจารย์ ดร.ทรงธรรม สุขสว่าง กรรมการที่ปรึกษาวิชาการ ที่ได้ให้คำปรึกษาในการวางแผนงานวิจัย และให้ความรู้และคำแนะนำในด้านวิชาการ ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.สันติ สุขสะอาด ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ความรู้และคำแนะนำในด้านวิชาการ ตลอดจนการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ Dr.Minoru Gamo จากสถาบันวิจัย Institute for Environmental Management Technology (AIST) ประเทศญี่ปุ่น Dr.Moriyoshi Ishizuka และ Dr.Atsumi Ishida จากสถาบันวิจัยการป่าไม้และผลผลิตป่าไม้ (Forestry and Forest Product Research Institute; FFPRI) แห่งประเทศญี่ปุ่น ที่กรุณาให้การสนับสนุนเครื่องมือในการวิจัย ให้คำแนะนำในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล ขอขอบคุณ คุณสนธยา ปุรินทรภิบาล คุณชาติรี มีแก้ว ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล และขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อนทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในระหว่างที่ทำการศึกษาตลอดจนในการทำวิทยานิพนธ์

นายสำเริง ปานอุทัย

เมษายน 2550

(1)

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	28
ผลและวิจารณ์	34
สรุป	48
ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	51
ภาคผนวก	57

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของป่าต่าง ๆ	5
2	สถิติข้อมูลอากาศเฉลี่ยในรอบ 25 ปี (พ.ศ. 2521-2546) ของสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง อำเภอลำปาง จังหวัดกาญจนบุรี	26
3	การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จากข้อมูลดาวเทียม Landsat-5 TM	33
4	อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละ Chamber ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2546 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2547 บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง	35
5	ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และองค์ประกอบของเนื้อดิน ในแต่ละ Chamber บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง	36
6	อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินเฉลี่ยรายเดือน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2546 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2547 บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง	37
7	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินกับปัจจัยแวดล้อมบางประการ บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง	46

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
1 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ความชื้นในดินที่ระดับความลึก 10 และ 50 เซนติเมตร อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 10 และ 50 เซนติเมตร เฉลี่ยรายเดือน บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง	58

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ของสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี และที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา	25
2	ผังแสดงการติดตั้ง Chamber การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน และระยะห่างระหว่าง Chamber	29
3	เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂ Infrared Gas Analyzer LI-800) และอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง	31
4	ปริมาณน้ำฝนรายเดือน กับค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินรายเดือน บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง	40
5	ค่าเฉลี่ยความชื้นอากาศ ค่าเฉลี่ยความชื้นในดินที่ระดับความลึก 10 และ 50 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินรายเดือน บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง	42
6	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 10 และ 50 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินรายเดือน บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง	45
ภาพผนวกที่		
1	การออกดอกของไผ่ข้าวหลาม (<i>Cephalostachyum pergracile</i>) ในปี 2545 บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง	58

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไม้:
กรณีศึกษา สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี

**Estimation of Soil Carbon Dioxide Emission in Mixed Deciduous Forest with
Bamboo: A Case Study of Mae Klong Watershed Research Station,
Kanchanaburi Province**

คำนำ

การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในชั้นบรรยากาศของโลกอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ช่วงการเริ่มปฏิวัติอุตสาหกรรมจนถึงปัจจุบัน ซึ่งมีสาเหตุหลักจากการขุดเจาะเอาซากสิ่งมีชีวิต ดึกดำบรรพ์หรือฟอสซิล ขึ้นมาเผาเป็นเชื้อเพลิง ในรูปของถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม และก๊าซธรรมชาติ ดังนั้นธาตุคาร์บอนที่ถูกฝังอยู่อย่างมิดชิดใต้ดินจึงถูกปลดปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศโดยจับตัวกับก๊าซออกซิเจนในการเผาไหม้ ก่อเกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และสาเหตุหลักที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ การทำลายและลดลงของพื้นที่ป่าไม้ทั่วทั้งโลก โดยปกติโลกมีกลไกอัตโนมัติเพื่อสร้างความสมดุล โดยที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาตินั้นจะถูกพืชดูดซับไว้ในระหว่างการเติบโต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงถูกเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนมาเก็บไว้ในเนื้อไม้และส่วนต่าง ๆ ของต้นไม้ ดังนั้นการตัดไม้ทำลายป่าจึงเป็นการทำลายแหล่งกักเก็บคาร์บอน ซึ่งนอกจากจะลดแหล่งดูดซับแล้วหากนำไม้เหล่านั้นมาเผาโดยไม่มีการปลูกทดแทน ก็จะเป็นการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศขึ้นอีก หากแนวโน้มการเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศยังเป็นอยู่เช่นนี้ ก็มีผลทำให้สมดุลของการไหลเวียนของพลังงานและความร้อนในโลกเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้โลกร้อนขึ้น การเปลี่ยนแปลงของกระแสน้ำในมหาสมุทร การเปลี่ยนแปลงของลมมรสุมต่าง ๆ การแปรปรวนของฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรการไหลเวียนของน้ำ การละลายของน้ำแข็งในเขตขั้วโลก ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดภัยพิบัติต่าง ๆ ที่จะตามมาในอนาคต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเข้าใจถึงกระบวนการสะสมและการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อจะได้จัดการทรัพยากรป่าไม้ได้อย่างเหมาะสม

ดินนับว่าเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนแหล่งใหญ่แหล่งหนึ่ง โดย เล็ก (2544) ได้สรุปการกระจายของคาร์บอนในดินของประเทศไทย โดยในดินลึก 1 เมตร มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนรวมทั้งหมดประมาณ 6.21 พันล้านตัน คิดเป็น 0.046 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโลก ซึ่ง Eswaran *et al.* (1993) ประเมินไว้มีอยู่ 1.53 ล้านล้านตัน และมีอินทรีย์คาร์บอนรวมทั้งหมดของประเทศประมาณ 0.184 พันล้านตัน คิดเป็น 0.019 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนโลก ซึ่ง Eswaran *et al.* (1993) ได้ประเมินว่ามีอยู่ถึง 940 ล้านล้านตัน ส่วนปริมาณคาร์บอนในดินของระบบนิเวศป่าไม้ในประเทศไทยนั้น สิริรัตน์ และศิริภา (2544) ได้ทำการศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินในท้องที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าบริเวณพื้นที่ป่าดิบเขา มีการสะสมของปริมาณคาร์บอนถึงระดับความลึกที่ 1 เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 237.27 ตันต่อเฮกเตอร์ รองลงมาคือป่าเบญจพรรณ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 148.50 ตันต่อเฮกเตอร์ ส่วนในป่าดิบแล้งและป่าสนเขา พบแนวโน้มของการสะสมปริมาณคาร์บอนมีค่าใกล้เคียงกันคือ 145.25 และ 132.05 ตันต่อเฮกเตอร์ ป่าเต็งรังมีการสะสมของปริมาณคาร์บอนต่ำกว่าป่าธรรมชาติชนิดอื่น ๆ คือ 76.75 ตันต่อเฮกเตอร์ ส่วนการสะสมของปริมาณคาร์บอนในบริเวณป่าปลูกเท่ากับ 167.9 ตันต่อเฮกเตอร์ นอกจากนี้แนวโน้มของการสะสมของปริมาณคาร์บอนจะมีการสะสมอยู่มากในดินชั้นบนและลดลงตามระดับความลึกของดิน

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าดินเป็นแหล่งสะสมคาร์บอนแหล่งใหญ่แหล่งหนึ่งแต่ในขณะเดียวกันดินก็เป็นแหล่งปลดปล่อยคาร์บอนสู่บรรยากาศที่สำคัญเช่นกัน โดยเฉพาะคาร์บอนที่อยู่ในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าหลายแห่งของสหรัฐอเมริกาและยุโรปมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6 - 3.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อปี (Hanson *et al.*, 1993) สำหรับในประเทศไทยข้อมูลการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินนั้นยังมีการศึกษาน้อยมาก ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้จะทำให้ทราบถึงอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไม้ และทราบถึงปัจจัยแวดล้อมบางประการที่มีผลต่ออัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไม้ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องใช้เป็นแนวทางในการจัดการทรัพยากรป่าไม้ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับคาร์บอนในดิน อันแสดงให้เห็นถึงความร่วมมือของประเทศไทยในการช่วยลดภาวะการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไผ่ บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง
2. ศึกษาถึงปัจจัยแวดล้อมบางประการที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไผ่ บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง
3. ประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไผ่ บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง

การตรวจเอกสาร

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas) ที่สำคัญ แม้มีอยู่ในบรรยากาศเพียง 0.036 เปอร์เซ็นต์ แต่เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต เนื่องจากก๊าซเรือนกระจกมีคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดซึ่งแผ่ออกจากโลก ทำให้โลกอบอุ่น อุณหภูมิของกลางวันและกลางคืนไม่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นก๊าซที่จำเป็นต่อการสร้างอาหารของพืชอีกด้วย แต่การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลกในปัจจุบัน ทำให้โลกร้อนขึ้น สาเหตุที่ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศโลกเพิ่มขึ้นเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยตั้งแต่เมื่อโลกเข้าสู่ยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นต้นมา มนุษย์ได้พัฒนาเทคโนโลยีเครื่องจักรกลขึ้นมาใช้ทุนแรง เพิ่มกำลังในการผลิตและอำนวยความสะดวกต่าง ๆ เครื่องจักรกลเหล่านี้ต้องอาศัยเชื้อเพลิงจากซากฟอสซิลเป็นแหล่งพลังงานหลักซึ่งการเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์และปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เดียวกัน พื้นที่ป่าไม้ทั่วโลกซึ่งเป็นแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศ ก็ได้ถูกบุกรุกทำลายลงอย่างมากจากการขยายตัวของภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม และพื้นที่อยู่อาศัยของมนุษย์ ทำให้แหล่งเก็บกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากบรรยากาศลดน้อยลงกว่าในอดีต จึงยิ่งส่งผลต่อการเพิ่มปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกระบุว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้โลกร้อนขึ้นแล้ว ยังมีกลุ่มก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ ที่ถูกระบุว่าเป็นกลไกที่สำคัญในการทำให้โลกร้อนขึ้น คือก๊าซโอโซน ก๊าซไนตรัสออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซเรือนกระจกที่ไม่มีอยู่ตามธรรมชาติ แต่เป็นก๊าซที่มนุษย์สังเคราะห์ขึ้น ได้แก่ ก๊าซที่เกิดจากสารในกลุ่มฮาโลคาร์บอน อาทิ คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (HFCs) และเพอร์ฟลูออโรคาร์บอน (PFCs) เป็นต้น การที่โลกมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อการดำรงชีวิตในแหล่งที่อยู่นั้นๆ ซึ่งสิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องมีการปรับตัวใหม่ เพื่อตอบสนองต่อปัจจัยและเงื่อนไขที่เปลี่ยนแปลงไป แต่สิ่งมีชีวิตบางชนิดที่ไม่สามารถปรับตัวได้ จะต้องสูญพันธุ์จากโลกนี้ไปในที่สุด (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2543)

นาฏสุดา (2547) กล่าวว่าวิธีการที่ดีที่สุดในการเก็บกักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ คือการเก็บกักคาร์บอนไว้ในดินไม้และผลิตภัณฑ์ของไม้ที่มีอายุการใช้งานที่ยืนยาว ต้นไม้และป่าไม้เป็นแหล่งเก็บกักคาร์บอนที่สำคัญ ประมาณครึ่งหนึ่งของมวลชีวภาพของต้นไม้ (ในรูปน้ำหนักแห้ง) จะเป็น

คาร์บอน ดังนั้นเมื่อต้นไม้เติบโต คาร์บอนจึงถูกเก็บกักเพิ่มขึ้นอยู่ในราก ลำต้น กิ่งก้าน และใบ โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงและดึงเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศเข้าไปเก็บในมวลชีวภาพของต้นไม้

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน

การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน หรืออาจเรียกว่าการหายใจของดิน (soil respiration) เป็นผลรวมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้มาจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดิน การหายใจของรากพืช และการหายใจของสัตว์ในดิน (Mielnick and Dugas, 1999) มีการประมาณว่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของโลกมีค่าอยู่ระหว่าง 50 – 75 พันล้านตันคาร์บอนต่อปี (Rayment and Jarvis, 2000) นอกจากนี้ พงษ์ศักดิ์ (2538) กล่าวว่า การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน จะแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของดิน และพรรณพืชที่ปกคลุม สำหรับการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ นั้น จะทำให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินผันแปรไปอย่างมาก โดยทั่วไปแล้วเมื่อในดินมีจำนวนจุลินทรีย์สูง จะเกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาสูงตามไปด้วย ในทำนองเดียวกันปริมาณของอินทรีย์วัตถุที่มีอยู่ ถ้ามีปริมาณมาก ดินมีอุณหภูมิที่เหมาะสม ความชื้นที่เหมาะสมและมีการถ่ายอากาศดี จะทำให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ระบบนิเวศของป่าที่แตกต่างกัน จะทำให้การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินแตกต่างกัน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของป่าต่าง ๆ

ชนิดป่า	อัตราการหายใจของดิน (กรัมคาร์บอนไดออกไซด์ต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง)
ป่าดงดิบ เขตร้อน	0.4-1.0
ป่า <i>Lucidophyll</i> เขตกึ่งร้อน	0.2-0.6
ป่าไม้ใบกว้างผลัดใบ เขตอบอุ่น	0.15-0.4
ป่าไม้ใบแคบ เขตอัลไพน์	0.15-0.4

ที่มา: พงษ์ศักดิ์ (2538)

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน

จากการศึกษาของนักวิจัยหลายคนพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน ประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความชื้น อินทรีย์วัตถุ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ความพรุนของดิน การหายใจของรากพืช และชนิดของพืชพันธุ์ (Weber, 1990; Johnson, 1993; Mielnick and Dugas, 1999; Maier and Kress, 2000; Schlesinger and Andrew, 2000) มีรายละเอียดดังนี้

1. อุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิดิน

Kimmins (1987) กล่าวว่าผลกระทบของอุณหภูมิอากาศต่อพืช ปรากฏให้เห็นได้หลายประการด้วยกันและอาจแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 กลุ่มด้วยกัน คือ 1) ผลกระทบต่อการเติบโตและการพัฒนา 2) ผลกระทบในด้านการทำลาย และ 3) ผลกระทบที่ก่อให้เกิดการปรับตัวเปลี่ยนแปลงรูปร่างและระบบสรีระ ส่วนอุทิส (2542) กล่าวว่าอุณหภูมิมีความสำคัญต่อการเติบโตและการพัฒนาแตกต่างกันไปตามชนิดพันธุ์ ซึ่งพืชในเขตหนาวและเขตอบอุ่นต้องการอุณหภูมิในการเติบโตและการพัฒนาต่ำกว่าพืชในเขตร้อน

อุณหภูมิดินเป็นคุณสมบัติที่บ่งบอกถึงความร้อนของดินซึ่งส่วนใหญ่รับพลังงานมาจากดวงอาทิตย์ทั้งโดยตรงและโดยอ้อม ดินสะสมและเก็บพลังงานไว้ในรูปความร้อนในดินซึ่งจะวัดระดับได้โดยอุณหภูมิดิน อุณหภูมิในช่วงที่พืชเติบโตได้เรียกว่าอุณหภูมิคาร์ดินัล (cardinal temperature) ซึ่งช่วงอุณหภูมิคาร์ดินัลของพืชในเขตร้อนโดยทั่วไปมีค่าอยู่ระหว่าง 15-40 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่พืชมีการเติบโตได้ดีที่สุดเรียกว่า optimum temperature มีค่าอยู่ประมาณ 30 องศาเซลเซียส (อุทิส, 2542) นอกจากนี้อุณหภูมิดินยังมีความสำคัญในการกำหนดอัตราและทิศทางของการเกิดกระบวนการทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพในดิน กระบวนการที่สำคัญทางฟิสิกส์ ได้แก่ การแลกเปลี่ยนมวลและพลังงานระหว่างชั้นหน้าตัดดินและบรรยากาศ มวลต่าง ๆ ที่มีการแลกเปลี่ยนระหว่างดินและบรรยากาศเช่น ก๊าซต่าง ๆ ที่มีอยู่ในหน้าตัดดิน ส่วนพลังงานคือความร้อน สำหรับกระบวนการทางเคมีที่ขึ้นกับอุณหภูมิดิน ได้แก่ กระบวนการแตกตัว (chemical speciation) และการรวมตัวของสารเคมีในดิน (chemical complex or compound formation) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดินจะทำให้สมดุลทางเคมีเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ทำให้เกิดสมดุลทางเคมีใหม่ ซึ่งแน่นอนย่อมส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณของสารเคมีใน

แต่ละรูปที่มีอยู่ในดิน ส่วนกระบวนการทางชีวภาพที่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิดินได้แก่ กระบวนการเปลี่ยนรูปของสารเคมีโดยจุลินทรีย์ในดิน การเปลี่ยนรูปธาตุอาหารพืชจากรูปหนึ่งไป เป็นอีกรูปหนึ่ง หรือเปลี่ยนแปลงสถานะของสารเคมีจากสถานะหนึ่งไปเป็นอีกสถานะหนึ่ง อุณหภูมิดินยังมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์และรากพืช กล่าวคือจุลินทรีย์ในดินจะมีช่วง อุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมในช่วงหนึ่ง ๆ เท่านั้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดิน อาจทำให้ความเหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินและกิจกรรมของรากพืชอาจ แปรเปลี่ยนไป อีกทั้งการงอกของเมล็ดพืชและการเติบโตของพืชมีความสัมพันธ์อย่างมากกับ อุณหภูมิดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) นอกจากนี้จากการศึกษาของ Holland *et al.* (1995) พบความสัมพันธ์กันในทางบวก ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์จาก ดินกับอุณหภูมิดินของป่าในเขตอบอุ่น

2. ความชื้นในอากาศและความชื้นในดิน

โดยปกติความชื้นในอากาศมีผลโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิต ปัจจัยสำคัญคือปริมาณไอน้ำ ที่มีอยู่ในอากาศผสมผสานอยู่กับก๊าซอื่น ๆ เป็นแหล่งน้ำสำคัญที่ก่อให้เกิดฝนและน้ำจากฟ้าใน รูปแบบอื่น ๆ เป็นแหล่งสะสมพลังงานสำคัญที่ก่อให้เกิดลมและความร้อนในโลก โดยทั่วไป การกระจายของสังคมพืชส่วนหนึ่งขึ้นกับความชื้นในอากาศ ปริมาณความชื้นในอากาศส่วนใหญ่ ได้มาจากการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำและดิน และการคายน้ำของพืช โดยที่ความชื้นในอากาศ มีการเปลี่ยนแปลงและเปลี่ยนรูปตลอดเวลา ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศต่อหน่วยของอากาศคิด เป็นน้ำหนักของไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอากาศ เช่น กรัมต่อลูกบาศก์เมตรเรียกว่า ความชื้น สุทธิ (อุทิศ, 2542)

การวัดปริมาณความชื้นอากาศโดยทั่วไปนิยมวัดออกมาในรูปของ ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นอัตราส่วนในรูปร้อยละของปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณความชื้นที่อากาศ นั้นสามารถรับได้ในอุณหภูมิและความกดอากาศนั้น ปกติความชื้นสัมพัทธ์เปลี่ยนแปลงได้รวดเร็ว มาก ทั้งนี้เนื่องจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ขึ้นกับความชื้นสุทธิและอุณหภูมิของอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลง ได้ตลอดเวลา ในสภาพที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดน้อยลง (วิชา, 2535)

อิทธิพลของความชื้นในอากาศต่อสิ่งมีชีวิตนับว่าสำคัญมาก สังคมหลายชนิดถูกควบคุม โดยความชื้นในอากาศเป็นสำคัญ เช่นป่าผลัดใบของเขตร้อนจะผลัดทิ้งใบหมดเมื่อความชื้นใน

อากาศต่ำมาก ๆ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อในบรรยากาศมีไอน้ำอยู่น้อยจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความชื้นในใบกับในอากาศอย่างมาก ทำให้เกิดการคายน้ำอย่างรุนแรงขึ้นได้ ฉะนั้นพืชหลายชนิดจึงผลัดใบในช่วงนี้ สำหรับพื้นที่ที่มีความชื้นสูงตลอดปี เช่นบนภูเขาสูงที่มีเมฆและหมอกปกคลุมเกือบตลอดเวลา พืชที่ชอบความชื้นมาก ๆ เช่น มอสส์ชนิดต่าง ๆ ก็จะปรากฏขึ้นปกคลุมอยู่ตามต้นไม้อย่างหนาแน่นโดยเฉพาะในป่าดิบเขาที่ระดับสูง หรือกล้วยไม้หลายชนิดพบอยู่ในเฉพาะป่าดิบชื้นที่มีความชื้นค่อนข้างสูงเท่านั้น (อุทิศ, 2542)

นิวัตติ (2514) ให้ความหมายของความชื้นในดิน หมายถึง น้ำที่อยู่ในช่องว่างภายในดิน สำหรับความชื้นในดินตามความหมายของ คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา (2536) หมายถึง เฉพาะความชื้นที่อยู่ในรูปของของเหลวซึ่งเรียกว่า “น้ำในดิน” โดยเป็นส่วนที่มีบทบาทต่อการเติบโตของพืชเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับส่วนที่อยู่ในรูปของไอน้ำ สำหรับ วิชา (2535) ได้แบ่งน้ำในดินออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นน้ำที่อยู่ในลักษณะที่ถูกดินดูดซับเอาไว้ เรียกว่าความชื้นในดิน (soil moisture) น้ำส่วนนี้ส่วนใหญ่จะถูกเก็บกักไว้ด้วยแรงดึงดูดของเม็ดดิน น้ำส่วนที่เกินความสามารถของดินที่จะถูกดูดซับเอาไว้ได้ ซึ่งเรียกว่า gravitational water น้ำส่วนนี้จะซึมผ่านชั้นดินต่าง ๆ สู่ระดับน้ำใต้ดิน (water table) ส่วนที่สองซึ่งเป็นน้ำที่ถูกเก็บกักเอาไว้ในดินในรูปของน้ำใต้ดิน (ground water) น้ำส่วนนี้มีศักยภาพในการไหลออกสู่แหล่งน้ำลำธารด้วยแรงดึงดูดของโลก

จากการศึกษาผลกระทบของความชื้นในดินต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินโดย Raich and Potter (1995) ซึ่งแบ่งความชื้นดินเป็น 3 ระดับ พบว่า 1) เมื่อดินมีความชื้นน้อยหรือค่อนข้างจะแห้ง กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินจะสัมพันธ์กับความชื้นที่เพิ่มขึ้น 2) เมื่อดินมีความชื้นอยู่ในช่วง 50-80 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่มีได้ทั้งหมดในดิน จุลินทรีย์ในดินจะสามารถทำกิจกรรมได้ดี 3) เมื่อดินเปียกหรืออิมตัวไปด้วยน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ขาดแคลนจะเป็นตัวยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน นอกจากนี้ Rochette *et al.* (1999) พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินจะเพิ่มขึ้นถึง 9 เท่า เมื่อทำการวัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินภายหลังฝนตกลง 3 ชั่วโมงและดินนั้นผ่านช่วงฤดูแล้งมาแล้ว

3. อินทรีย์วัตถุ

อินทรีย์วัตถุในดินเป็นองค์ประกอบสำคัญของดินที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อสมบัติต่าง ๆ ของดินทั้งทางเคมี ฟิสิกส์และชีวภาพ อันส่งผลกระทบต่อเนื่องไปถึงระดับความสมบูรณ์ของดิน

ความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน โดยทั่วไปอินทรีย์วัตถุในดินมีสีน้ำตาลเข้มไปจนถึงดำ ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมักมีสีคล้ำ อินทรีย์วัตถุในดินยังมีความสามารถในการดูดน้ำไว้ได้ในปริมาณมาก คือประมาณ 6-20 เท่าของน้ำหนัก ทั้งนี้เนื่องจากอินทรีย์วัตถุมีอนุภาคขนาดเล็ก จึงมีพื้นที่ผิวในการดูดซับน้ำเอาไว้ได้มาก และอนุภาคของอินทรีย์วัตถุยังประกอบกันเป็น โครงสร้างที่มีลักษณะคล้าย ฟองน้ำ มีช่องว่างขนาดเล็กที่มีความสามารถในการดูดซับน้ำได้เป็นจำนวนมาก การเติมอินทรีย์วัตถุให้กับดินทรายหรือดินที่มีเนื้อหยาบ จึงช่วยเพิ่มความสามารถในการเก็บกักน้ำของดินชนิดนี้ได้ นอกจากนี้อินทรีย์วัตถุในดินยังเป็นแหล่งอาหารและพลังงานสำคัญที่สุดสำหรับจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) จากการศึกษาของ Bazzaz and Williams (1991) พบว่าพื้นที่ที่มีอินทรีย์วัตถุมาก จะมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์จากดิน จำนวนจุลินทรีย์ในดิน และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน มากกว่าพื้นที่ที่มีอินทรีย์วัตถุน้อยกว่า

การที่ดินแต่ละแห่งมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากน้อยแตกต่างกัน เช่นดินในเขตทุ่งหญ้ามักจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินมากกว่าในเขตป่าไม้ เพราะมีปริมาณเศษซากพืชคลุมเคล้าลงในดินมีปริมาณที่มากกว่า หรือดินที่ใช้ในการเกษตรเป็นเวลานาน ๆ มักมีระดับของอินทรีย์วัตถุอยู่ในระดับต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในแต่ละพื้นที่ถูกกำหนดโดยปัจจัยต่าง ๆ หลายประการ ซึ่งประกอบไปด้วย ชนิดและปริมาณของพืชพันธุ์ที่ปกคลุมดิน สภาพภูมิอากาศ และสมบัติของดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

4. จุลินทรีย์ในดิน

สิ่งมีชีวิตที่มีบทบาทในการทำให้เกิดกระบวนการ หรือกิจกรรมที่มีอิทธิพลต่อการเติบโตของพืชมากที่สุด ได้แก่ จุลินทรีย์ในดิน ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตเล็กมากที่อาศัยอยู่ทั่วทุกตารางนิ้วของชั้นดินที่รากพืชอาศัย หากจำแนกกลุ่มจุลินทรีย์ออกตามชนิดของสารอาหารแล้ว สิ่งมีชีวิตเหล่านี้อาจแบ่งออกได้เพียง 2 พวกคือ พวก heterotrophic กับพวก autotrophic (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

พวก heterotrophic ซึ่งเป็นกลุ่มที่ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งอาหาร เป็นพวกที่มีปริมาณมากที่สุดและมีความสำคัญในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดินหรือกิจกรรมอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้อินทรีย์วัตถุเป็นอาหารและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ออกมา พวกที่สอง คือ autotrophic เป็นพวกที่ใช้ก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ เป็นแหล่งอาหารเพื่อสังเคราะห์

สารอินทรีย์มาสร้างเป็นองค์ประกอบของเซลล์ จุลินทรีย์พวกนี้ส่วนใหญ่ไม่สามารถใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารและจะได้พลังงานจากแสงหรือจากการออกซิเดชัน (oxidation) สารอินทรีย์มาใช้ในการดำรงชีวิต จึงเป็นพวกที่มีบทบาทเกี่ยวข้องอยู่กับการเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน หากแบ่งชนิดของจุลินทรีย์ตามระบบการจำแนกสิ่งมีชีวิตก็อาจแบ่งออกได้เป็น แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีท (actinomycetes) เชื้อรา สาหร่าย และ โปรโตซัว ดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

4.1 แบคทีเรีย (bacteria)

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ขนาดเล็ก มีจำนวนมากที่สุดในดิน โดยทั่วไปพบในช่วงประมาณ 10^8 - 10^{10} เซลล์ ต่อดิน 1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) จึงจัดเป็นจุลินทรีย์ที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงมาก มีทั้งพวกที่ไม่เคลื่อนที่และพวกที่เคลื่อนที่โดยอาศัย flagella โดยส่วนใหญ่แบคทีเรียมักเกาะยึดติดอยู่บนอนุภาคต่าง ๆ ในดิน และเติบโตเป็น โคลนีเล็ก ๆ มีจำนวนไม่กี่ปีกว่าเซลล์มากกว่าการอยู่อย่างอิสระในสารละลายดิน การเคลื่อนที่หรือการอยู่อาศัย จะใช้น้ำ ซึ่งมักเป็นฟิล์มบาง ๆ เคลือบอยู่บนผิวอนุภาค หรือบรรจุอยู่ในช่องในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์กลุ่มใหญ่ มีลักษณะที่ค่อนข้างแตกต่างไปจากจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ คือมีความหลากหลายในรูปแบบของการดำรงชีวิตสูง อาทิ หลายชนิดสามารถดำรงชีพแบบ photoautotrophic คือทำการสังเคราะห์แสงคล้ายพืชบางชนิดสังเคราะห์สารอินทรีย์จากก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ โดยกระบวนการที่คล้ายการสังเคราะห์แสงแต่ใช้พลังงานจากการออกซิไดส์สารอนินทรีย์แทน (chemoautotrophic) บางชนิดก็สามารถเติบโตในสภาพแวดล้อมที่ปราศจากออกซิเจนได้ (anaerobe) หรือบางชนิดก็สามารถทนทานต่อ pH ของดินที่เป็นกรดจัดได้ถึง 1 ซึ่งต่ำกว่าเกินกว่าที่สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ จะสามารถเติบโตได้ตามปกติ อย่างไรก็ตาม โดยภาพรวมแล้วแบคทีเรียส่วนใหญ่ในดินเป็นพวก heterotrophic ที่ดำรงชีพด้วยการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์เป็นอาหาร แบคทีเรียจึงเป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุในดิน สำหรับแบคทีเรียพวก chemoautotrophic แม้มีอยู่ในปริมาณไม่มากเหมือนพวกแรก แต่ก็เป็กลุ่มที่พบได้ทั่วไปและมีบทบาทสำคัญมากในการออกซิไดส์สารอนินทรีย์ในดิน แบคทีเรียโดยทั่วไปเติบโตได้ดีในสภาพ pH ที่ค่อนข้างเป็นกลางอยู่ในช่วงประมาณ 6-8 และไม่ชอบ pH ต่ำกว่า 5.5 การที่แบคทีเรียมีเซลล์ขนาดเล็ก จำนวนมาก และเติบโตได้รวดเร็วเมื่อปัจจัยต่าง ๆ เหมาะสม รวมทั้งมีความหลากหลายในการดำรงชีพสูง ส่งผลให้แบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่ประสบความสำเร็จในการ

ดำรงชีวิตอยู่รอดและเข้าไปมีบทบาทสำคัญในกิจกรรมต่าง ๆ แทบทุกสภาพแวดล้อม (คณาจารย์
ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

4.2 แอกทิโนไมซีท (actinomycetes)

เป็นจุลินทรีย์อีกพวกหนึ่งที่พบปริมาณมากในดิน จัดเป็นพวกแบคทีเรียเพราะ
มีผนังเซลล์และองค์ประกอบของเซลล์ ตลอดจนขนาดที่เหมือนกับแบคทีเรียทั่วไปในดินคือมีขนาด
เส้นผ่าศูนย์กลางของเซลล์อยู่ในช่วงประมาณ 0.05-2 ไมโครเมตร แต่มีลักษณะรูปร่างยืดยาวเป็น
เส้นใยคล้ายเชื้อรา เพียงแต่มีขนาดเล็กและสั้นกว่ามาก คือ มีความยาวเพียงแค่ประมาณ 10-15
ไมโครเมตรเท่านั้น แอกทิโนไมซีทสามารถสร้างสปอร์เพื่อแพร่ขยายพันธุ์ได้คล้ายเชื้อราแต่เป็น
สปอร์ที่ไม่ทนทานต่อสภาพแวดล้อม การที่แอกทิโนไมซีทมีการเติบโตด้านปลายของเส้นใยและ
แตกแขนงแบบเชื้อรา ทำให้จุลินทรีย์ชนิดนี้มีอัตราการเติบโตเพิ่มปริมาณช้ากว่าแบคทีเรียธรรมดาที่
แบ่งเซลล์แบบ binary fission มาก แอกทิโนไมซีทเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการออกซิเจนในการหายใจ
(aerobe) จึงไม่ทนต่อภาวะน้ำขังหรือขาดอากาศของดิน ส่วนใหญ่เจริญอย่างอิสระในดิน โดยใช้
อินทรีย์วัตถุเป็นอาหาร บางชนิดสามารถทำให้เกิดโรคกับพืช สัตว์ หรือคนได้ แต่ก็มีปริมาณน้อย
ในดิน บางชนิดสามารถทำให้เกิดปมรากกับพืชแล้วตรึงไนโตรเจน (N_2 fixation) จากอากาศได้
แอกทิโนไมซีทเจริญเติบโตได้ดีในดินที่มี pH ต่ำกว่า 5 เนื่องจากแอกทิโนไมซีทเติบโตได้ช้ากว่า
แบคทีเรียและเชื้อราส่วนใหญ่ในดิน จุลินทรีย์ชนิดนี้จึงพัฒนาวิธีการเพื่อการอยู่รอดให้สามารถ
แข่งขันกับจุลินทรีย์อื่น ๆ ในระบบนิเวศ โดยการปรับตัวให้สามารถใช้อินทรีย์วัตถุที่มีโครงสร้าง
ซับซ้อนที่ย่อยสลายยากได้หลายชนิด เช่น ไคติน (chitin) หรือ เซลลูโลส (cellulose) นอกจากนี้ยัง
พัฒนาความสามารถสร้างสารปฏิชีวนะขึ้นมาเป็นพิเศษเพื่อยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์อื่นที่มา
แก่งแย่งทรัพยากรต่าง ๆ ที่ขาดแคลนในดิน รวมทั้งปรับตัวให้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่
ไม่เหมาะสมได้ดี เช่นสภาวะแห้งแล้งในดิน ค่า pH ที่ค่อนข้างเป็นกรดหรือด่าง หรือสภาพอุณหภูมิ
สูงในดิน เป็นต้น ดังนั้นจึงมักพบเสมอว่าดินโดยทั่วไปมีแอกทิโนไมซีทในจำนวนรองลงมาจาก
แบคทีเรีย คืออยู่ในช่วงประมาณ 10^7 - 10^8 หน่วยขยายพันธุ์ (colony forming unit) ต่อดินแห้ง 1 กรัม
(คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

4.3 เชื้อรา (fungi)

เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่มีรูปร่างเป็นเส้นใย เติบโตโดยการยืดยาวและแตกแขนงของเส้นใยเป็นหลัก สามารถสร้างสปอร์ได้ ปริมาณเชื้อราในดินโดยทั่วไปที่นับโดยการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อพบว่ามีความหนาแน่นของสปอร์มาจากแบคทีเรียและแอกทิโนไมซีต เชื้อราที่อาศัยอยู่ในดินมีเส้นใยที่หลากหลาย ส่วนใหญ่เติบโตในรูปของเส้นใย (hypha) บางชนิดเช่น ยีสต์ (yeast) เจริญเป็นเซลล์เดี่ยว ทรงกลม ขยายพันธุ์โดยการแตกหน่อ (budding) บางพวกสามารถเจริญขึ้นมาเป็นดอกเห็ด (mushroom)

เชื้อราเป็นพวก aerobic heterotrophic คือ ใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารและต้องการออกซิเจน ในการหายใจ ส่วนใหญ่กินเศษซากอินทรีย์วัตถุในดินเป็นอาหาร แต่ก็มีจำนวนไม่น้อยที่สามารถก่อให้เกิดโรคกับพืช บางชนิดก็ก่อให้เกิดโรคกับคนหรือสัตว์ และบางชนิดก็มีภาวะอยู่ร่วมกัน (symbiosis) กับสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ เช่น mycorrhiza (เชื้อรา-รากพืชชั้นสูง) และ lichen (เชื้อรา-สาหร่าย) เป็นต้น เชื้อราในดินมักได้เปรียบแบคทีเรียและแอกทิโนไมซีตในแง่ของการเติบโตเพราะมีเส้นใยขนาดใหญ่ที่เติบโตได้รวดเร็ว แม้ว่าอัตราการเพิ่มจำนวนอาจไม่สูงเหมือนกับการเพิ่มจำนวนแบบทวีคูณของแบคทีเรีย แต่การเจริญโดยการยืดยาวและแตกแขนงของเส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่าเอื้ออำนวยต่อการแผ่ขยายของเส้นใยไปสู่แหล่งอาหารใหม่ได้รวดเร็ว สามารถยืดยาวข้ามช่องในดิน และแทรกตัวเข้าไปในชิ้นส่วนอินทรีย์วัตถุได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปเชื้อราจะมีปริมาณมากและดำเนินกิจกรรมอย่างแข็งขันในดินบริเวณใกล้ๆ รากพืช แต่ในดินนอกบริเวณรากที่ไม่ได้รับสารอาหารใหม่ ๆ เพิ่มเติม เชื้อรามักเจริญอยู่ในระดับต่ำหรืออยู่ในลักษณะพักตัว เชื้อราโดยทั่วไปเจริญได้ดีในช่วง pH เป็นกลาง แต่ก็มีลักษณะเด่นที่มีความสามารถทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดได้ดีกว่าจุลินทรีย์อื่น ๆ pH ที่เชื้อราส่วนใหญ่เติบโตได้อยู่ในช่วง 4-8 เชื้อราจึงมีบทบาทมากในดินกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ pH ต่ำกว่า 5 ซึ่งแบคทีเรียและแอกทิโนไมซีตส่วนใหญ่จะชะงักการเติบโต เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการความชื้นค่อนข้างสูงในการเติบโต โดยทั่วไประดับความชื้นสัมพัทธ์ที่ 95-100 เปอร์เซ็นต์ จะเป็นช่วงที่เชื้อราเจริญได้ดีมาก แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ การเจริญของเชื้อราส่วนใหญ่จะชะงักลง อย่างไรก็ตาม เชื้อราไม่ทนต่อสภาพขาดแคลนออกซิเจน เช่นเดียวกับแอกทิโนไมซีต ดังนั้นในดินที่มีน้ำท่วมขัง กิจกรรมการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจึงเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียเป็นส่วนใหญ่ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

บทบาทของเชื้อราในดินส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ ร่วมกับแบคทีเรีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีเชื้อราหลายชนิดที่ย่อยสลายวัสดุที่ย่อยยากพวกลิกนินและ สารฮิวมิกได้ดี นอกจากนี้กิจกรรมของเชื้อรายังเกี่ยวข้องอยู่กับการส่งเสริมการเกิด โครงสร้างของดิน การเกิด mycorrhiza ในพืช และการเป็นเชื้อโรครพืชที่สำคัญหลายชนิด (คณาจารย์ภาควิชา ปลูกพืชวิทยา, 2541)

4.4 จุลินทรีย์อื่นๆ

เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ประกอบไปด้วย สาหร่าย (algae) สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue-green algae) สาหร่ายสีเขียวแกมเหลือง (yellow-green algae) และไดอะตอม (diatoms) โดยทั่วไปมีบทบาทไม่มากเหมือนกับจุลินทรีย์ 3 พวกแรกที่กล่าวมาแล้วข้างต้น อย่างไรก็ตาม แต่ละชนิดก็มีบทบาทบางประการที่น่าสนใจดังนี้ (คณาจารย์ภาควิชาปลูกพืชวิทยา, 2541)

สาหร่ายในดิน ที่พบมากได้แก่พวก สาหร่ายสีเขียว (green algae) สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (blue-green algae) สาหร่ายสีเขียวแกมเหลือง (yellow-green algae) และไดอะตอม (diatoms) สาหร่ายเหล่านี้ดำรงชีพโดยการสังเคราะห์แสง (photoautotrophic) จึงมีบทบาทมากในบริเวณผิวดินหรือน้ำบนผิวดินที่มีแสงพอเพียง เป็นจุลินทรีย์ที่เติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง เช่น ในนาข้าวที่มีน้ำขัง สาหร่ายที่เติบโตในดินส่วนใหญ่เป็นพวกเซลล์เดี่ยว หรือเป็นเส้น filament ขนาดเล็กเท่านั้น ปริมาณที่พบในดินขึ้นอยู่กับช่วง 10^3 - 10^6 หน่วยขยายพันธุ์ ต่อดินแห้ง 1 กรัม ดินในเขตร้อนชื้นมักพบสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวในปริมาณมากกว่าและมีความสำคัญในระบบนิเวศมากกว่าสาหร่ายชนิดอื่นๆ บทบาทโดยทั่วไปของสาหร่ายในดินได้แก่การเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดิน แม้ว่าจะเป็นปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับพืชชั้นสูง แต่ก็ช่วยส่งเสริมการเกิดโครงสร้างดินที่ดีขึ้นในบริเวณผิวดิน ทั้งนี้เนื่องจากสาหร่ายในดินมักมีความสามารถสร้างสารพอลิแซคคาไรด์ออกมานอกเซลล์ (extra cellular polysaccharides) ได้มาก จึงช่วยเสริมสร้างการเกิดเม็ดดินที่คงทนได้ดี พวกสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวหลายชนิดมีความสามารถพิเศษในการตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศได้เช่น Nostoc , Anabaena, Gloeotheca นับเป็นสมบัติสำคัญที่ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน (คณาจารย์ภาควิชาปลูกพืชวิทยา, 2541)

5. ความพรุนของดิน

ความพรุนของดินเป็นสมบัติดินซึ่งถูกควบคุมโดยปริมาตรและขนาดของช่องในดิน โดยที่ดินเนื้อหยาบที่มีความพรุนรวมต่ำ จะระบายน้ำและอากาศได้ดีแต่จะอุ้มน้ำไว้ได้น้อย ส่วนดินเนื้อละเอียดที่มีความพรุนรวมสูงจะระบายน้ำและอากาศได้เร็ว แต่จะอุ้มน้ำไว้ได้มาก ความสามารถส่งผ่านหรือระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศอาจรวมกันเรียกว่าสภาพการให้ซึมได้ (permeability) สภาพให้น้ำและอากาศซึมได้ของดินถูกควบคุมโดยตรงจากขนาดและความต่อเนื่องของช่องว่างในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

Johnson (1993) แนะนำว่าควรรวมปัจจัยความพรุนเข้าไปในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน และจากศึกษาของ Bouma and Bryla (2000) พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินจะลดลงหรือถูกชะลอให้ช้าลงในดินเนื้อละเอียดมากกว่าดินเนื้อหยาบเมื่อมีการเพิ่มความชื้นเข้าไปในดินอย่างต่อเนื่อง

6. การหายใจของรากพืช และชนิดของพืชพันธุ์

การหายใจของรากพืชเป็นปัจจัยที่ถูกพิจารณาว่าเป็นแหล่งที่มาของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยจากดิน จากข้อมูลที่มีการศึกษาและรายงานถึงอัตราส่วนระหว่างการหายใจของรากพืชกับปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินทั้งหมดพบว่า ที่ระบบนิเวศแบบ tundra ในแถบอาร์กติกมีค่าอยู่ระหว่าง 50-93 เปอร์เซ็นต์ (Raich and Tufekcioglu, 2000) ในป่าเขตอบอุ่นของประเทศญี่ปุ่น มีค่าอยู่ระหว่าง 40-50 เปอร์เซ็นต์ (Ohasi *et al.*, 2000) ในทุ่งหญ้าเบอร์มิวดา มีค่าอยู่ระหว่าง 17-60 เปอร์เซ็นต์ (Dugas, *et al.*, 1999) นอกจากนี้ชนิดของพืชพันธุ์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน เนื่องจากความแตกต่างของผลผลิต อัตราการหายใจ ปริมาณการร่วงหล่น ปริมาณรากพืชและความหนาแน่นของรากพืช และปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ

วิธีการวัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน

การวัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1. Alkali Trapping เป็นวิธีวัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน โดยการใช้สารละลายอัลคาไล เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวดูดจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากดินโดยใช้ฝาครอบปิดทิ้งไว้ โดยทั่วไปจะครอบทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำสารละลายดังกล่าวมา titrate เพื่อหาอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน (Kirita, 1971) มีวิธีการวัดอย่างง่าย ๆ โดยใช้ฝาครอบ 2 ชั้น ทั้งฝาครอบด้านในและด้านนอก บรรจุสารละลายที่ใช้ในการดูดจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ ฝาครอบทั้ง 2 ชั้นนี้ใช้ครอบไปบนผิวดินของพื้นที่ป่าแล้วกดลงเบา ๆ โดยไม่ต้องฝังลงไปดิน ซึ่งวิธีการนี้จะไม่ทำลายโครงสร้างของดินแต่อย่างใด ฝาครอบด้านนอกนั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร ฝาครอบด้านในมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สำหรับภาชนะที่บรรจุสารละลายนั้น ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร วางไว้ด้านในสุด 1 อัน ด้านนอก 4 อัน สารละลายที่ใช้คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ในฤดูร้อนจะใช้ความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มากกว่าในฤดูหนาวเนื่องจากป่าจะมีอัตราการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่า แล้ว titrate สารละลายที่ดูดจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อหาค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการ ดังนี้

$$F = \frac{C_{trap} - C_{blank}}{\Delta t_{abs} A} \quad (1)$$

เมื่อ F = ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินหน่วยเป็น มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/ชั่วโมง ($\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{h}$)
 C_{trap} = ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกดูดจับด้วยสารละลายอัลคาไล ต่อปริมาตร Chamber ที่ใช้วัด หน่วยเป็น มิลลิกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์/ลูกบาศก์เมตร (mgCO_2/m^3)

$$C_{blank} = \text{ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสารละลายอัลคาไลเริ่มต้น}$$

$$\text{ต่อปริมาตร Chamber ที่ใช้วัด หน่วยเป็น มิลลิกรัมก๊าซ}$$

$$\text{คาร์บอนไดออกไซด์/ลูกบาศก์เมตร (mgCO}_2\text{/m}^3\text{)}$$

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดของ Chamber ที่ใช้วัด หน่วยเป็นตารางเมตร (m}^2\text{)}$$

$$\Delta t = \text{ผลต่างของเวลาที่วัด หน่วยเป็นชั่วโมง (h)}$$

2. Close Dynamic Chamber Method (CDC) หรือบางครั้งเรียกว่า Close Chamber System เป็นการวัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน โดยใช้ Chamber ครอบไปบนผิวดินที่ต้องการวัดค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน โดยไม่รบกวนโครงสร้างของดิน ในขณะที่เดียวกันจะมีการดูดอากาศใน Chamber บางส่วนเพื่อผ่านไปที่เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Infrared CO₂ Gas Analyzer: IRGA) เพื่ออ่านค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น แล้วปล่อยวนกลับสู่ Chamber ดั้งเดิม ซึ่งระบบจะทำแบบนี้ตลอดช่วงของการวัด (Field *et al.*, 1989) สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการ ดังนี้

$$F = \frac{dC_i V}{dt A} \quad (2)$$

เมื่อ F = การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน หน่วยเป็น มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที (mgCO₂/m²/s)

V = ปริมาตรของ Chamber หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร (m³)

A = พื้นที่หน้าตัดของ Chamber หน่วยเป็น ตารางเมตร (m²)

$\frac{dC_i}{dt}$ = อัตราการเพิ่มขึ้นของมวล CO₂ ใน Chamber ต่อหน่วยเวลา หน่วยเป็น มิลลิกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์/ลูกบาศก์เมตร/วินาที (mgCO₂/m³/s)

ซึ่งเครื่องมือใช้วัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินส่วนใหญ่ที่มีจำหน่ายในปัจจุบันใช้หลักการของ Close Dynamic Chamber Method นี้ในการวัด

3. Open Dynamic Chamber Method (ODC) เป็นการวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน ด้วยหลักการที่ต้องมีการวัดค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จาก

2 จุด จุดหนึ่งได้มาจากอากาศที่ไหลเข้า Chamber อีกจุดได้มาจากอากาศที่ไหลออกจาก Chamber โดยกำหนดให้อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้าและไหลออก Chamber ต้องเท่ากันไม่เช่นนั้นค่าที่วัดได้จะผิดพลาด ซึ่งด้วยหลักการนี้ทำให้สามารถวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินได้อย่างต่อเนื่อง (Fang and Moncrieff, 1996) สามารถเขียนอยู่ในรูปสมการ ดังนี้

$$F = \frac{u_o c_o - u_e c_e}{A} \quad (3)$$

เมื่อ F = ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน หน่วยเป็น มิลลิกรัม คาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที ($\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)
 c_o = ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลออกจาก Chamber หน่วยเป็น มิลลิกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์/ลูกบาศก์เมตร (mgCO_2/m^3)
 u_o = อัตราการไหลของอากาศที่ไหลออกจาก Chamber หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที (m^3/s)
 c_e = ค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ไหลเข้า Chamber หน่วยเป็น มิลลิกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์/ลูกบาศก์เมตร (mgCO_2/m^3)
 u_e = อัตราการไหลของอากาศที่ไหลเข้า Chamber หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที (m^3/s)
 A = พื้นที่หน้าตัดของ Chamber ที่ใช้วัด หน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

4. Gas Chromatography (GC) method เป็นวิธีวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินที่มีหลักการวัดเหมือนกับ Close Dynamic Chamber Method โดยที่ Close Dynamic Chamber Method สามารถวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในสนามได้ทันที แต่ Gas Chromatography method จำเป็นต้องเก็บตัวอย่างอากาศใน Chamber ของแต่ละช่วงเวลามาวิเคราะห์หาความเข้มข้นในห้องปฏิบัติการ แล้วไปคำนวณค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในภายหลัง นอกนี้ GC method ยังสามารถนำไปวัดการปลดปล่อยก๊าซอื่นที่มีความเข้มข้นน้อย ๆ ได้ เช่น มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เป็นต้น (Bekku *et al.*, 1995)

วิธีการหาความชื้นในดิน

จากรายงานของนักวิจัยหลายคนพบว่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน มีความสัมพันธ์กับความชื้นในดิน โดยเฉพาะบริเวณป่าฝนเขตร้อน แต่เนื่องจากการหาความชื้นในดิน มีหลายวิธี ทั้งวิธีทางตรงและทางอ้อม การวัดระดับความชื้นในดินทางตรง คือ วิธีวัดโดยน้ำหนัก (gravimetric method) ส่วนการวัดทางอ้อม ได้แก่ การอ่านค่าจากเครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งการวัดระดับความชื้นทางอ้อมจะกระทำได้รวดเร็วกว่า วิธีการหาความชื้นในดินสามารถสรุปได้ดังนี้

1. วิธีวัดโดยการชั่งน้ำหนัก (gravimetric method) เป็นการวัดความชื้นในดินโดยตรง ประกอบด้วย การเก็บตัวอย่างดินตรงตำแหน่งและเวลาที่ต้องการ ใส่ตัวอย่างดินที่เก็บในกระป๋องความชื้น (moisture can) ซึ่งปิดฝาสนิทเพื่อป้องกันการระเหยน้ำ นำมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำเข้าตู้อบที่ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง น้ำหนักของน้ำที่หายไปต่อน้ำหนักดินแห้งคูณด้วย 100 จะเป็นค่าความชื้นของดินโดยน้ำหนัก (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; Donahue *et al.*, 1971) แต่การหาค่าความชื้นในดิน โดยวิธีนี้จะไม่สะดวกในกรณีที่ต้องการหาค่าความชื้นในดินบริเวณนั้นอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ เนื่องจากจะต้องทำการขุดหรือเจาะดิน ตัวอย่างขึ้นมาทุกครั้งที่ทำการศึกษา ซึ่งจะทำให้พื้นที่บริเวณที่ทำการเก็บข้อมูลเกิดความเสียหาย ต้องใช้แรงงานและเวลาในการเก็บข้อมูลมาก (นิพนธ์, 2542; Hillel, 1998) การหาความชื้นด้วยวิธีนี้จึงควรใช้กับพื้นที่แปลงตัวอย่างขนาดเล็ก ๆ และใช้ตรวจสอบกับวิธีอื่นมากกว่า (นิวัติ, 2514) แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ก็ใช้กันโดยทั่วไป เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายในการสังเกต (นิพนธ์, 2542) และไม่ต้องใช้เครื่องมือราคาแพง

2. การใช้เทนซิโอมิเตอร์ (tensiometer) เทนซิโอมิเตอร์ ออกแบบไว้สำหรับวัดแรงดึงศักย์วัสดุพื้น (metric suction) ของน้ำในดิน แต่เนื่องจากแรงดึงศักย์วัสดุพื้น ผันแปร โดยตรงกับระดับความชื้น จึงสามารถคัดแปลงเทนซิโอมิเตอร์มาใช้วัดความชื้นได้ ค่าที่อ่านได้จากการใช้เทนซิโอมิเตอร์ไม่ใช่ความชื้นในดิน จึงมีความจำเป็นต้องสร้างเส้นโค้งเปลี่ยนค่ามาก่อนนำเครื่องไปใช้ การสร้างเส้นโค้งเปลี่ยนค่าทำได้โดยเตรียมตัวอย่างดินให้มีระดับความชื้นที่ทราบค่าแน่นอนต่าง ๆ กัน แล้วฝังเทนซิโอมิเตอร์ลงไปอ่านค่าจากเครื่องมือที่ถึงสมดุล ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง แล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อ่านได้กับระดับความชื้นในดิน (calibration curve) แต่เทนซิโอมิเตอร์จะใช้ได้ผลไม่ดีนักเมื่อดินมีความชื้นน้อยมาก ๆ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541)

3. การใช้แท่งวัดความต้านทาน (electric resistance block) ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว และมีสายไฟฟ้าเชื่อมต่อออกมาจากภายนอก โดยแท่งวัสดุพอร์ซเลนจะเป็นพวกอีพ็อกซี ไฟเบอร์กลาส ไนลอน หรือเทปลอน และมีมิเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้า ได้แก่ Bouyoucos (Hassett and Banwart, 1992) การวัดความชื้น โดยวิธีนี้ต้องสร้างเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับค่าความต้านทานที่อ่านได้จากการวัด (นิวัตติ, 2514) เส้นโค้งที่สร้างขึ้นมาสำหรับดินหนึ่งควรใช้เฉพาะกับดินนั้นเท่านั้น ถ้าเปลี่ยนชนิดของดินก็ควรสร้างเส้นโค้งขึ้นมาใหม่เพราะลักษณะเฉพาะตัวของความชื้นของดินรวมทั้งปริมาณเกลือในดินแต่ละแห่งจะไม่เหมือนกัน แม้แต่ใช้วัดในดินที่เดียวกัน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) แท่งวัสดุพอร์ซเลนเหมาะกับการใช้งานเมื่อดินมีระดับความชื้นในดินระหว่างจุดเหี่ยวถาวร (permanent wilting point) และจุดซึ่งต่ำกว่าความจุสนาม (field capacity) เล็กน้อย ถ้าระดับความชื้นในดินมีค่าต่ำกว่าจุดเหี่ยว หรือใกล้เคียงกับความจุสนาม ความไวของเครื่องมือจะลดลง (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) การวัดความชื้นในดินโดยวิธีนี้จะวัดความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อการเติบโตของพืชมากกว่าจะทำการหาความชื้นในดินหรือปริมาณน้ำที่แท้จริง (นิวัตติ, 2514)

4. เครื่องวัดความชื้นในดินด้วยนิวตรอน (neutron moisture meter) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดระดับความชื้นโดยอาศัยหลักการชนระหว่างนิวตรอนความเร็วสูง นิวตรอนความเร็วสูงจะถ่ายทอดพลังงานให้ไฮโดรเจนอะตอม แล้วเปลี่ยนเป็นนิวตรอนความเร็วต่ำ จำนวนของนิวตรอนจึงผันแปรโดยตรงกับระดับความชื้นในดิน (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2536; Kramer, 1978) ค่าที่ได้จากเครื่องไม่ใช่ค่าความชื้นในดิน จึงทำให้ต้องมีการสร้างเส้นโค้งเปลี่ยนค่าสำหรับดินชนิดนั้นขึ้นมาเสียก่อน สำหรับปัจจุบันเครื่องมือบางเครื่องก็จะมีหน่วยประเมินผลอยู่ภายใน จึงทำให้สามารถรู้ค่าความชื้นได้ทันทีเมื่อนับจำนวนนิวตรอนความเร็วต่ำเสร็จ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) การวัดความชื้นด้วยนิวตรอนเป็นการวัดที่สะดวกในการวัดภาคสนาม สามารถวัดได้หลายแห่งโดยสภาพดินไม่เสียหาย (นิวัตติ, 2514; คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; Kramer, 1978) ปราศจากการเสี่ยงทางด้านข้อมูล แต่ทั้งนี้การวัดด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะต่อการวัดความชื้นตรงผิวดิน เพราะให้ค่าที่คลาดเคลื่อนได้ รวมทั้งผู้ใช้อาจได้รับอันตรายจากรังสีนิวตรอน หากขาดมาตรการป้องกันที่ดี (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541; นิพนธ์, 2542) และเมื่อเปรียบเทียบด้านราคา พบว่าวิธีการวัดความชื้นด้วยนิวตรอนมีราคาสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวัดด้วยเทนซิโอมิเตอร์และแท่งวัดความต้านทาน (Hassett and Banwart, 1992)

5. เครื่องวัดความชื้นในดินแบบ TDR (Time Domain Reflectometry) เป็นเครื่องวัดความชื้นในดินที่มีการทำงานโดยใช้วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของโมเลกุลน้ำเพื่อใช้ประมาณความชื้นในดิน อุปกรณ์ในการวัดความชื้นของ TDR ประกอบด้วย Pulsar, Sampling Receiver, Timing และ Display unit การทำงานจะมีการแพร่ของกระแสไฟฟ้าไปสู่ดินและมีการย้อนกลับมายังส่วนปลายของสายส่ง เทคนิคในการวัดของ TDR คือการวัดความเร็วของการแพร่สัญญาณที่มีสัญญาณความถี่สูง โดยความเร็วของการแพร่จะลดลงในวัตถุที่มี dielectric constant ที่สูงกว่า สำหรับค่า dielectric constant ของน้ำมีค่าประมาณ 80 องค์กรประกอบที่เป็นของแข็งในดินมีค่า dielectric constant อยู่ระหว่าง 2-7 และอากาศมีค่า dielectric constant เท่ากับ 1 (Topp, 1993) การวัดความชื้นในดินโดยใช้เครื่องวัดแบบ TDR เป็นที่นิยมใช้ในการวัดปริมาณน้ำในดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการศึกษาการใช้ น้ำของพืช เพราะค่าที่ได้เป็นสัดส่วนโดยปริมาตรของน้ำโดยตรงและสามารถฝังไว้ใต้ดินเพื่อทำการวัดในตำแหน่งเดิมได้อย่างต่อเนื่อง โดยมีการรบกวนดินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Topp *et al.*, 1980, 1985) สามารถวัดความชื้นในดินบริเวณใกล้ผิวดิน มีความเป็นอิสระกับชนิดดินและความเค็ม รวมทั้งยังสามารถใช้ได้กับคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง Topp *et al.* (1980, 1985) พบว่าค่า dielectric constant ยังมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดิน แต่ค่านี้จะไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของดิน ชนิดดิน ความหนาแน่นของดิน และปริมาณของเกลือในดิน

ป่าเบญจพรรณหรือป่าผสมผลัดใบ

ป่าเบญจพรรณหรือป่าผสมผลัดใบจัดอยู่ในประเภทหนึ่งของป่าผลัดใบ โดยพรรณไม้เกือบทุกชนิดมีการผลัดใบทั้งหมดเหลือเฉพาะกิ่งก้านในฤดูแล้งของปีเนื่องจากในช่วงฤดูแล้งพืชขาดแคลนน้ำจึงต้องทิ้งใบเพื่อลดการคายน้ำ มีอยู่ทั่วไปทางภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในภาคใต้ไม่ปรากฏว่ามีอยู่เลย ในภาคเหนือป่าชนิดนี้มีไม้สักขึ้นปะปนอยู่ทั่วไป ภาคกลางมีอยู่ทั่วไปซึ่งมีทั้งประเภทที่มีไม้สัก และไม่มีไม้สัก สำหรับในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีอยู่น้อย และมีเป็นหย่อมเล็ก ๆ และพบว่ามีไม้สักขึ้นอยู่บ้างที่จังหวัดขอนแก่น หนองคายและนครพนม (ปรีชา, 2539)

ป่าเบญจพรรณส่วนใหญ่มีไม้ไผ่ขึ้นผสมอยู่กับไม้ระดับรองอื่น ๆ ซึ่งโดยปกติไม้ไผ่จะผลัดใบในช่วงฤดูแล้ง ชนิดไม้ไผ่สำคัญที่ใช้เป็นไม้ดัชนีได้ส่วนหนึ่งคือ ไผ่ชางคอย (*Dendrocalamus membranaceus*) ไผ่ชาง (*Dendrocalamus strictus*) ไผ่หก (*Dendrocalamus hamiltonii*) ไผ่บง (*Bambusa nutans*) และไผ่บงดำ (*Bambusa tulda*) ไผ่ไร่ (*Gigantochloa*

albociliata) ไร่รวก (*Thyrsostachys siamensis*) และ ไร่ข้าวหลาม (*Cephalostachyum pergracile*) การจำแนกสังคมป่านี้จึงมักกระทำได้ชัดเจนทั้งจากการเดินสำรวจในฤดูแล้ง หรือจากภาพถ่ายทางอากาศ โดยเฉพาะในฤดูที่ใบไม้เปลี่ยนสีซึ่งใบไม้มักให้สีเหลืองอ่อน ขอบเขตของการกระจายของป่าชนิดนี้ในประเทศไทย ปรากฏตามธรรมชาติในภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคอีสาน ครอบคลุมต่ำลงไปถึงจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ตอนบน มีปรากฏที่ระดับความสูงตั้งแต่ 50 เมตรจากระดับน้ำทะเลขึ้นไปจนถึง 800 เมตร หรือมากกว่านี้ในบางจุด มีปริมาณน้ำฝนต่ำกว่า 1,600 มิลลิเมตรต่อปีหรือน้อยกว่านี้ ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1,200-1,400 มิลลิเมตรต่อปี การกระจายในแต่ละท้องถิ่นขึ้นอยู่กับความแปรผันของปัจจัยแวดล้อม ดังเช่นบนลาดเขาทางทิศตะวันตกของประเทศในภาคเหนือ มักพบที่ระดับความสูงต่ำกว่า 700 เมตรจากระดับน้ำทะเล แต่ด้านลาดทางทิศตะวันออกมักขึ้นไปสูงกว่านี้ บริเวณริมลำห้วยในบางพื้นที่ที่มีสภาพชื้นมากอาจพบป่าไม้ผลัดใบเป็นแถบเล็ก ๆ และเหนือขึ้นไปเป็นป่าเบญจพรรณที่มีไม้ไผ่ผสมอยู่ สูงขึ้นไปอีกอาจเป็นป่าเต็งรังหรือป่าเบญจพรรณระดับสูงแล้งแล้วแต่สภาพพื้นที่ ในบริเวณที่มีดินพัฒนามาจากหินปูน มีความลึกมาก ปริมาณหินบนผิวดินน้อย มักปกคลุมด้วยป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักเป็นไม้เด่นในชั้นเรือนยอด โดยเฉพาะในทางภาคเหนือของประเทศ หากเป็นภาคกลางหรือภาคตะวันออกมักเป็นสังคมป่าเบญจพรรณระดับต่ำซึ่งไม่มีไม้สักปรากฏอยู่ โดยทั่วไปอาจกล่าวได้ว่าสังคมป่าเบญจพรรณที่มีไม้สักเป็นไม้เด่นมีพบกระจายตั้งแต่จังหวัดนครสวรรค์ขึ้นไปจนถึงภาคเหนือและไม่ปรากฏในภาคตะวันออก ปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดสังคมพืชชนิดนี้ขึ้นในประเทศไทยคือฤดูกาล ป่าเบญจพรรณพบในพื้นที่ที่มีสามฤดูคือฤดูร้อน ฤดูหนาว และฤดูฝน มีช่วงที่ขาดฝนเกินกว่า 4 เดือนเป็นอย่างต่ำ และปริมาณน้ำฝนค่อนข้างน้อย ความชื้นในดินไม่เพียงพอสำหรับการรักษาใบให้คงอยู่ในช่วงแห้งแล้ง ไฟป่าอาจเป็นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้สังคมป่าชนิดนี้ดำรงอยู่ได้ซึ่งปกติป่าชนิดนี้ไฟป่าเป็นประจำ พันธุ์ไม้ส่วนใหญ่ในสังคมมีการปรับตัวในหลายรูปแบบเพื่อให้ดำรงอยู่ได้ภายใต้อิทธิพลของไฟ ปกติมักพบป่าชนิดนี้ไม่กว้างใหญ่มาก มักสลับกันอยู่กับป่าชนิดอื่น โดยเฉพาะป่าเต็งรัง ทั้งนี้เนื่องจากความแปรผันของปัจจัยแวดล้อม การผลัดใบเกิดขึ้นเนื่องจากความชื้นในดินที่ต่ำมากในช่วงฤดูแล้ง พืชส่วนใหญ่จึงต้องหยุดพักการเติบโตและผลัดใบเพื่อลดการสูญเสียน้ำจากลำต้น (อุทิศ, 2542)

ระบบนิเวศของป่าเบญจพรรณ ป่าชนิดนี้มีระบบนิเวศที่แตกต่างอย่างเด่นชัดจากป่าดงดิบชนิดต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากการมีฤดูกาลที่แยกกันค่อนข้างชัดเจนคือมีช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งเด่นชัด การสร้างอินทรีย์วัตถุมากกว่าร้อยละ 90 เกิดขึ้นในช่วงต้นฤดูฝน ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมการสร้างผลผลิตขั้นมูลฐานก็คือความชื้นในดิน พรรณไม้ส่วนใหญ่มีการพักตัวในช่วงฤดูแล้ง ผลัดใบ หยุด

การปรุงอาหาร พักตัวและจัดสภาพทางสรีรวิทยาเพื่อการเติบโตในฤดูฝนใหม่ อย่างไรก็ตามการออกดอกออกผลของพรรณไม้หลายชนิดเกิดขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการโปรยเมล็ดในจังหวะพอเหมาะกับความชื้นบนผิวดินเพื่อการงอกและการเติบโตของกล้าไม้ (อุทิศ, 2542)

ป่าเบญจพรรณเป็นป่าที่มีพันธุ์ไม้ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจสูงอยู่หลากหลายชนิดพันธุ์ โดยเฉพาะไม้สัก ฉะนั้นการศึกษาเกี่ยวกับชนิดไม้ของป่าชนิดนี้จึงมีการกระทำกันมากพอควรแต่ส่วนใหญ่เป็นการสำรวจไม้ชั้นบนและชั้นกลาง ส่วนชั้นพื้นป่ายังมีการกระทำน้อยมาก การศึกษาด้านมวลชีวภาพกระทำเฉพาะไม้สำคัญเช่นไม้สัก เป็นต้น ส่วนการประเมินทั้งระบบนิเวศยังมิได้ศึกษาเท่าที่ควร เมื่อวิเคราะห์จากลักษณะทั่วไปป่าชนิดนี้มีการผลิตมวลชีวภาพขั้นมูลฐานส่วนใหญ่ในช่วงต้นฤดูฝน จากมวลพืชสดดังกล่าวนี้ส่วนหนึ่งพินาไปใช้ในการเติบโตและเตรียมออกดอกออกผล เป็นช่วงที่สัตว์ป่าและแมลงเข้ามาใช้ประโยชน์ที่ป่าชนิดนี้มาก ผลไม้ป่าหลายชนิดตกลงสู่พื้นดินและเริ่มการขยายพันธุ์ พลังงานและสารเคลื่อนย้ายสู่สัตว์ อัตราการไหลของพลังงานและสารดำเนินไปจนเข้าสู่ปลายฤดูฝน ประมาณเดือนตุลาคมและต้นเดือนพฤศจิกายนการสร้างมวลชีวภาพขั้นมูลฐานจะหยุดไป คงมีบ้างเฉพาะในที่ชื้นจัดเช่นบริเวณลำห้วย กิ่ง ก้านและใบเริ่มร่วงหล่น ลำต้นของพืชล้มลุกตายลง ฉะนั้นพื้นป่าส่วนใหญ่จึงปกคลุมด้วยอินทรียวตฤในสถานที่ตายแล้ว ในช่วงนี้สัตว์ป่าส่วนใหญ่เคลื่อนย้ายไปสู่สังคมอื่นที่มวลชีวภาพของพืชสดเพื่อเป็นอาหารมีมาก หรืออาศัยพืชที่ขึ้นอยู่ตามชายน้ำและที่ชื้นจัด ในช่วงกลางของฤดูแล้ง โดยเฉพาะปลายเดือนมกราคมถึงต้นเดือนเมษายน เป็นฤดูของไฟป่าซึ่งเกิดขึ้นเป็นประจำและส่วนใหญ่เกิดจากน้ำมือของมนุษย์ โดยเป็นไฟผิวดินที่ทำลายใบไม้และและเศษไม้แห้งรวมถึงต้นพืชล้มลุกบนพื้นป่าให้หมดไป ไฟป่านอกจากเป็นปัจจัยสำคัญที่กำจัดวัชพืชและอินทรียวตฤที่ตายแล้วบนผิวดินให้หมดไปอย่างรวดเร็ว ยังเป็นปัจจัยสำคัญในการกระตุ้นการงอกของเมล็ดไม้หลายชนิด โดยเฉพาะไม้สัก เปิดผิวดินให้เมล็ดไม้ตกสัมผัสผิวดินและได้รับความชื้นอย่างเต็มที่ คงสภาพปัจจัยแวดล้อมให้คงที่ จึงเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้สังคมนี้คงอยู่ได้ ผู้สลายในสังคมพืชชนิดนี้นับว่ามีบทบาทน้อยกว่าไฟป่าแต่อย่างไรก็ตามสัตว์หน้าดิน โดยเฉพาะปลวกก็มีบทบาทไม่น้อย เมื่อมีการทำงานร่วมกับเห็ดราและแบคทีเรียสามารถทำลายซากพืชขนาดเล็ก โดยเฉพาะใบไม้และกิ่งเล็กให้หมดไปได้ภายในไม่เกิน 2 ปี (อุทิศ, 2542)

สภาพทางพลวัตรของสังคมโดยเฉพาะการทดแทนในระดับทุติยภูมิ (secondary succession) โดยทั่วไปเป็นไปได้ในสามทิศทางใหญ่ ๆ คือ แนวทางแรกเกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีการทำลายค่อนข้างรุนแรงและมีการใช้ประโยชน์ที่ดินติดต่อกันยาวนาน พื้นดินเสื่อมคุณภาพสำหรับการ

เจริญเติบโตของไม้ใหญ่ พื้นที่เช่นนี้มักปกคลุมด้วยหญ้าคา ซึ่งมีความทนทานต่อความแห้งแล้ง และสามารถแตกหน่อได้ดี รากประสานกันแน่นป้องกันการบุกรุกของไม้อื่น ปรับตัวเข้ากับไฟป่าได้ดี แต่ไม่ทนร่ม ฉะนั้นถ้าหากมีไฟป่าเสมอ ๆ ก็จะครองพื้นที่ได้นาน แนวที่สองเกิดขึ้นในพื้นที่ที่ถูกทำลายอย่างรุนแรงแต่พื้นที่ค่อนข้างชื้น มักยึดครองด้วยสาบเสือ (*Eupatorium odoratum*) ซึ่งมักขึ้นรวมกันกับไม้พุ่มขนาดเล็กและลูกไม้ การทดแทนแนวนี้มักเป็นไปอย่างรวดเร็วพอควรถ้ามีการป้องกันไฟป่าที่ดี ในบางพื้นที่ที่มีความชื้นสูงมากอาจทดแทนด้วยสังคมของหญ้าพง (*Neyraudia reynaudiana*) และหญ้าชนิดอื่น ๆ ผสมกับเฟิร์นอีกหลายชนิด ในบางพื้นที่อาจพบสังคมของกล้วยป่ายึดครองหนาแน่น แนวที่สามเกิดขึ้นในพื้นที่ที่ถูกทำลายไม่รุนแรงมักมีการทดแทนด้วยไม้เบิกนำ เช่น โมกมัน (*Wrightia tomentosa*) เปกล้า (*Croton oblongifolius*) พังแหร (*Trema orientalis*) เป็นต้น หากเป็นพื้นที่ที่มีไม้ไผ่มาก่อนก็มักเป็นสังคมของไม้ที่แตกมาจากกอเก่า เช่น ไผ่ไร่ ไผ่รวก ไผ่บงดำ และไผ่ข้าวหลาม (*Cephalostachyum pergracile*) เป็นต้น ไม้ไผ่ที่ขึ้นอยู่ในสังคมพืชชนิดนี้มีรอบความแปรผันที่เด่นชัดเช่นเดียวกันทุก ๆ กอ ในชนิดเดียวกันมักออกดอกพร้อม ๆ กันและตายหมดเกือบทั้งป่าภายในเวลา 2-3 ปี เมล็ดที่โพรยไ้จะงอกขึ้นมาใหม่ ส่วนต้นเก่าตายลงและมักหมดไปด้วยไฟป่า ในช่วงนี้พื้นป่ามักโปร่งกว่าปกติและทำให้พื้นป่ารกทึบขึ้นใหม่ ถ้าไผ่อาจต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่าสิบปีในการที่จะก่อกอที่ใหญ่ได้ดั้งเดิมและใช้เวลา 30 - 70 ปี กว่าที่จะออกดอกขึ้นอีกครั้งหนึ่ง อย่างไรก็ตามช่วงอายุขัยดังกล่าวก็ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ของไผ่ด้วย ป่าชนิดนี้หากมีการป้องกันไฟติดต่อกันยาวนานมีแนวโน้มที่จะทดแทนต่อไปสู่สังคมที่ขึ้นขึ้นคือป่าดงดิบแล้ง (อุทิศ, 2542)

สภาพทั่วไปของสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง

1. ที่ตั้ง

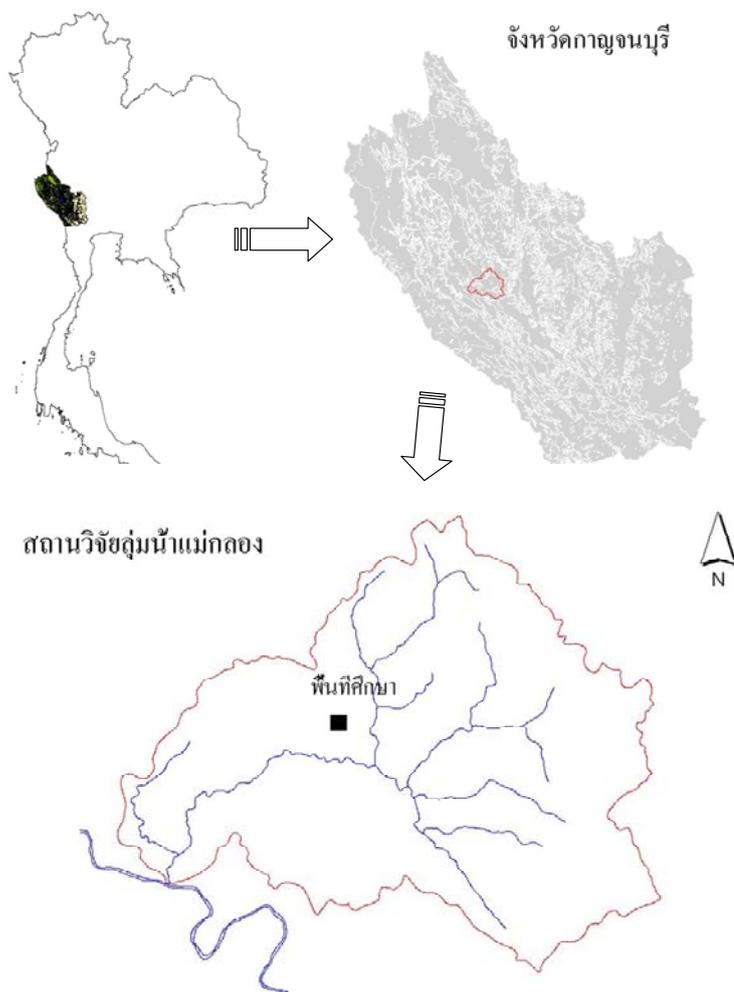
สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง ตั้งอยู่ในเขตอำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี ตั้งอยู่ในระหว่างเส้นรุ้งที่ $14^{\circ} 31'$ ถึง $14^{\circ} 38'$ เหนือและเส้นแวงที่ $98^{\circ} 46'$ ถึง $98^{\circ} 37'$ ตะวันออก มีพื้นที่ประมาณ 109 ตารางกิโลเมตร พื้นที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 100 ถึง 300 เมตร (ภาพที่ 1) อาณาเขตทางทิศเหนือจรดเขากูด ทิศใต้จรดห้วยตาอุ ทิศตะวันออกจรดห้วยน้ำมุย เขาระพะพง ทิศตะวันตกจรดบ้านหนองบางและโรงเรียนบ้านลิ้นถิ่น (Suksawang, 1993)

2. ลักษณะด้านปฐพีวิทยา

ดินส่วนใหญ่เป็นดิน reddish brown lateritic soil เกิดจากต้นกำเนิดวัตถุแบบ residuum และ colluvium ของหินปูน หินดินดาน และหินควอร์ตไซต์ ลักษณะเนื้อดินจัดอยู่ในชนิดดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) มีสีน้ำตาลปนจนถึงแดงเข้ม ดินชั้น A ลึกประมาณ 0-25 เซนติเมตร ส่วนดินชั้น B ลึกประมาณ 25-60 เซนติเมตร (Suksawang, 1993)

3. ลักษณะทางภูมิอากาศ

พื้นที่สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลองมีลักษณะภูมิประเทศประกอบด้วยภูเขาสูง ได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แต่เนื่องจากอิทธิพลของภูมิประเทศทำให้ภูมิอากาศแตกต่างจากจังหวัดอื่น ๆ ในภาคกลางด้วยกัน โดยอากาศร้อนจัดในฤดูร้อน และหนาวจัดในฤดูหนาว (ตารางที่ 2)



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงขอบเขตพื้นที่ของสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี และที่ตั้งของพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 2 สถิติข้อมูลอากาศเฉลี่ยในรอบ 25 ปี (พ.ศ. 2521-2546) ของสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง
อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี

เดือน	น้ำฝน (มม.)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	อุณหภูมิ °C			ความเร็ว ลม (กม./ชม.)	การระเหย	
			สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		(มม.)	(มม./วัน)
มกราคม	10.6	69.1	33.9	14.9	24.4	9.6	113.1	3.6
กุมภาพันธ์	21.1	65.5	36.2	15.8	26.0	10.9	129.4	4.6
มีนาคม	41.1	62.6	38.8	18.3	28.5	12.8	168.5	5.4
เมษายน	117.2	66.6	38.9	21.1	30.0	11.2	173.0	5.8
พฤษภาคม	196.0	75.4	36.3	22.4	29.4	7.0	132.3	4.3
มิถุนายน	228.2	81.6	33.5	22.5	28.0	4.3	96.1	3.2
กรกฎาคม	267.6	83.4	32.5	22.3	27.4	3.2	89.1	2.9
สิงหาคม	277.3	84.2	31.8	22.3	27.0	3.0	73.8	2.4
กันยายน	260.1	83.1	33.1	22.2	27.7	3.7	99.8	3.3
ตุลาคม	171.0	82.6	33.3	21.3	27.3	4.5	104.6	3.4
พฤศจิกายน	32.5	77.8	32.4	18.4	25.4	7.9	98.6	3.3
ธันวาคม	32.1	73.3	32.1	14.8	23.5	9.4	104.2	3.4
รวม	1,626.1	-	-	-	-	-	1,382.4	-
เฉลี่ย	-	75.4	34.4	19.7	27.0	7.3	-	3.8

ที่มา: สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง (2547)

4. ลักษณะพืชพรรณ

Suksawang (1993) จำแนกสภาพพืชพรรณที่พบในพื้นที่ออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้

4.1 ป่าเบญจพรรณผสมไผ่ (Mixed deciduous forest with bamboo) พบกระจาย
ปกคลุมเกือบทั่วพื้นที่ลุ่มน้ำ พันธุ์ไม้เด่นได้แก่ แดง (*Xylia xylocarpa*) ตะคร้อ (*Schleichera oleosa*)
ยางนา (*Dipterocarpus alatus*) ยางแดง (*Dipterocarpus turbinatus*) ไผ่ที่พบได้แก่ ไผ่ไร่

(*Gigantochloa hasskarliana*) ไม้บงดำ (*Bambusa tulda*) และ ไม้ข้าวหลาม (*Cephalostachyum pergracile*)

4.2 ป่าเต็งรัง (Dry dipterocarp forest) พบตามพื้นที่ลาดชันอยู่ที่ขอบของพื้นที่ลุ่มน้ำ พันธุ์ไม้เด่นได้แก่ ไม้ในวงศ์ Dipterocarpaceae ที่ผลัดใบในฤดูแล้งหลายชนิด เช่น ไม้รัง (*Shorea siamensis*) ไม้เต็ง (*Shorea obtusa*) ผสมกับ ไม้ในสกุลอื่นด้วย เช่น กระจับปี่ (*Careya arborea*) และ ไม้ในสกุล *Dalbergia*

4.3 ป่าดิบแล้ง (Dry evergreen forest) พบตามแนวลำห้วยประกอบด้วยไม้หลายชนิด เช่น ตะเคียนทอง (*Hopea odorata*) กัดลิ้น (*Walsura trichostemon*) และลำพูป่า (*Duabanga grandiflora*)

4.4 พื้นที่ที่ผ่านการถูกทำลาย โดยการถาง เผา เพื่อทำการเกษตรกรรม ส่วนใหญ่พบในพื้นที่ลาดชันค่อนข้างต่ำ พื้นที่นี้ประกอบด้วย กล้วยป่า ไม้ ไม้เลื้อย และ ไม้เล็ก

อุปกรณ์และวิธีการ

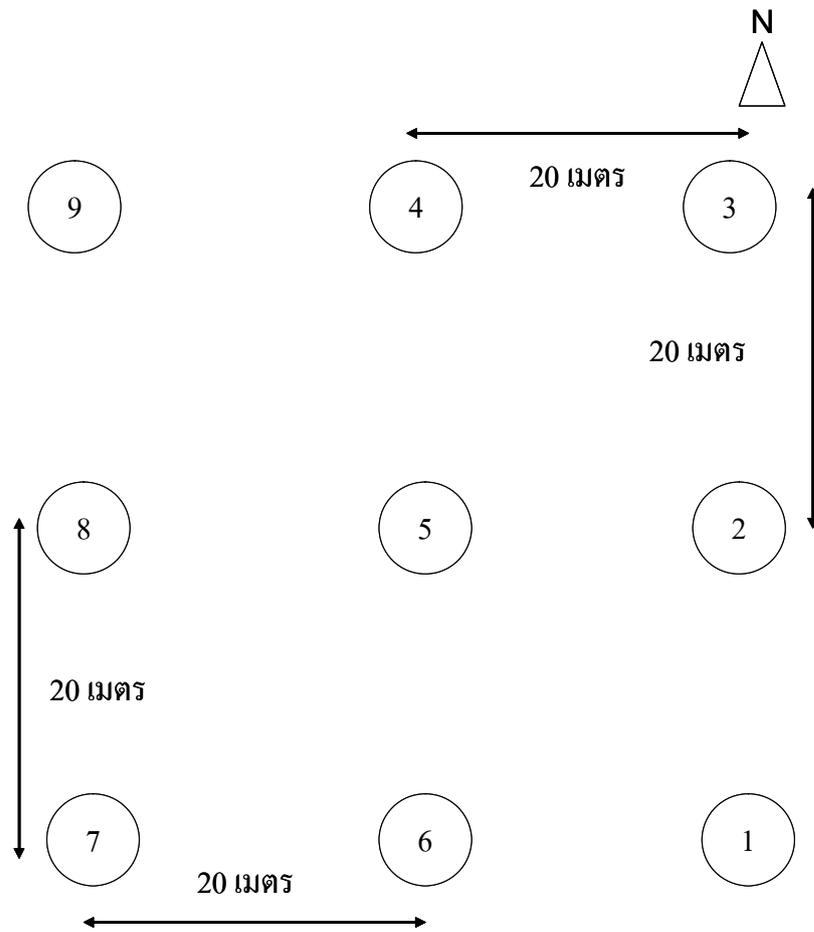
อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Infrared Gas Analyzer LI-800) สามารถวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ concentration) ได้ตั้งแต่ 0-2,000 ส่วนในล้านส่วน (ppm)
2. สารดูดความชื้น ใช้กับเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Infrared Gas Analyzer LI-800)
3. แบตเตอรี่ ใช้กับเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Infrared Gas Analyzer LI-800)
4. Chamber ที่ทำจากท่อน้ำพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 24.5 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จำนวน 9 อัน และฝาครอบ 1 อัน
5. เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)
6. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
7. เครื่องวัดอุณหภูมิดิน
8. เครื่องวัดความชื้นในดินแบบ TDR (Time Domain Reflectometry)
9. เครื่องคอมพิวเตอร์และโปรแกรมสำเร็จรูป

วิธีการ

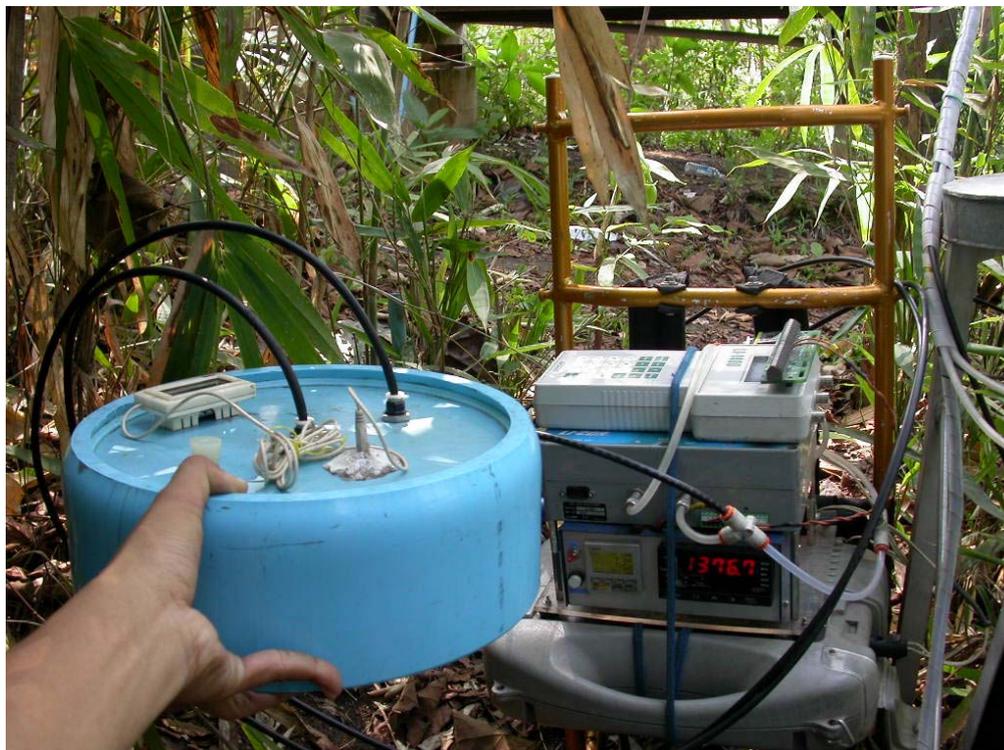
การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากดินด้วยวิธี Close Dynamic Chamber Method มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการสุ่มตัวอย่างเลือกพื้นที่ที่เป็นตัวแทนที่ดีของป่าเบญจพรรณผสมไม้เพื่อติดตั้ง Chamber ที่ทำจากท่อน้ำพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 24.5 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จำนวน 9 อัน (ภาพที่ 2) โดยฝัง Chamber ที่ทำจากท่อน้ำพีวีซีเข้าไปในดินลึกประมาณ 2.5 เซนติเมตร ซึ่งในการฝัง Chamber นั้นต้องไม่รบกวนดินที่อยู่ใน Chamber



ภาพที่ 2 แผนผังการติดตั้ง Chamber การวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน และระยะห่างระหว่าง Chamber

2. เก็บข้อมูลปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากดินเดือนละ 2 ครั้ง ระยะเวลาในการวัดแต่ละครั้งห่างกันประมาณ 10 วัน โดยการวัดแต่ละครั้งจะทำการวัด 3 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลา 6.00-9.00, 10.00-13.00 และ 14.00-17.00 นาฬิกา เพื่อให้การวัดครอบคลุมอุณหภูมิสูงต่ำในรอบวัน
3. สำหรับวิธีการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาจากดินในแต่ละ Chamber เริ่มด้วยการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Infrared Gas Analyzer LI-800) (ภาพที่ 3) ทำการวัดในอากาศประมาณ 1 นาที แล้วปิดฝา Chamber วัดต่ออีก 5 นาที ซึ่งเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติจะทำการบันทึกค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใน Chamber ทุก ๆ 1 นาที แล้ววัดในทำนองเดียวกันจนครบ 9 Chamber
4. เก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศใน Chamber ซึ่งจะวัดในช่วงเวลาเดียวกันกับการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปล่อยออกมาจากดิน โดยสอดเทอร์โมมิเตอร์ผ่านรูที่เจาะไว้ที่ฝาครอบ แล้วยัดด้วยดินน้ำมันเพื่อไม่ให้อากาศรั่วได้ (ภาพที่ 3)
5. เก็บข้อมูลความชื้นในดินจากเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ โดยวัดด้วยเครื่องวัดแบบ TDR ที่ระดับความลึกจากผิวดิน 10 และ 50 เซนติเมตร ซึ่งจะวัดในช่วงเวลาเดียวกันกับการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปล่อยออกมาจากดิน
6. เก็บข้อมูลอุณหภูมิดินที่ระดับความลึกจากผิวดิน 1, 5, 10, 30, และ 50 เซนติเมตรจากเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ซึ่งวัดในช่วงเวลาเดียวกันกับการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปล่อยออกมาจากดิน
7. เก็บข้อมูลความชื้นในอากาศจากเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ในช่วงเวลาเดียวกันกับการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ปล่อยออกมาจากดิน
8. เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือนจากข้อมูลปริมาณน้ำฝนของสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง ระหว่างเดือนมีนาคม 2546 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2547



ภาพที่ 3 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ Infrared Gas Analyzer LI-800) พร้อมอุปกรณ์ที่ใช้วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดิน บริเวณสถานีวิจัยคูนน้ำแม่กลอง

การคำนวณอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน

จากการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปลดปล่อยออกมาจากดินในแต่ละครั้ง ทำการคำนวณหาอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน จากสมการดังนี้ (Field *et al.*, 1989)

$$F = \frac{dC_i}{dt} \frac{V}{A}$$

เมื่อ F = การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินหน่วยเป็น มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที (mgCO₂/m²/s)

V = ปริมาตรของ Chamber หน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร (m³)

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัดของ Chamber หน่วยเป็นตารางเมตร (m}^2\text{)}$$

$$\frac{dC_i}{dt} = \text{อัตราการเพิ่มขึ้นของมวลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน Chamber}$$

ต่อหน่วยเวลา หน่วยเป็น มิลลิกรัมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์/ลูกบาศก์
เมตร/วินาที (mgCO₂/m³/s)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน กับปัจจัยแวดล้อมบางประการ

ทำการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (coefficient of correlation : r) เพื่อหาความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินเฉลี่ยรายเดือน ซึ่งเป็นตัวแปรตาม กับปัจจัยแวดล้อมต่าง ๆ ประกอบไปด้วย ปริมาณน้ำฝนรายเดือน ความชื้นในดินที่ระดับความลึกจากผิวดิน 10 และ 50 เซนติเมตรเฉลี่ยรายเดือน อุณหภูมิดินที่ระดับความลึกจากผิวดิน 10 และ 50 เซนติเมตรเฉลี่ยรายเดือน อุณหภูมิอากาศเฉลี่ยรายเดือนและความชื้นในอากาศเฉลี่ยรายเดือน ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไม้บริเวณสถานี วิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง

จากข้อมูลอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ ร่วมกับข้อมูลพื้นที่ป่าเบญจพรรณผสมไม้ที่ ชงชัย (2546) ได้ศึกษาไว้ในโครงการวิจัยการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าไม้ในประเทศไทย และฐานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรป่าไม้ สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง (ตารางที่ 3) เพื่อเป็นฐานในการประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไม้บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง ดังนี้

นำพื้นที่ป่าเบญจพรรณผสมไม้ที่ได้จากการศึกษาของชงชัย (2546) ในตารางที่ 3 ซึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 34,893 ไร่ หรือมีค่ากับ 5,582.88 เฮกตาร์ ไปคูณกับอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ จะทำให้ทราบถึงปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไม้บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง

เมื่ออัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน 1 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที ($\text{mgCO}_2/\text{m}^2/\text{s}$) มีค่าเท่ากับ 86.40 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วัน ($\text{gCO}_2/\text{m}^2/\text{d}$) และมีค่าเท่ากับ 315.36 ตันคาร์บอนไดออกไซด์/เฮกแตร์/ปี ($\text{tCO}_2/\text{ha}/\text{y}$)

ตารางที่ 3 การใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จากข้อมูลดาวเทียม

Landsat-5 TM

ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน	เนื้อที่ (ไร่)	เปอร์เซ็นต์
1. ป่าดิบแล้ง	36,783	36.29
2. ป่าเบญจพรรณผสมไผ่	34,893	34.42
3. ป่าเต็งรัง	12,782	12.61
4. พื้นที่ที่มีไร่ป่า	16,914	16.68
รวม	101,372	100.00

ที่มา: รงชัย (2546)

ระยะเวลาทำการศึกษา

ดำเนินการศึกษาตั้งแต่เดือนมีนาคม 2546 - ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2547 รวมระยะเวลา 1 ปี

ผลและวิจารณ์

การศึกษาการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไผ่ บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคม 2546 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2547 รวมระยะเวลา 1 ปี ปรากฏผลดังนี้

อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน

อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไผ่ บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.744 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที โดยมีค่าเฉลี่ยในแต่ละ Chamber ตั้งแต่ Chamber ที่ 1 ถึง Chamber ที่ 9 ดังนี้ 0.656 , 0.758, 0.792, 0.604, 0.719, 0.930, 0.544, 0.941 และ 0.748 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของแต่ละ Chamber มีความผันแปรกันอยู่บ้างเล็กน้อย (ตารางที่ 4) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณอินทรีย์วัตถุในแต่ละ Chamber ที่มีปริมาณต่างกัน (ตารางที่ 5) จากการศึกษาโดย สิริรัตน์ และคณะ (2547) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Bazzaz and Williams (1991) ที่พบว่าพื้นที่ที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่มาก จะทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินมากตามไปด้วย อีกประการหนึ่ง ความแตกต่างกันขององค์ประกอบของเนื้อดิน (soil composition) ในแต่ละ Chamber (ตารางที่ 5) (สิริรัตน์ และคณะ, 2547) อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในแต่ละ Chamber มีความผันแปรกัน สอดคล้องกับการศึกษาของ Bouma and Bryla (2000) พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินจะลดลงหรือถูกชะลอให้ช้าลงในดินเนื้อละเอียด นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกเช่นจำนวนจุลินทรีย์ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน ความหนาแน่นของจำนวนรากพืช และอาจเป็นเพราะธรรมชาติของดินที่ความเป็น non-homogeneity ค่อนข้างสูง จากการทดสอบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของแต่ละ Chamber จำนวน 9 Chamber พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ในแต่ละ Chamber ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2546 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2547 บริเวณสถานีวิจัย
ลุ่มน้ำแม่กลอง

Chamber ที่	อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน (มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที)
1	0.656±0.091
2	0.758±0.106
3	0.792±0.134
4	0.604±0.099
5	0.719±0.105
6	0.930±0.113
7	0.544±0.096
8	0.941±0.132
9	0.748±0.128
เฉลี่ย	0.744±0.038
ค่า F	1.41 ^{ns}

หมายเหตุ ns = ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบโดยใช้

Duncan's new multiple range test

ตารางที่ 5 ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และองค์ประกอบของเนื้อดิน
ในแต่ละ Chamber บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง

Chamber ที่	pH (1:1 น้ำ)	อินทรีย์วัตถุ (เปอร์เซ็นต์)	เปอร์เซ็นต์ของอนุภาค		
			ทราย	ทรายแป้ง	ดินเหนียว
1	5.55	5.64	61.03	19.15	19.82
2	5.21	6.91	66.03	17.90	16.07
3	5.53	6.57	70.80	16.88	12.32
4	6.01	5.31	68.05	17.13	14.82
5	5.57	6.57	71.03	14.15	14.82
6	5.76	6.71	71.03	15.40	13.57
7	6.02	5.02	58.75	22.05	19.20
8	5.87	6.51	61.25	17.90	20.85
9	5.95	6.20	65.00	18.30	16.70
เฉลี่ย	5.72	6.16	-	-	-

ที่มา: สิริรัตน์ และคณะ (2547)

ตารางที่ 6 แสดงอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินเฉลี่ยในแต่ละเดือน เริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคม 2546 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2547 พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.744 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที โดยมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสูงสุดในเดือนสิงหาคม มีเท่ากับ 2.199 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที และมี

ตารางที่ 6 อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินเฉลี่ยรายเดือนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ตั้งแต่เดือนมีนาคม 2546 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2547 บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง

เดือน	อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน (มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที)
มี.ค.-46	0.120 ⁿ ± 0.008
เม.ย.-46	0.172 ⁿ ± 0.014
พ.ค.-46	0.135 ⁿ ± 0.012
มิ.ย.-46	0.711 ^u ± 0.053
ก.ค.-46	1.381 ⁿ ± 0.113
ส.ค.-46	2.199 ^g ± 0.117
ก.ย.-46	2.169 ^g ± 0.178
ต.ค.-46	1.602 ⁿ ± 0.135
พ.ย.-46	0.174 ⁿ ± 0.012
ธ.ค.-46	0.093 ⁿ ± 0.005
ม.ค.-47	0.127 ⁿ ± 0.009
ก.พ.-47	0.147 ⁿ ± 0.009
เฉลี่ย	0.744 ± 0.038
ค่า F	42.74**

หมายเหตุ ตัวอักษรภาษาไทยที่ต่างกันบนตัวเลขที่อยู่ในแนวตั้ง แสดงความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากการทดสอบโดยใช้ Duncan's new multiple range test

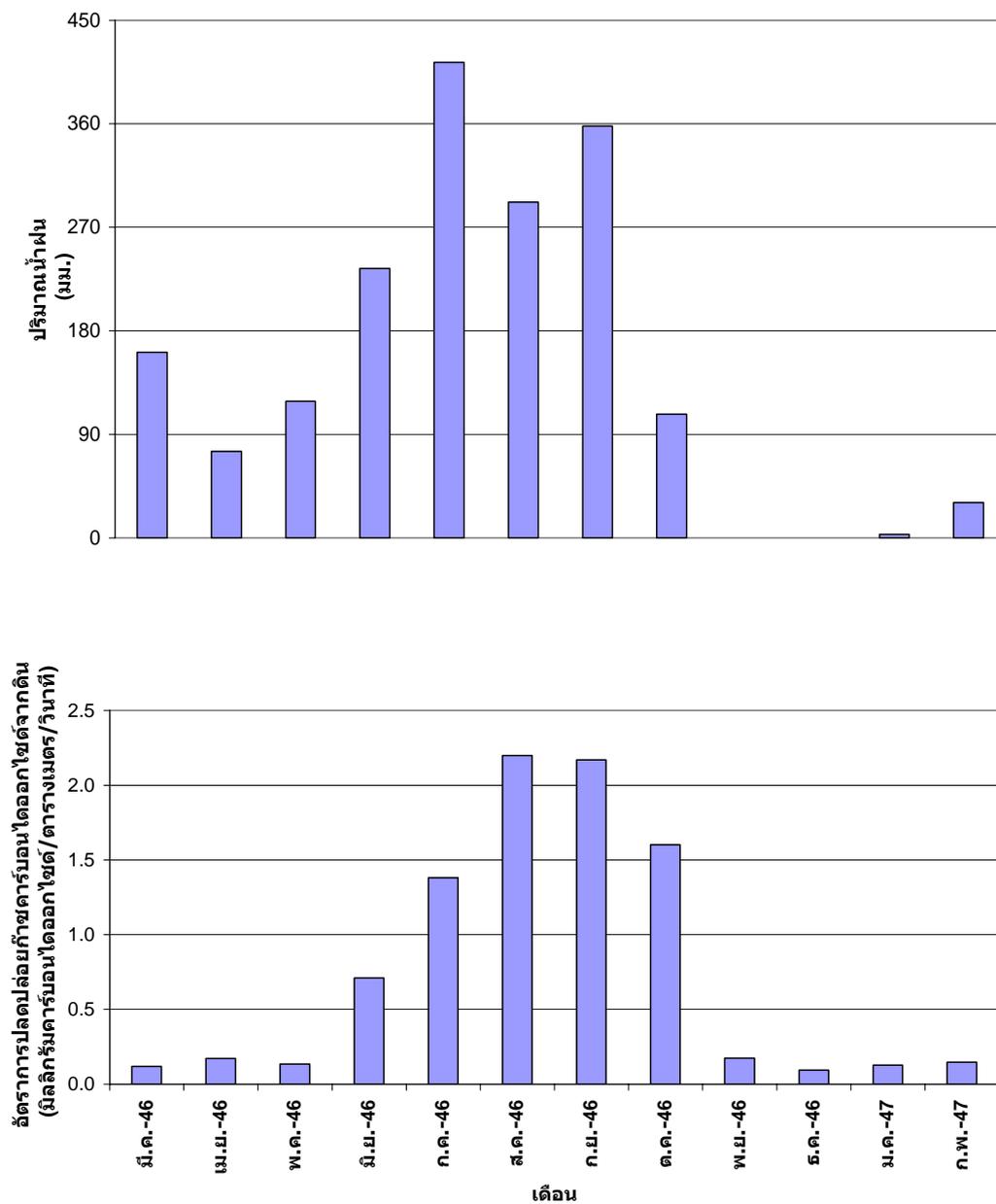
อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินต่ำสุดในเดือนธันวาคม มีเท่ากับ 0.093 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที นอกจากนี้อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน ยังมีการผันแปรตามฤดูกาลอย่างชัดเจน โดยมีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสูงในช่วงฤดูฝนตั้งแต่เดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม และมีอัตราการปลดปล่อยลดต่ำลงในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนพฤษภาคม ซึ่งอาจมีสาเหตุได้หลายประการด้วยกันคือ ประการแรกจากการที่ดินโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยเนื้อดินประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ อินทรีย์วัตถุ 5 เปอร์เซ็นต์ และประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือจะเป็นที่อยู่ของน้ำและอากาศ (คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา, 2541) เมื่อมีฝนตกลงมาหรือเมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้น ช่องว่างในดินจะลดลงขณะเดียวกันเมื่อช่องว่างในดินลดลง อากาศหรือก๊าซต่าง ๆ จะมีความเข้มข้นและความดันสูงขึ้น ทำให้เกิดการแพร่กระจายของอากาศหรือก๊าซไปยังที่ที่มีความเข้มข้นและความดันต่ำกว่า จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสู่บรรยากาศมากขึ้น ในทางกลับกันในช่วงฤดูแล้งความชื้นในดินเมื่อไม่มีฝนตกมาเพิ่ม ความชื้นในดินจะลดลงโดยการระเหยหรือถูกพืชและสิ่งมีชีวิตในดินนำไปใช้ ทำให้ดินมีช่องว่างที่เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นและความดันก๊าซต่าง ๆ ในดินจะลดลง การปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสู่บรรยากาศจึงลดลง (พิมลรัตน์, 2544) ประการที่สองเมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้น จุลินทรีย์ในดินสามารถทำกิจกรรมได้มากขึ้นมีการหายใจมากขึ้น พืชมีการเติบโตมากขึ้น รากพืชมีการหายใจมากขึ้นทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสู่บรรยากาศมากขึ้น นอกจากนี้ในช่วงฤดูฝนเศษซากพืชต่าง ๆ ที่ร่วงหล่นลงมาในช่วงฤดูแล้ง เมื่อได้รับความชื้นที่เหมาะสมจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์และปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศอย่างรวดเร็ว จากการทดสอบความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในแต่ละเดือนที่ได้จากการนำข้อมูลอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินที่ตรวจวัดในเดือนนั้น ๆ ทั้ง 9 Chamber มาทดสอบทางสถิติ (ตารางที่ 6) พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และสามารถแบ่งกลุ่มของเดือนได้ 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เดือนสิงหาคมและกันยายน มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสูงกว่ากลุ่มอื่น ๆ มากที่สุด เท่ากับ 2.199 และ 2.169 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที ตามลำดับ กลุ่มที่ 2 เดือนตุลาคมและกรกฎาคม มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสูงรองลงมา เท่ากับ 1.602 และ 1.381 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที ตามลำดับ กลุ่มที่ 3 เดือนมิถุนายน มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน เท่ากับ 0.711 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที กลุ่มที่ 4 เดือนพฤศจิกายน เมษายน กุมภาพันธ์ พฤษภาคม มกราคม มีนาคม และธันวาคม มีอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับ

กลุ่มอื่น ๆ โดยมีค่าเท่ากับ 0.174 0.172 0.147 0.135 0.127 0.120 และ 0.093 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที ตามลำดับ

ปัจจัยแวดล้อมบางประการที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

1. ปริมาณน้ำฝน

จากการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำฝนรายปีบริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลองในช่วงเวลาที่ทำการศึกษามีค่าเท่ากับ 1,794 มิลลิเมตร ซึ่งมากกว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบ 25 ปี (พ.ศ. 2521-2546) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,626.1 มิลลิเมตร (สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง, 2547) โดยมีปริมาณน้ำฝนสูงสุดในเดือนกรกฎาคม เท่ากับ 413.4 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับสถิติปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบ 25 ปีของสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง ในเดือนเดียวกันที่มีฝนตกเพียง 267.6 มิลลิเมตร และเมื่อพิจารณาถึงการตกของฝน พบว่า เริ่มมีฝนตกลงมาตั้งแต่เดือนมีนาคมและตกต่อเนื่องไปจนถึงเดือนตุลาคม (ภาพที่ 4) โดยเฉพาะเดือนมีนาคมที่มีฝนตกถึง 161.5 มิลลิเมตร ซึ่งค่อนข้างจะแตกต่างกับสถิติปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบ 25 ปี (พ.ศ. 2521-2546) ของสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง ที่ค่าเฉลี่ยของฝนในเดือนมีนาคมที่มีเท่ากับ 41.1 มิลลิเมตร สำหรับเดือนที่มีฝนตกน้อยที่สุดคือเดือนพฤศจิกายน และ ธันวาคม ซึ่งไม่มีฝนตกเลย (ตารางที่ 6) ซึ่งเป็นไปในทำนองเดียวกันกับสถิติปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบ 25 ปี (พ.ศ. 2521-2546) ของสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง ที่มีฝนตกเล็กน้อยในช่วงเดือนพฤศจิกายน-มีนาคม จากการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน กับปริมาณน้ำฝน พบว่ามีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P < 0.01$) มีค่าเท่ากับ 0.77 (ตารางที่ 7) ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าเมื่อมีฝนลงมา ทำให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้น จุลินทรีย์ในดินสามารถทำกิจกรรมได้มากขึ้นมีการหายใจมากขึ้นพืชมีการเติบโตมากขึ้น รากพืชมีการหายใจมากขึ้นทำให้มีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินสู่บรรยากาศมากขึ้น Rochette *et al.* (1999) พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินจะเพิ่มขึ้นถึง 9 เท่า เมื่อทำการวัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินภายหลังฝนตกลง 3 ชั่วโมงและดินนั้นผ่านช่วงฤดูแล้งมาแล้ว



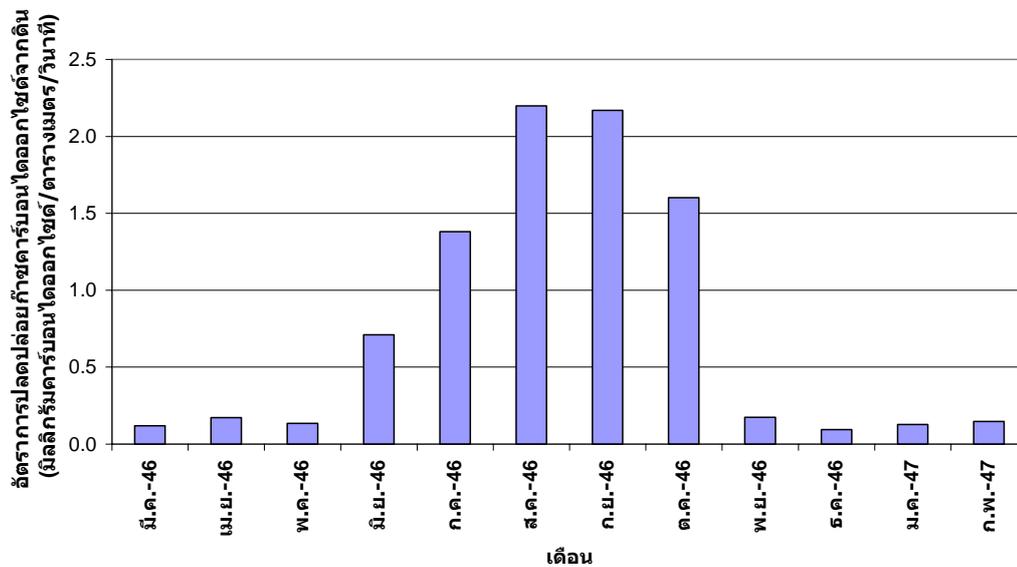
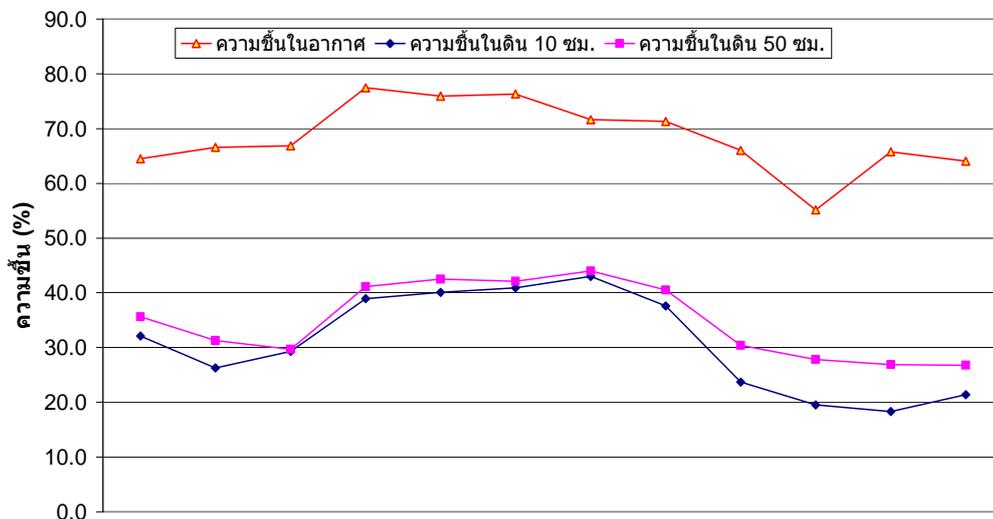
ภาพที่ 4 ปริมาณน้ำฝนรายเดือน กับค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินรายเดือน บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง

2. ความชื้นในอากาศ

จากการศึกษา พบว่าความชื้นเฉลี่ยรายเดือนมีค่าอยู่ระหว่าง 55.2-77.5 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นในอากาศสูงสุดในเดือนมิถุนายน (ตารางผนวกที่ 1) ในช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนมิถุนายน ถึงตุลาคม ความชื้นในอากาศเฉลี่ย จะมีค่าสูงกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปริมาณความชื้นในอากาศเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดพบในเดือนธันวาคม (ภาพที่ 5) เนื่องจากฝนไม่ตกติดต่อกันหลายเดือน ต้นไม้จะเริ่มผลัดใบ สอดคล้องกับ อุทิส (2542) ที่กล่าวว่าอิทธิพลของความชื้นในอากาศต่อสิ่งมีชีวิต นับว่าสำคัญมาก สังคมหลายชนิดถูกควบคุมโดยความชื้นในอากาศเป็นสำคัญ เช่นป่าผลัดใบของเขตร้อนจะผลัดทิ้งใบหมดเมื่อความชื้นในอากาศต่ำมาก ๆ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อในบรรยากาศมีไอน้ำอยู่น้อยจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความชื้นในใบกับในอากาศอย่างมาก ทำให้เกิดการคายน้ำอย่างรุนแรงขึ้นได้ ฉะนั้นพืชหลายชนิดจึงผลัดใบในช่วงนี้ สำหรับพื้นที่ที่มีความชื้นสูงตลอดปี เช่นบนภูเขาสูงที่มีเมฆและหมอกปกคลุมเกือบตลอดเวลา พืชที่ชอบความชื้นมาก ๆ เช่น มอสส์ ชนิดต่าง ๆ ก็จะปรากฏขึ้นปกคลุมอยู่ตามต้นไม้อย่างหนาแน่น โดยเฉพาะในป่าดงดิบเขาที่ระดับสูงหรือกล้วยไม้หลายชนิดพบอยู่ในเฉพาะป่าดิบชื้นที่มีความชื้นค่อนข้างสูงเท่านั้น การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน กับความชื้นในอากาศ พบว่ามีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 0.70 (ตารางที่ 7) เนื่องจากความชื้นในอากาศมีอิทธิพลโดยตรงต่อการทำกิจกรรมของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความชื้นในอากาศ จึงส่งผลต่ออัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์จากดินด้วย

3. ปริมาณความชื้นในดินที่ระดับความลึก 10 และ 50 เซนติเมตร

จากการศึกษา พบว่าปริมาณความชื้นในดินมีความผันแปรไปตามปริมาณน้ำฝนอย่างชัดเจน โดยในเดือนที่มีปริมาณน้ำฝนมาก ความชื้นในดินจะเพิ่มขึ้นมาก และหากยังมีฝนตกลงมาต่อเนื่อง ความชื้นในดินจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนถึงจุดจุดหนึ่งเมื่อช่องว่างในดินเต็มไปด้วยน้ำ ความชื้นในดินจะมีค่าคงที่ หากยังมีฝนตกลงมาอีกน้ำฝนส่วนใหญ่จะไหลบ่าไปตามผิวหน้าของดิน (นิพนธ์, 2542) นอกจากนี้เมื่อช่องว่างในดินเต็มไปด้วยน้ำ อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์จากดินจะลดลง เนื่องจากปริมาณออกซิเจนลดลง และกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินก็ลดลงด้วย (Bowden *et al.* 1998) เมื่อพิจารณาความชื้นในดินที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร พบว่ามีค่าเฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 19.7-42.4 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีปริมาณความชื้นในดินสูงสุดใน



ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยความชื้นอากาศ ค่าเฉลี่ยความชื้นในดินที่ระดับความลึก 10 และ 50 เซนติเมตร และค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินรายเดือน บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง

เดือนกันยายน ส่วนความชื้นในดินที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร พบว่ามีค่าเฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 26.8 - 44.0 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร มีปริมาณความชื้นในดินสูงสุดในเดือนกันยายน ซึ่งความชื้นในดินทั้ง 2 ระดับมีปริมาณความชื้นในดินสูงสุดในเดือนเดียวกัน คือเดือนกันยายน ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในเดือนดังกล่าวมีฝนตกลงมาถึง 357.9 มิลลิเมตร และในเดือนก่อนหน้านั้น (เดือนสิงหาคม) ความชื้นในดินทั้ง 2 ระดับมีค่าใกล้เคียงปริมาณความชื้นสูงสุดอยู่แล้ว (ภาพที่ 5) ส่วนปริมาณความชื้นรายเดือนเฉลี่ยต่ำสุด ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร พบในเดือนธันวาคม และที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร พบในเดือนกุมภาพันธ์ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนตกเพียงเล็กน้อย (ภาพที่ 4) ความชื้นในดินจึงลดลง การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน กับปริมาณความชื้นในดิน พบว่า ที่ระดับความลึก 10 และ 50 เซนติเมตร ความสัมพันธ์กันระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน กับปริมาณความชื้นในดิน มีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) มีค่าเท่ากับ 0.85 และ 0.87 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) เมื่อพิจารณาจากความชื้นในดินสูงขึ้นตั้งแต่เดือนมิถุนายน ถึงตุลาคม อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินก็สูงตามไปด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Rochette *et al.* (1999) ที่รายงานว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินจะเพิ่มขึ้นถึง 9 เท่า โดยทำการวัดภายหลังฝนตกลง 3 ชั่วโมงและดินนั้นผ่านช่วงฤดูแล้งมาแล้ว

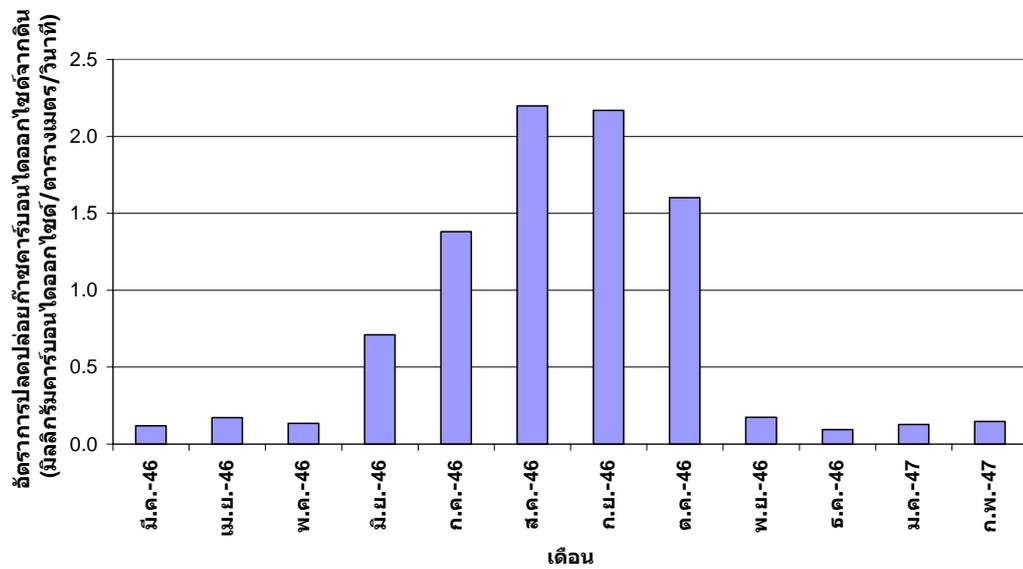
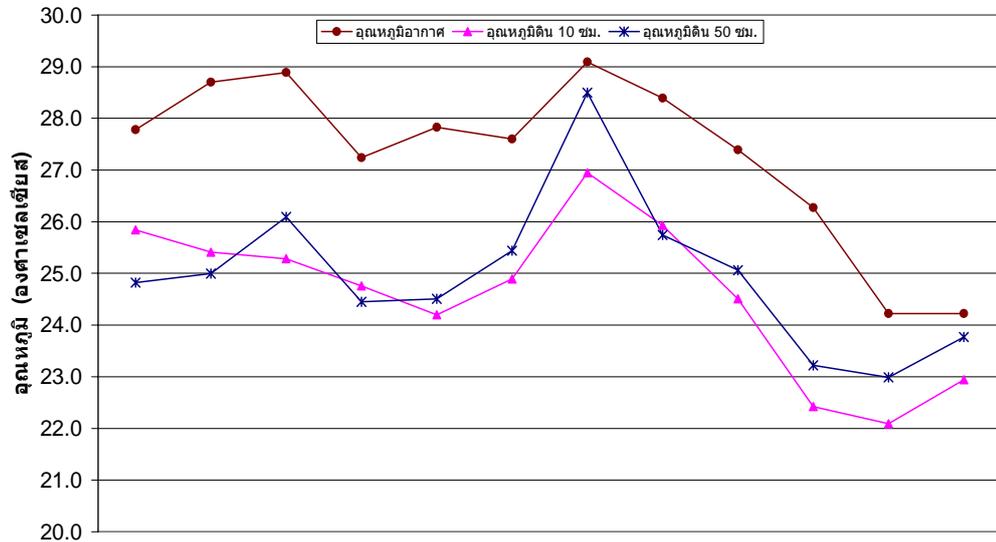
4. อุณหภูมิอากาศ

จากการศึกษา พบว่ามีค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 29.1 องศาเซลเซียส ในเดือนกันยายน และค่าเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 24.2 องศาเซลเซียส ในเดือนมกราคมและกุมภาพันธ์ (ภาพที่ 6) เมื่อเปรียบเทียบกับสถิติข้อมูลอากาศเฉลี่ยในรอบ 25 ปี (พ.ศ. 2521-2546) ของสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง (สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง, 2547) พบว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดและต่ำสุดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิมีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการหายใจของต้นไม้ส่วนใหญ่ ช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหายใจของต้นไม้จะอยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการหายใจมีค่าเพิ่มขึ้น (ลดาวัลย์, 2533; Devlin, 1975) หากอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจจะลดลงเพราะเอนไซม์ทำงานได้ไม่ดีในอุณหภูมิต่ำ เมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้ 0 องศาเซลเซียส อัตราการหายใจจะต่ำมาก การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน กับอุณหภูมิอากาศ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ มีค่าเท่ากับ 0.43 (ตารางที่ 7) ทั้งนี้เนื่องจาก

อุณหภูมิอากาศส่งผลโดยอ้อมต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ในดิน และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของดิน ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงช้ากว่าอุณหภูมิของอากาศ

5. อุณหภูมิดิน

จากการศึกษาอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตรค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 27.0 องศาเซลเซียส ในเดือนกันยายน และค่าเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 22.1 องศาเซลเซียสในเดือนมกราคม (ภาพที่ 6 และตารางผนวกที่ 1) อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตรค่าเฉลี่ยรายเดือนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 28.5 องศาเซลเซียส ในเดือนกันยายน และค่าเฉลี่ยรายเดือนต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 23.0 องศาเซลเซียสในเดือนมกราคม (ตารางที่ 6) จากข้อมูลค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิดินทั้ง 2 ระดับมีค่าใกล้เคียงกัน และเป็นที่น่าสังเกตว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนของอุณหภูมิดินสูงสุดในเดือนกันยายน น่าจะมีสาเหตุมาจากในฤดูฝนดินที่ชื้นจะนำความร้อนได้ดี พลังงานความร้อนจากด้านบนจึงถ่ายเทสู่ด้านล่างได้ดี จึงเป็นเหตุให้เดือนกันยายนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินสูงสุด การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน กับอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึก 10 และ 50 เซนติเมตรตามลำดับ พบว่า ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร มีความสัมพันธ์กันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าเท่ากับ 0.51 (ตารางที่ 7) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน กับอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร มีความสัมพันธ์กันในทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) มีค่าเท่ากับ 0.63 (ตารางที่ 7) โดยทั่วไปอุณหภูมิดินมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์และรากพืช กล่าวคือจุลินทรีย์ในดินจะมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำเนินกิจกรรมในช่วงหนึ่ง ๆ จากการศึกษาของ Holland *et al.* (1995) พบความสัมพันธ์กันในทางบวก ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินกับอุณหภูมิของป่าในเขตอบอุ่น และนักวิจัยในเขตอบอุ่นส่วนใหญ่ใช้อุณหภูมิดินในการพยากรณ์อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน



ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิมหาสมุทร ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 10 และ 50 เซนติเมตร และ ค่าเฉลี่ยอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินรายเดือน บริเวณสถานีวิจัย คู่ม่น้ำแม่กลอง

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน กับปัจจัยแวดล้อมบางประการ บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง

	น้ำฝน	ความชื้น อากาศ	ความชื้นดิน 10 ซม.	ความชื้นดิน 50 ซม.	อุณหภูมิ อากาศ	อุณหภูมิดิน 10 ซม.	อุณหภูมิดิน 50 ซม.
อัตราการปลดปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์จากดิน	0.77**	0.70*	0.85**	0.87**	0.43 ^{ns}	0.51 ^{ns}	0.63*
น้ำฝน		0.77**	0.90**	0.89**	0.51 ^{ns}	0.52 ^{ns}	0.54 ^{ns}
ความชื้นอากาศ			0.83**	0.82**	0.37 ^{ns}	0.46 ^{ns}	0.40 ^{ns}
ความชื้นดิน 10 ซม.				0.98**	0.66*	0.73**	0.67*
ความชื้นดิน 50 ซม.					0.59*	0.66*	0.60*
อุณหภูมิอากาศ						0.88**	0.78**
อุณหภูมิดิน 10 ซม.							0.88**

หมายเหตุ ns = ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

* = มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

** = มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99 เปอร์เซ็นต์

การประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณ

จากข้อมูลอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไม้ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.744 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที (ตารางที่ 5) หรือเท่ากับ 234.63 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อเฮกแตร์ต่อปี เมื่อนำไปคูณกับพื้นที่ป่าเบญจพรรณผสมไม้ที่ได้จากการศึกษาของธงชัย (2546) ซึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 34,893 ไร่ หรือมีค่ากับ 5,582.88 เฮกแตร์ (ตารางที่ 3) จะได้ค่าการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไม้ บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,309,911 ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับรายงานการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทยโดยสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม พบว่าประเทศไทยมีการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปี 2537 จากภาคป่าไม้ เท่ากับ 60.48 ล้านตัน (Office of Environmental Policy and Planning, 2000) ซึ่งการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไม้ บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำ

แม่กลองในการศึกษาครั้งนี้ คิดเป็น 2.17 เปอร์เซ็นต์ของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของประเทศไทยจากภาคป่าไม้

เมื่อนำอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินที่วัดได้ในการศึกษานี้ไปเปรียบเทียบกับอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในที่อื่น ๆ เช่นการศึกษาของ Minako *et al.* (2003) ที่วัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินที่ประเทศมาเลเซีย ในป่าธรรมชาติ สวนปาล์มน้ำมัน และสวนยางพารา พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน เท่ากับ 0.221 0.144 และ 0.113 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที ตามลำดับ และการศึกษาของ Maggs and Hewett (1990) ที่ประเทศออสเตรเลียในป่าฝน (rain forest) มีค่าเท่ากับ 0.163 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที ในขณะที่ตลาดวัลย์ (2546) ศึกษาการหายใจโดยส่วนของลำต้นของไม้ในป่าเบญจพรรณและป่าสัก พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.162 และ 0.112 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที ตามลำดับ และอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินป่าดิบชื้นที่ศึกษาโดย Silver (1998) ที่มีค่าเท่ากับ 0.178 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที จะเห็นว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินที่ศึกษานี้มีค่าสูงกว่ามาก ประมาณ 4-5 เท่า ซึ่งอาจมีสาเหตุเนื่องมาจากในบริเวณที่ทำการศึกษานี้ เมื่อปี 2545 เกิดการตายของไผ่ข้าวหลาม (*Cephalostachyum pergracile*) จำนวนมากภายหลังที่มีการออกดอกและโปรยเมล็ด (ภาพผนวกที่ 1) ทำให้มีชิ้นส่วนต่าง ๆ ของไผ่ข้าวหลาม (*Cephalostachyum pergracile*) ตกลงสู่พื้นดินจำนวนมาก โดยเฉพาะเมล็ดไผ่ รวมถึงส่วนของรากไผ่ที่มีอยู่ในดินเป็นจำนวนมาก เกิดย่อยสลาย ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินออกมาเป็นจำนวนมาก ประกอบกับในปีที่ทำการศึกษามีปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาเท่ากับ 1,794 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในรอบ 25 ปี ของสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลองที่มีค่าเท่ากับ 1,626.1 มิลลิเมตร (สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง, 2547) และมีฝนตกตั้งแต่เริ่มการศึกษาในเดือนมีนาคม และฝนตกติดต่อกันไปจนถึงเดือนตุลาคม (ตารางที่ 6) อันอาจทำให้อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินของการศึกษานี้มีค่าสูงกว่าการศึกษาในที่อื่น ๆ จึงควรมีการศึกษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

สรุป

จากการประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไม้
กรณีศึกษา สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง จังหวัดกาญจนบุรี ด้วยวิธี Close Dynamic Chamber Method
ระยะเวลา 1 ปี สามารถสรุปได้ดังนี้

1. อัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินเฉลี่ยในแต่ละเดือน เริ่มตั้งแต่เดือน
มีนาคม 2546 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2547 พบว่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินมี
ค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 0.744 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที มีอัตราการปลดปล่อย
สูงสุดในเดือนสิงหาคมเท่ากับ 2.199 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/วินาที และมีอัตรา
การปลดปล่อยต่ำสุดในเดือนธันวาคมเท่ากับ 0.093 มิลลิกรัมคาร์บอนไดออกไซด์/ตารางเมตร/
วินาที

2. ปัจจัยแวดล้อมบางประการที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอน
ไดออกไซด์จากดินที่มีความสัมพันธ์กันในทางบวก เรียงลำดับจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)
จากมากไปหาน้อย ได้ดังนี้ ความชื้นในดินที่ระดับ 50 เซนติเมตร ความชื้นในดินที่ระดับ 10
เซนติเมตร ปริมาณน้ำฝน ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร โดยมี
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.87 0.85 0.77 0.70 และ 0.63 ตามลำดับ

3. การประเมินการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินในป่าเบญจพรรณผสมไม้
บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง ซึ่งมีพื้นที่ป่าเบญจพรรณผสมไม้ เท่ากับ 34,893 ไร่ หรือเท่ากับ
5,582.88 เฮกตาร์ ปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน เท่ากับ 1,309,911 ตันคาร์บอนได
ออกไซด์ต่อปี

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินควรมีระยะเวลาที่ยาวนานพอสมควรเพื่อให้ครอบคลุมความผันแปรของสภาพภูมิอากาศ เช่นในประเทศไทยจะมีวงรอบของความผันแปรของสภาพภูมิอากาศ 4 หรือ 5 ปี ดังนั้นระยะเวลาในการศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินควรมีระยะเวลาต่อเนื่องกันอย่างน้อย 4 ปี เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

2. การศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน ควรมีการวัดอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เข้าใจถึงความผันแปรในรอบวัน หรือในขณะที่เกิดฝนตก

3. ควรมีการศึกษาการปลดปล่อยคาร์บอนจากดินที่อยู่ในรูปอื่นนอกเหนือจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น มีเทน เป็นต้น

4. โดยปกติดินจะมีสภาพแตกต่างกันหรือ เป็น non-homogeneity ค่อนข้างสูง การที่จะให้ได้ค่าอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินถูกต้องและน่าเชื่อถือ อาจจำเป็นต้องมีการเพิ่มขนาด Chamber ที่ใช้วัดให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อจะได้ครอบคลุมพื้นที่ที่ศึกษาที่มากพอ ซึ่งอาจจะช่วยลดความผันแปรของอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน ที่มีผลมาจากเนื้อดินได้ ปัจจุบันในประเทศไทยญี่ปุ่นมีการใช้ Chamber ที่มีปริมาตรถึง 1 ลูกบาศก์เมตร ในการศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดิน

5. การศึกษาอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินครั้งนี้ เป็นผลรวมของการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินที่ได้มาจากการหายใจของรากพืชและจากทำกิจกรรมต่าง ๆ ของจุลินทรีย์ในดิน จึงควรมีการพัฒนาเทคนิคในการวัดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกิจกรรมเหล่านี้

6. การนำข้อมูลอัตราการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากดินไปประยุกต์ใช้ร่วมกับข้อมูลอื่น ๆ เช่น อัตราการสังเคราะห์แสงของต้นไม้ในป่า การหายใจของลำต้น หรือ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบนิเวศป่าไม้ ที่ตรวจวัดด้วยวิธี Eddy covariance

method ซึ่งจำเป็นต้องมีหอคอย (tower) เพื่อติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัด ซึ่งจะทำให้สามารถประเมินหา ค่าผลผลิตปฐมภูมิรวม (gross primary production, GPP) หรือค่าผลผลิตการรับอนุสุทธิของระบบนิเวศ (net ecosystem production, NEP) ได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. 2536. คู่มือปฏิบัติการปฐพีวิทยาเบื้องต้นโดยใช้ระบบ
โสตทัศนอุปกรณ์. โรงพิมพ์ชวนพิมพ์ พระนคร, กรุงเทพฯ.
- _____. 2541. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.
- ธงชัย จารุพัฒน์. 2546. การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินป่าไม้ในประเทศไทยและ
ฐานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทรัพยากรป่าไม้ สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง, น. 193 – 218. ใน
การประยุกต์ใช้ข้อมูลงานวิจัยการเปลี่ยนแปลงของป่าเขตร้อนและผลกระทบเพื่อการ
จัดการระบบนิเวศป่าเขตร้อนแบบผสมผสาน. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
และ กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ.
- นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2542. อุทกวิทยาดินลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- _____ และ ทรงธรรม สุขสว่าง. 2537. ความผันแปรของความชื้นในดินภายใต้สวนสักและสวน
ซ้อ ที่สถานีวิจัยต้นน้ำแม่กลอง ต.ลั่นถีน อ.ทองผาภูมิ จ.กาญจนบุรี. บันทึกวิจัยเล่มที่ 27.
สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้, กรุงเทพฯ.
- นิวัติ เรืองพานิช. 2514. หลักการจัดการลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- นาฏสุตา ภูมิจำนงค์. 2547. การศึกษาแหล่งกักเก็บก๊าซเรือนกระจกจากภาคป่าไม้และกิจกรรม
การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินภายใต้พิธีสารเกียวโต, น.1-16. ใน รายงานการ
ประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้ : ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพ
ภูมิอากาศ. 16-17 สิงหาคม 2547, โรงแรมมารวยการ์เด็น. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า
และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

ปรีชา ชรรมานนท์. 2539. ป่าผลัดใบ, น. 135 - 144. ใน **ป่าไม้กับสิ่งแวดล้อม**. โรงพิมพ์ดอกเบี๋ยจตุจักร, กรุงเทพฯ.

พิมลรัตน์ พุทธิมิลินประทีป. 2544. **อิทธิพลของฤดูกาลต่อองค์ประกอบและอัตราการแพร่ขยายของก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอย**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พงษ์ศักดิ์ สหุณาฟู. 2538. **ผลผลิตและการหมุนเวียนของธาตุอาหารในระบบนิเวศป่าไม้**. ภาควิชาวนวัฒนวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ลดาวัลย์ พวงจิตร. 2546. สมดุลคาร์บอน น. 165-192. ใน **การประยุกต์ใช้ข้อมูลงานวิจัยการเปลี่ยนแปลงของป่าเขตร้อนและผลกระทบเพื่อการจัดการระบบนิเวศป่าเขตร้อนแบบผสมผสาน**. คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และ กรมป่าไม้. กรุงเทพฯ.

ลดาวัลย์ อธิพันธุ์อำไพ. 2533. การสังเคราะห์แสงและการหายใจของกล้าไม้กระถินเทพา. **วารสารวนศาสตร์**. 9(1): 1 – 11.

เล็ก มอญเจริญ. 2544. การนำมาตรการ Additional Human Induce มาใช้ในการเก็บกักคาร์บอนในดินของประเทศไทย, น. 9 -15. ใน **การประชุมทางวิชาการประจำปี 2544 วิกฤตสิ่งแวดล้อม: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 26 กันยายน 2544 ณ โรงแรมรอยัลซิติ้**, กรุงเทพฯ.

วิชา นิยม. 2535. **อุทกวิทยาป่าไม้**. ภาคนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง. 2547. **สถิติการตรวจวัดข้อมูลอากาศ ระหว่างปี 2521-2546**. สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ. (โรเนียว)

สิริรัตน์ จันทน์มหาเสถียร และ ศิริภา โพธิ์พินิจ. 2544. การประเมินการสะสมคาร์บอนในดินในระบบนิเวศป่าไม้ของประเทศไทย, น. 16 – 20. ใน การประชุมทางวิชาการประจำปี 2544 วิกฤตสิ่งแวดล้อม: คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 26 กันยายน 2544 ณ โรงแรมรอยัลซิติ้, กรุงเทพฯ.

_____, _____ และ วิลาวัณย์ วิเชียรนพรัตน์. 2547. การศึกษาปริมาณคาร์บอนในดินของระบบนิเวศป่าดิบแล้งและป่าเบญจพรรณ. ใน เอกสารประกอบการประชุมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทางด้านป่าไม้: ป่าไม้กับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, กรุงเทพฯ.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2543. การดำเนินการภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย. กรุงเทพฯ.

อุทิศ ภูฏอินทร์. 2542. นิเวศวิทยาพื้นฐานเพื่อการป่าไม้. ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Bazzaz, F.A. and W.E. Williams. 1991. Atmospheric CO₂ concentrations within a mixed forest: implications for seedling growth. **Ecology** 72: (1) 12-16.

Bekku, Y., H. Koizumi, T. Nakadi and H. Iwaki. 1995. Measurement of soil respiration using close chamber method, an IRGA technique. **Ecology Research** 10: 369-373.

Bouma, T.Y. and D.R. Bryla. 2000. On the assessment of root and soil respiration for soils of different textures: interactions with soil moisture contents and soil CO₂ concentrations. **Plant and Soil** 227 (1-2): 215-221.

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 Biology and Biochemistry** 30: 1591-1597.

- Devlin, R.M. 1975. **Plant Physiology**. Norstrand Co., New York.
- Donahu, R.L., J.C. Shickluna and L.S. Robertson. 1971. **Soil and Introduction to Soil and Plant Growth**. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.
- Dugas, W.A., M.L. Heuer. and H.S. Mayeux. 1999. Carbon dioxide fluxes over Bermuda grass, native prairies, and sorghum. **Agricultural and Forest Meteorology** 93 (2): 121-139.
- Eswaran, H.E., V. D. Berg and P.Reich. 1993. Organic carbon in soil of the world. **Soil Sci. Amer. J.** 57: 192-194.
- Fang, C. and J.B. Moncrieff. 1996. An improved dynamic chamber technique for measuring CO₂ efflux from the surface of soil. **Functional Ecology** 10: 297-305.
- Field, C.B., J.T. Ball, and J.A. Berry. 1989. Principles and field techniques. pp: 209-253. In Percy, R.W., H.A.Mooney, J.R. Ehleringer and PW Rundel, eds. **Plant Physiological Ecology: Field Methods and Instrumentation**. Chapman and Hall, London.
- Hanson, P.J., S.D. Wullschelger, S.A. Bohlman, and D.E. Todd. 1993. Seasonal and topographic patterns of forest floor CO₂ efflux from an upland oak forest. **Tree Physiology** 13:1-15.
- Hassett, I.J. and W.L. Banwart. 1992. **Soil and Theirs Environment**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Hillel, D. 1998. **Environment Soil Physics**. Academic Press, New York.
- Holland, E.A., A.R. Townsend and P.M. Vitousek. 1995. Variability in temperature regulation of CO₂ fluxes and N mineralization from five Hawaiian soils: Implication. **Biogeochemistry** 48: 115-146.

- Johnson, D.W. 1993. Carbon in forest soil-research needs. **Canadian Journal of Forest Science** 23: 354-365.
- Kimmins, J.P. 1987. **Forest Ecology**. Macmillan Publ. Co., New York.
- Kirita, H. 1971. Re-examination of the absorption method of soil respiration under field condition. **Japanese Journal of Ecology** 21: 27-42.
- Kramer, P.J. 1978. **Plant and Soil Water Relationship: A Modern Synthesis**. Tada McGraw-Hill Publishing Co., New York.
- Maggs, J. and B. Hewett. 1990. Soil and litter respiration in rain forests of contrasting nutrient status and physiognomic structure near Lake Eacham, northeast Queensland. **Aust. J. Ecol.** 15: 329–336.
- Maier, C.A. and L.W. Kress. 2000. Soil CO₂ evolution and root respiration in 11 year-old loblolly pine (*Pinus taeda*) plantation as affected by moisture and nutrient availability. **Canadian Journal of Forest Research** 30: 347-359.
- Mielnick, P.C. and W.A. Dugas. 1999. Soil CO₂ flux in a tall grass prairie. **Soil Biology and Biochemistry** 32: 221-228.
- Minako, A., Y. Bekku, W. Rashidah, T. Okuda and H. Koizumi. 2003. Soil respiration rate in tropical forest and oil palm plantation, Malaysia, pp.62 – 64. In **Proceedings of AsiaFlux Workshop 2003**. Takayama, Japan.
- Office of Environmental Policy and Planning. 2000. **Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change**. Ministry of Science, Technology and Environment. Bangkok, Thailand.

Raich, J.W. and C.S. Potter. 1995. Global patterns of carbon dioxide emissions from soils.

Global Biochemical Cycles 9: 23-36.

Raich, J.W. and A. Tufekcioglu. 2000. Vegetation and soil respiration: Correlation and controls.

Biogeochemistry 48: 71-90.

Rayment, M.B. and P.G. Jarvis. 2000. Temporal and spatial variation of soil CO₂ efflux in a

Canadian boreal forest. **Soil Biology and Biochemistry** 32: 35-45.

Schlesinger, W.H. and J.A. Andrew. 2000. Soil respiration and the global carbon cycle.

Biochemistry 48: 7-20.

Silver, W.L. 1998. The potential effects of elevated CO₂ and climate change on tropical forest biogeochemical cycling. **Climatic Change** 39: 337-361.

Suksawang, S. 1993. **Site Overview : Thong Phaphoom Study Site**. Royal For. Dept., Bangkok.

Topp, G.C. 1993. Soil Water Content, pp. 541-557. In M.R. Carter (ed.), **Soil Sampling and Method of Analysis**. Lewis Publisher, Boca Rotan.

_____ and J.L. Davis. 1985. Measurement of soil water content using time-domain reflectometry (TDR): A field evaluation. **Soil. Sci. Soc. Am. J.** 49: 19-24.

_____, _____ and A.P. Annan. 1980. Electromagnetic determination of soil water content : Measurement in coaxial transmission lines. **Water Resources Res.** 16 (3): 574-582.

Weber, M.G. 1990. Forest soil respiration after cutting and burning in immature aspen ecosystems. **For. Ecol. Manage.** 31: 1-14.

ภาคผนวก



ภาพผนวกที่ 1 การออกดอกของไผ่ข้าวหลาม (*Cephalostachyum pergracile*) ในปี 2545 บริเวณ
สถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน ความชื้นในดินที่ระดับความลึก 10 และ 50 เซนติเมตร อุณหภูมิอากาศ ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิดิน ที่ระดับความลึก 10 และ 50 เซนติเมตร เฉลี่ยรายเดือน บริเวณสถานีวิจัยลุ่มน้ำแม่กลอง

เดือน	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	ความชื้นในดิน		ความชื้นในอากาศ (%)	อุณหภูมิอากาศ (°C)	อุณหภูมิดิน	
		10 ซม. (% โดยปริมาตร)	50 ซม. (% โดยปริมาตร)			10 ซม. (°C)	50 ซม. (°C)
มี.ค.-46	161.5	32.1	35.6	64.5	27.8	25.8	24.8
เม.ย.-46	75.2	26.3	31.3	66.6	28.7	25.4	25.0
พ.ค.-46	118.8	29.3	29.7	66.9	28.9	25.3	26.1
มิ.ย.-46	234.1	38.9	41.1	77.5	27.2	24.8	24.5
ก.ค.-46	413.4	40.1	42.5	75.9	27.8	24.2	24.5
ส.ค.-46	291.8	40.9	42.1	76.3	27.6	24.9	25.4
ก.ย.-46	357.9	43.0	44.0	71.7	29.1	27.0	28.5
ต.ค.-46	107.5	37.6	40.5	71.3	28.4	25.9	25.7
พ.ย.-46	0.0	23.7	30.4	66.0	27.4	24.5	25.1
ธ.ค.-46	0.0	19.5	27.8	55.2	26.3	22.4	23.2
ม.ค.-47	3.0	18.3	26.9	65.8	24.2	22.1	23.0
ก.พ.-47	30.8	21.4	26.8	64.0	24.2	22.9	23.8
เฉลี่ย	-	30.9	34.9	68.5	27.3	24.6	25.0
รวม	1,794.00	-	-	-	-	-	-

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายสำเริง ปานอุทัย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	22 มกราคม 2507
สถานที่เกิด	จังหวัดสุพรรณบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ.(วนศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี2531
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	เจ้าพนักงานป่าไม้ 6
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-